



MÁSTER EN INGENIERÍA HIDRÁULICA Y MEDIO AMBIENTE

Especialidad en Hidráulica Urbana

Trabajo Fin de Máster (TFM)

MODELACIÓN MATEMÁTICA DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE DE PUÇOL

Carmen Portero Balaguer

Directores:

Francisco Javier Martínez Solano.

Pedro Luis Iglesias Rey.

Universitat Politècnica de València

Departamento ingeniería hidráulica y medio ambiente

Septiembre 2014

“Lo que sabemos es una gota de agua; lo que ignoramos es el océano”

ISAAC NEWTON

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar querría darle las gracias a Francisco Javier Martínez Solano, mi tutor, por su tremenda implicación e incansable ayuda así como a Pedro Iglesias. A los compañeros del Departamento de Mecánica de Fluidos de la UPV por haberme hecho sentir a lo largo de este último año una más de ellos. A mis compañeros de Máster, por las vivencias y enseñanzas compartidas, en especial a Jesús, Isi y Enrique.

A Aguas de Valencia S.A por haberme dado la oportunidad de realizar el que hoy en día es este trabajo y de conocer a gente a la puedo considerar amigos como son Juan Antonio, Sandra y Laura.

A mis padres por su apoyo incondicional en los buenos y malos momentos. Gracias mamá por inculcarme a diario los valores de la bondad y dulzura. Gracias papá por esforzarte en que adquiriera el afán de auto superación como reto conmigo misma y no en plan competición con los demás. Al resto de familia, en especial a mi prima Clara por brindarme constantemente su apoyo y amistad.

A “los Wazax”, el grupo de amigos de toda la vida, sin su constante apoyo no estaría donde estoy ni sería quien soy. A mis amigos del pueblo de Híjar (Teruel) por llenar mi vida de anécdotas. A mis compañeros de carrera de Ingeniería Agrónoma de la Universidad de Zaragoza por vivir con ellos los mejores años de mi vida, en especial a: Laura, Lourdes, Mario, Zoila y Montse.

En definitiva, gracias a todo el mundo que todos los días hace que tenga una sonrisa puesta en mi cara y que me enseña a superarme a mí misma constantemente.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| 1. Introducción..... | 21 |
| 1.1. Antecedentes..... | 21 |
| 1.2. Objetivos..... | 22 |
| 2. Descripción de la red de abastecimiento..... | 25 |
| 2.1. Situación y accesos..... | 25 |
| 2.2. Esquema de la red..... | 26 |
| 2.3. Medio natural y socioeconómico..... | 29 |
| 2.3.1. Economía..... | 29 |
| 2.3.2. Hidrología..... | 31 |
| 2.3.3. Climatología..... | 33 |
| 2.3.4. Demografía..... | 34 |
| 2.4. Descripción de las instalaciones..... | 37 |
| 2.4.1. Puntos de suministro..... | 37 |
| 2.4.2. Grupos de presión..... | 41 |
| 2.5. Red arterial y de distribución..... | 45 |
| 2.5.1. Red arterial..... | 45 |
| 2.5.2. Red de distribución..... | 48 |
| 2.5.3. Diámetros y materiales de las tuberías..... | 53 |
| 2.5.4. Elementos de la red..... | 56 |
| 3. Información de partida..... | 59 |
| 3.1. Cartografía digitalizada..... | 59 |
| 3.1.1. Planos..... | 59 |
| 3.1.2. Importación de datos..... | 60 |
| 3.2. Tratamiento de la información. Problemática acontecida..... | 63 |
| 3.2.1. Obtención de las curvas de modulación..... | 63 |
| 3.2.2. El sector de la Murta..... | 66 |
| 3.2.3. El sector de Campo Aníbal..... | 67 |

| | |
|---|------------|
| 3.2.4. Falta de coherencia en la relación caudal inyectado y consumido..... | 71 |
| 4. Análisis hídrico..... | 75 |
| 5. Elaboración del modelo y ajuste de caudales a la entrada de los sectores..... | 81 |
| 5.1. Elaboración del modelo..... | 81 |
| 5.2. Metodología de ajuste de caudales a la entrada de los sectores..... | 82 |
| 5.3. Resultados del ajuste de caudales..... | 85 |
| 6. Análisis del funcionamiento de la red y propuesta de actuaciones..... | 89 |
| 6.1. Análisis de la red..... | 89 |
| 6.2. Problemática detectada..... | 98 |
| 6.3. Propuesta de actuaciones..... | 100 |
| 6.3.1. Actuaciones planteadas por el Ayuntamiento de Puçol..... | 100 |
| 6.3.2. Actuaciones propuestas en este TFM..... | 103 |
| 7. Valoración de las actuaciones..... | 117 |
| 8. Conclusiones..... | 119 |
| 8.1. Construcción del modelo..... | 119 |
| 8.2. Diagnóstico de la red..... | 120 |
| 8.3. Actuaciones..... | 121 |
| 8.4. Conclusión final..... | 121 |
| 9. Bibliografía..... | 123 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|-----------|
| Figura 1. Situación y emplazamiento de Puçol. Localidades limítrofes. Mapa de carreteras de acceso..... | 25 |
| Figura 2. Esquema de funcionamiento de la red de distribución de agua potable..... | 28 |
| Figura 3. Vista aérea de Puçol..... | 29 |
| Figura 4. Acuíferos según el artículo 5 DMA en Puçol..... | 32 |
| Figura 5. Masas de aguas subterráneas en Puçol..... | 32 |
| Figura 6. Zonas de Puçol en las que está pendiente la edificación..... | 36 |
| Figura 7. Puntos de suministro desde el EMSHI..... | 37 |
| Figura 8. Vista de la conexión general a la red del EMSHI..... | 38 |
| Figura 9. Vista del depósito regulador nº11 del EMSHI..... | 39 |
| Figura 10. Localización del depósito regulador nº11 del EMSHI..... | 39 |
| Figura 11. Esquema del punto de conexión del EMSHI con el depósito regulador nº11..... | 40 |
| Figura 12. Vista exterior del rebombeo a Monasterios..... | 41 |
| Figura 13. Ubicación del rebombeo a Monasterios..... | 42 |
| Figura 14. Grupo de impulsión a la urbanización Monasterios..... | 43 |
| Figura 15. Esquema del suministro a Monasterios..... | 43 |
| Figura 16. Vista superior del grupo de impulsión..... | 44 |
| Figura 17. Punto de funcionamiento del grupo de presión a Monasterios. Variador SD500 de Power Electronics..... | 44 |
| Figura 18. Red arterial y de distribución. Se incluye la del EMSHI..... | 45 |
| Figura 19. Red arterial del polígono industrial Campo Aníbal..... | 46 |

| | |
|--|-----------|
| FIGURA 20. Parte de la red arterial de la margen derecha del casco urbano..... | 47 |
| Figura 21. Red arterial en la zona de la playa..... | 47 |
| Figura 22. Parte de la red arterial de la margen izquierda del casco urbano..... | 48 |
| Figura 23. Sectorización del casco urbano y playa..... | 49 |
| Figura 24. Contadores instalados para la red sectorizada..... | 51 |
| Figura 25. Separaciones Murta-Molí de Vent Nord, Barrio-Molí de Vent Nord... | 53 |
| Figura 26. Tramos de FC..... | 54 |
| Figura 27. Tramos de PE..... | 55 |
| Figura 28. Tramos de FD y PVC..... | 55 |
| Figura 29. Distribución de las tuberías..... | 56 |
| Figura 30. Ubicación de las válvulas en la red..... | 57 |
| Figura 31. Captura de la red en formato SHAPE..... | 60 |
| Figura 32. Callejero de Puçol, nº de identificación y consumo anual de cada una de las calles en m³/año..... | 62 |
| Figura 33. Red de agua potable de Puçol..... | 62 |
| Figura 34. Curva de modulación inicial para un día promedio de Barrio..... | 66 |
| Figura 35. Curva de modulación de la Murta para un día promedio..... | 67 |
| Figura 36. Esquema de la alimentación de Campo Aníbal desde el pozo de la Barraca..... | 70 |
| Figura 37. Esquema de la alimentación de Campo Aníbal..... | 70 |
| Figura 38. Tuberías a la entrada de Campo Aníbal..... | 71 |
| Figura 39. Curva de modulación inicial un día promedio para Barrio..... | 84 |
| Figura 40. Curva de ajuste de caudal de entrada a Molí de Vent Nord un día promedio..... | 86 |

| | |
|--|------------|
| Figura 41. Correlación entre caudales inyectado y simulado un día promedio para Barrio..... | 88 |
| Figura 42. Distribución de cotas del terreno en el que se asienta Puçol..... | 92 |
| Figura 43. Lista de la fisiografía del municipio de Puçol..... | 92 |
| Figura 44. Mapa de presiones de la red de Puçol..... | 93 |
| Figura 45. Presiones en la red de Puçol en hora punta (11 horas)..... | 93 |
| Figura 46. Presiones en la red de Puçol en hora valle (4 horas)..... | 94 |
| Figura 47. Comparativa de la distribución de las presiones a las 4 y 11 horas..... | 94 |
| Figura 48. Tuberías de la red con un tiempo de retención máximo superior a 24 horas..... | 97 |
| Figura 49. Mapa de isolíneas de tiempo de permanencia máximo del agua en la red..... | 97 |
| Figura 50. Vista de las infraestructuras del pozo y depósito de la Barraca..... | 98 |
| Figura 51. Brocal del pozo de la Barraca..... | 99 |
| Figura 52. Edificio del brocal del pozo de la Barraca..... | 101 |
| Figura 53. CT del edificio del pozo de la Barraca..... | 101 |
| Figura 54. Depósito elevado de la Barraca..... | 102 |
| Figura 55. Tubería a cambiar..... | 102 |
| Figura 56. Localización de la zona afectada..... | 104 |
| Figura 57. Situación después de la actuación..... | 105 |
| Figura 58. Conducciones de FC y PVC a renovar en el casco urbano y playa..... | 107 |
| Figura 59. Red de agua de riego-industrial y zonas verdes en Puçol..... | 109 |
| Figura 60. Ampliación de la red de riego..... | 110 |
| Figura 61. Esquema tipo de montaje de acometida..... | 111 |

Figura 62. Tramos a renovar por excesivas roturas.....113

Figura 63. Tubería de FC 200 de suministro a la playa.....114

Figura 64. Comprobación del correcto funcionamiento de la red el día de máximo consumo vacacional.....115

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|-----------|
| Tabla 1. Datos sobre las masas de agua subterráneas que rodean Puçol..... | 32 |
| Tabla 2. Datos meteorológicos de Puçol en los últimos trece años..... | 33 |
| Tabla 3. Datos meteorológicos mensuales de Puçol en 2013..... | 34 |
| Tabla 4. Crecimiento medio de la población de Puçol en los últimos trece años.... | 35 |
| Tabla 5. Características del pozo de la Barraca..... | 40 |
| Tabla 6. Características técnicas del grupo de presión del pozo de la Barraca.... | 40 |
| Tabla 7. Características técnicas del rebombeo de Monasterios..... | 43 |
| Tabla 8. Datos principales de las válvulas de sectorización..... | 50 |
| Tabla 9. División de la red con la sectorización..... | 52 |
| Tabla 10. Diámetro de las tuberías en la que van instaladas los caudalímetros y la calle asociada a ellos..... | 52 |
| Tabla 11. Distribución de las tuberías por diámetro y longitud en la red actual de Puçol..... | 54 |
| Tabla 12. Porcentaje de tuberías en la red según su material..... | 54 |
| Tabla 13. Enumeración y recuento de los elementos que constituyen la red..... | 56 |
| Tabla 14. Caudales promedio mensuales de Barrio..... | 64 |
| Tabla 15. Caudal mensual promedio máximo de los sectores que intervienen en el estudio del consumo doméstico..... | 65 |
| Tabla 16. Fuerte contraste entre caudal medio inyectado a partir de mayo..... | 68 |
| Tabla 17. Análisis de rendimiento hidráulico el día de máximo consumo doméstico..... | 72 |
| Tabla 18. Análisis de rendimientos hidráulicas el día de máximo consumo vacacional..... | 72 |

| | |
|--|------------|
| Tabla 19. Caudales registrado e inyectado un día de consumo promedio..... | 73 |
| Tabla 20. Caudales registrado e inyectado el día de mayor consumo doméstico... | 73 |
| Tabla 21. Caudales registrado e inyectado el día de máximo consumo vacacional..... | 74 |
| Tabla 22. Clasificación de los caudales dentro de una red de abastecimiento..... | 76 |
| Tabla 23. Demanda base de los nudos de cada sector y rendimiento hidráulico de los mismos en un día promedio..... | 78 |
| Tabla 24. Demanda base de los nudos de cada sector y rendimiento hidráulico de los mismos el día de mayor consumo doméstico..... | 78 |
| Tabla 25. Demanda base de los nudos de cada sector y rendimiento hidráulico de los mismos el día de mayor consumo industrial..... | 79 |
| Tabla 26. Demanda base de los nudos de cada sector y rendimiento hidráulico de los mismos el día de mayor consumo vacacional..... | 79 |
| Tabla 27. Coeficientes emisores definitivos para cada escenario..... | 85 |
| Tabla 28. Error promedio en Molí de Vent Nord..... | 86 |
| Tabla 29. Error promedio en Molí de Vent Sud..... | 86 |
| Tabla 30. Error promedio en Campo Aníbal..... | 87 |
| Tabla 31. Error promedio en Barrio..... | 87 |
| Tabla 32. Error promedio en Santigons..... | 87 |
| Tabla 33. Error promedio en Playa..... | 87 |
| Tabla 34. Horas de mayor y menor consumo un día de consumo promedio..... | 90 |
| Tabla 35. Longitudes de tubería de PVC y FC a sustituir en cada sector..... | 107 |
| Tabla 36. Tramos a renovar por excesivas roturas..... | 112 |
| Tabla 37. Cuadro de gastos en reforma en la infraestructura hidráulica..... | 117 |

Tabla 38: Cuadro de gastos en cambio de tuberías.....118

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----------|
| Gráfico 1. Distribución de la superficie de las explotaciones..... | 30 |
| Gráfico 2. Número de empresas..... | 31 |
| Gráfico 3. Número de empresas del sector servicios..... | 31 |
| Gráfico 4. Padrón de Puçol. Evolución y línea de tendencia de la población..... | 36 |
| Gráfico 5. Representación de los caudales promedio de Barrio..... | 64 |
| Gráfico 6. Volúmenes inyectados mensualmente en el sector Campo Aníbal..... | 67 |
| Gráfico 7. Cambio de tendencia en los volúmenes acumulados inyectados en Campo Aníbal..... | 68 |
| Gráfico 8. Distribución de las pérdidas de carga en la red en la hora de mayor consumo..... | 91 |
| Gráfico 9. Distribución de velocidades en la red a hora punta..... | 95 |
| Gráfico 10. Curva de distribución del tiempo de permanencia máximo del agua en la red..... | 96 |

ÍNDICE DE ECUACIONES

| | |
|--|-----------|
| Ecuación 1. Obtención de la primera iteración del coeficiente emisor de un sector..... | 82 |
| Ecuación 2. Caudal de fugas en un nudo en un instante de tiempo “t”..... | 83 |
| Ecuación 3. Caudal fugado por nudo en la simulación con Epanet 2.0 vE..... | 83 |
| Ecuación 4. Caudal inyectado en un sector en un instante de tiempo “t”..... | 83 |
| Ecuación 5. Obtención de las sucesivas iteraciones del coeficiente emisor de un sector..... | 84 |

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

En noviembre de 2013, y con motivo del desarrollo de unas prácticas en Aguas de Valencia S.A, se pretende realizar el modelo matemático de la red de abastecimiento de agua potable del municipio valenciano de Puçol (casco urbano, playa y sus dos polígonos industriales Campo Aníbal y Norte). La información de la que se parte es la siguiente:

- La red de abastecimiento en formatos CAD y GIS.
- Los datos topográficos de la red en formato GIS.
- Caudales mensuales inyectados en los diferentes puntos de compra y pozos.
- Los datos de consumo mensual y trimestral por calle del municipio.
- Los sectores en los que está ya dividida la red.
- Los caudales inyectados en cada sector. Se proporcionan valores diez minutales a lo largo del año 2013.
- La presión aguas abajo de la válvula reductora situada a la entrada de cada uno de los sectores. Se proporcionan valores diez minutales a lo largo del año 2013.

Se va a analizar tres tipos de consumidor: doméstico, vacacional/playa e industrial. Por lo que, aparte de realizar el modelo para analizar la red un día de consumo promedio, se va a hacer tres escenarios más aparte. Cada uno de ellos representará el día de mayor consumo de cada uno de los consumidores tipo.

Los datos de presión proporcionados por Aguas de Valencia S.A no sirven para calibrar las fugas ya que los puntos de medida no fueron suficientes para ello, por lo que no se puede hablar de que se haya hecho un calibrado, solo un ajuste muy bueno de los caudales entrantes a cada sector. Todos ellos tienen un error relativo con respecto al valor de campo menor al 1 %, salvo en Santigons el día de máximo consumo industrial.

Por otra parte decir que los modelos se han llevado a cabo con Epanet 2.0 vE, programa que permite una simulación hidráulica dinámica y controlar la calidad del agua en la red, aparte de que es fácil trabajar con él en un entorno Windows.

La correcta distribución de agua por parte de una red de abastecimiento consiste en proporcionar a todo abonado el caudal que demanda en todo momento. Para ello, la presión en los diferentes puntos de la red ha de ser mayor de un mínimo y, a la par, menor que un máximo para evitar problemas en los materiales de ésta. Conseguir este propósito junto con la necesidad de hacer económicamente viables las grandes inversiones necesarias para la construcción y el mantenimiento de estas redes, son los grandes retos que persiguen desde hace años las empresas de distribución de agua potable como es el caso de Aguas de Valencia S.A.

La moderna gestión de los abastecimientos de agua, requiere cada vez más la utilización de modelos de simulación hidráulica para evaluar su comportamiento frente a situaciones extraordinarias que pudieran tener lugar y así poder evaluar cómo comportarse frente a ellas.

En consecuencia a lo expuesto en los párrafos previos en este mismo apartado, el presente trabajo se pretende la puesta en marcha del modelo matemático de comportamiento hidráulico de la red de abastecimiento del municipio de Puçol.

1.2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo consiste en implementar un modelo matemático para el análisis del comportamiento hidráulico de la red de abastecimiento del municipio de Puçol tal que pueda ser utilizado en la práctica para la solución de problemas reales y con posibilidades de ser extendido para asimilar posibles retos futuros en la solución del diseño óptimo del sistema de distribución de agua. Los objetivos que se persiguen son:

- Saber qué elementos componen el abastecimiento.
- Elaboración de modelos matemáticos que reflejen, de la forma más fidedigna posible, el funcionamiento del sistema de agua potable y realización de un resumen de los resultados obtenidos.
- Identificación de los puntos conflictivos de la red.

- Análisis de las variables del sistema (valores de presión en puntos de consumo, caudal, velocidad, pérdida de carga en las tuberías de la red, calidad y tiempo de permanencia del agua en la red, etc.) para proponer actuaciones que garanticen valores de éstos dentro de un rango óptimo.
- Estudio de la afección del crecimiento urbanístico sobre el funcionamiento de la red.
- Análisis de diferentes alternativas de actuación para la resolución de los problemas encontrados. Crear un esquema de ellas.

2. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE ABASTECIMIENTO

2.1. SITUACIÓN Y ACCESOS

Para el estudio de la red de abastecimiento de agua potable es necesario conocer los condicionantes que existen en Puçol. En concreto, el estudio de los medios: natural, socioeconómico y demográfico, ya que condicionan el análisis de la red de agua potable. A continuación se expone tanto su situación como los posibles accesos al municipio:

- Está situado en l’Horta Nord (València), en contacto con el Campo de Morvedre; su término municipal tiene una extensión de 18,1 km². El punto más alto de la población está a 48 msnm. El clima de esta localidad es de tipo mediterráneo.
- Se puede acceder desde Valencia tomando la V-21. Desde Rafelbunyol tomando la CV-306 (antigua N-340) en sentido Barcelona. Desde Sagunto se puede ir por la autovía A-23 o bien por la "Cuarta Planta", la actual CV-320 (Figura 1).

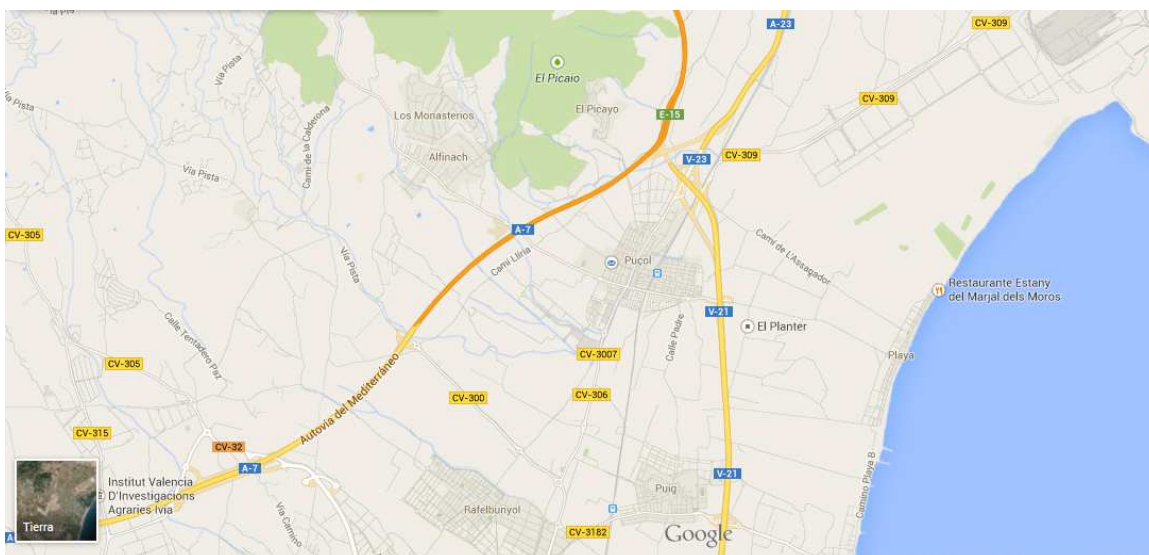


Figura 1: situación y emplazamiento de Puçol. Localidades limítrofes. Mapa de carreteras de acceso.

- Limita con las localidades valencianas de El Puig por el sur y suroeste, con Sagunto por el norte y noroeste. Al este limita con el mar Mediterráneo.
- Geográficamente, posee su centro en el meridiano $0^{\circ} 18' 4''$ de longitud oeste y en el paralelo $39^{\circ} 37' 0''$ de latitud norte. Esta situación explica la existencia de un clima mediterráneo.

2.2. ESQUEMA DE LA RED

En la actualidad, Puçol cuenta con varios suministradores de agua potable a los diferentes núcleos urbanos y urbanizaciones que existen dentro del término municipal (Figura 2). Las diferentes gestiones llevadas a cabo según sea la zona se detallan a continuación (Figura 3):

- Casco urbano, playa y los polígonos industriales de Campo Aníbal y Norte: compran agua al Sistema Básico Metropolitano perteneciente a la Entidad Metropolitana de Servicios Hidráulicos (EMSHI). Este último se encarga de gestionar el sistema de agua en alta que abastece a las poblaciones situadas en la Comarca de L'Horta de València. Son su competencia tanto la captación como el tratamiento del agua proveniente de los ríos Júcar y Turia para su potabilización y distribución. La gestión del suministro la lleva Aguas de Valencia S.A.
- Urbanización Alfinach: el suministro a esta urbanización es gestionado por la comunidad vecinal de esta urbanización y lo realizan a través de un pozo propio.
- Urbanización Monasterios: la gestión del servicio de distribución de agua potable a esta urbanización también es realizada por la propia comunidad de vecinos. A diferencia con la anterior, el suministro a esta urbanización se realiza desde la red del EMSHI (Depósito de regulación nº 11, gestionado por Aguas de Valencia S.A).

Instalaciones de la Costera: compran agua al EMSHI. La gestión es llevada a cabo por ellos. Además, existen dos captaciones subterráneas:

- El pozo La Costera: se encarga del suministro de agua no potable de las instalaciones de La Costera para diferentes usos que no sea el doméstico.
- La captación La Barraca: actualmente está en desuso. Suministraba agua industrial no potable. En el hipotético caso de que Puçol se quedara sin suministro de potables entraría ésta en juego suministrando el agua para uso no potable de la población.

Decir en un principio que de las diferentes gestiones expuestas antes, solo se profundizará en este trabajo con las que dependan de Aguas de Valencia S.A, es decir:

- Casco urbano
- Playa
- Polígonos industriales de Campo Aníbal y Norte.
- Captación de La Barraca.
- Depósito de regulación nº 11 del EMSHI.

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

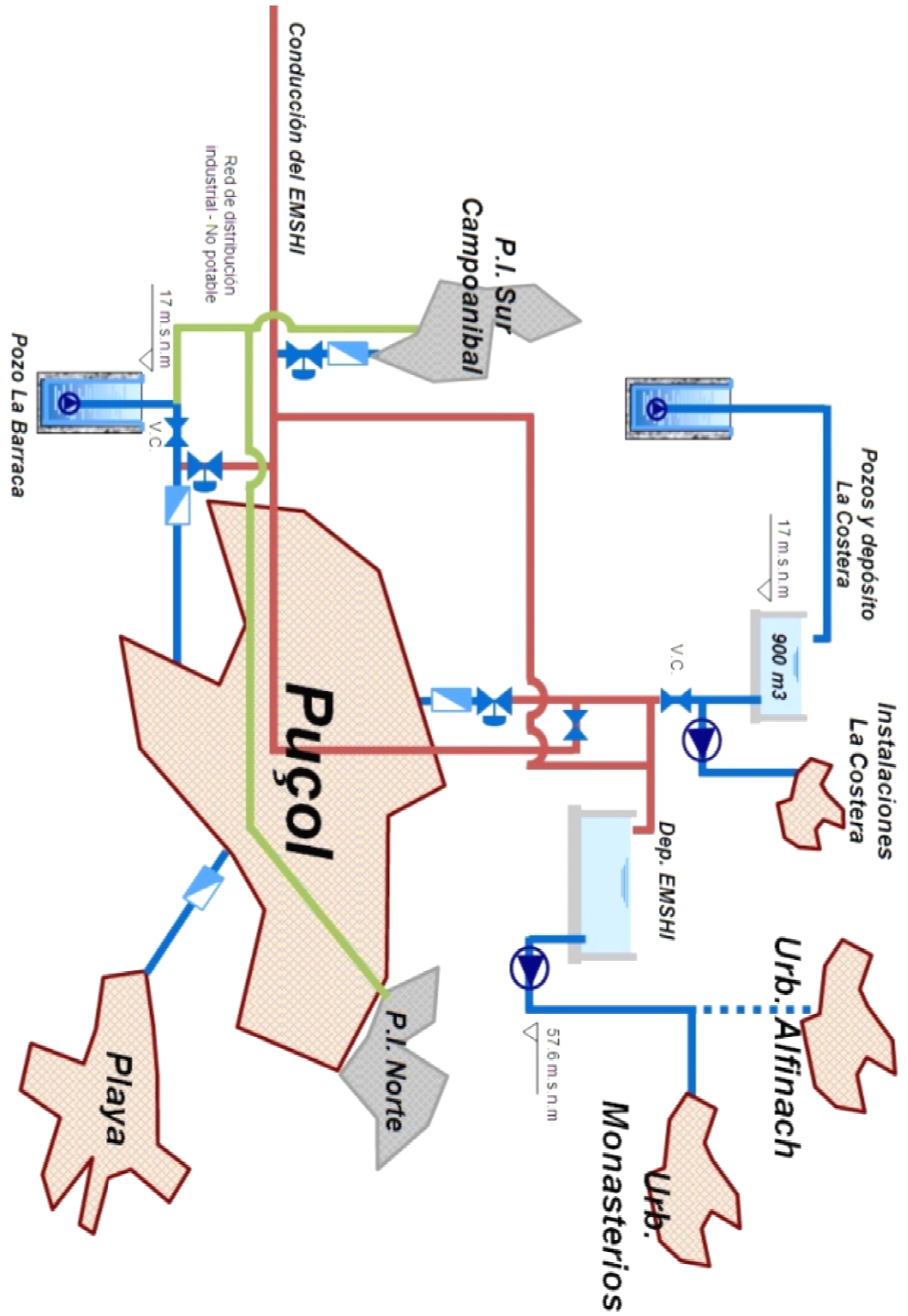


Figura 2: esquema de funcionamiento de la red de distribución de agua potable

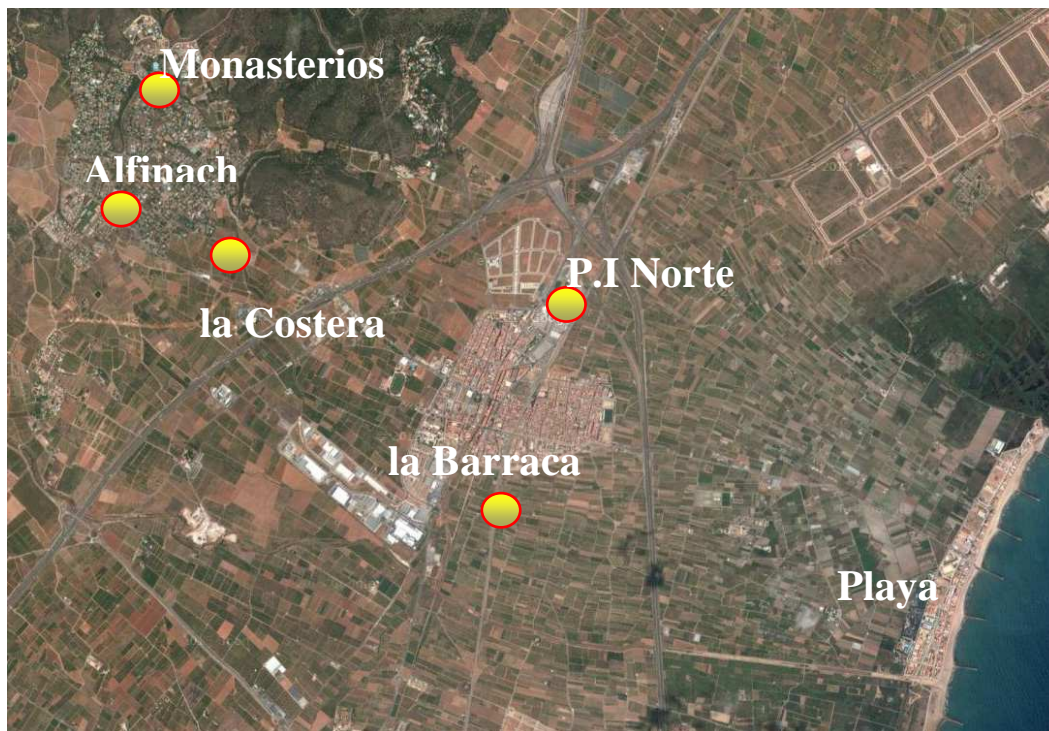


Figura 3: vista aérea de Puçol

2.3. MEDIO NATURAL Y SOCIOECONÓMICO

2.3.1. ECONOMÍA

La riqueza económica de Puçol, principalmente agrícola hasta 1950 se ha visto posteriormente transformada por una serie de industrias de todo tipo, desde la confección de materiales de construcción y hornos de barro, hasta la industria electrodoméstica, representada por la fábrica de Cointra, en la que se empleó gran parte de la población de los años 50. Este áuge industrial, propició la inmigración desde Andalucía y Castilla-La Mancha, principalmente, al núcleo urbano de la población.

Dentro de la huerta se encontraban en secano: almendros, olivos, algarrobos y viñedos. La vid fue en siglos pasados el principal de sus cultivos. En la actualidad los cítricos ocupan la mayor parte del terreno que hay de regadío, lo que le sitúa en el primer lugar de los cultivos, tanto por extensión como por significación económica. Son los cítricos los que ocupan un mayor porcentaje en los usos para la agricultura (90,3%), seguido, con una gran diferencia, de hortalizas (4,5 %) y frutales (4,1 %) (Gráfico 1).

El resto de la huerta se dedica a frutales, hortalizas varias, tomate, y cebollas, maíz y patatas en proporciones más pequeñas. Existe ganadería lanar, vacuno.

El sector industrial cuenta con una gran planta de fabricación de electrodomésticos y otras más diversas que van desde las metalúrgicas hasta la exportación de cítricos, pasando por panadería, bollería, lunas para coches, volquetes para camión, aceites de motor... En el septiembre de 2012 se anuncia el cierre de la industria Cointra-Geodesia y por tanto la pérdida de una de las industrias más significativas para la economía local de la época industrial de la población, siendo afectados por el ERE 50 de 75 trabajadores en activo y siendo trasladada la producción y el resto de trabajadores a la planta de Burgos. A continuación se representan los datos según el INE 2012 con el número de empresas por sector de actividad (Gráfico 2) y en concreto en el sector servicios (Gráfico 3). La intención es la de hacerse una idea sobre qué tipo de consumos se pueden dar en Puçol en un día laboral según su población activa y cuáles podrían ser sus posibles comportamientos.



Gráfico 1: distribución de la superficie de las explotaciones [1]

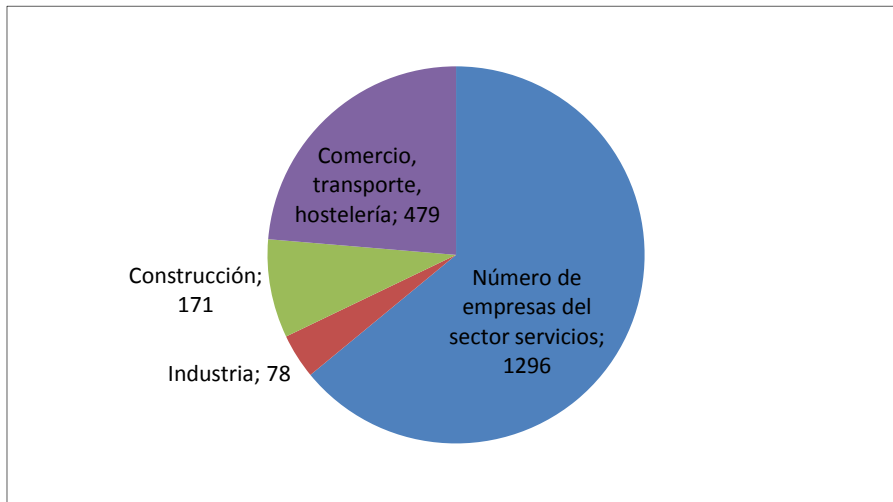


Gráfico 2: número de empresas [1]

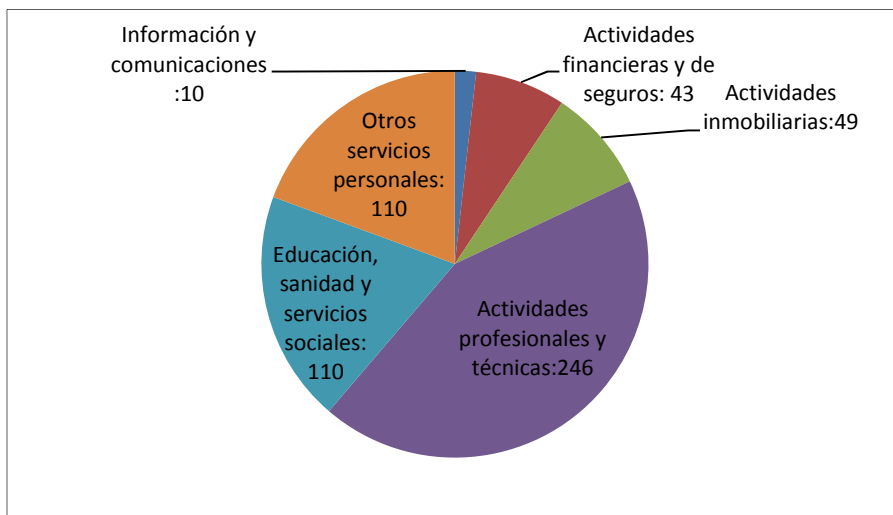


Gráfico 3: número de empresas del sector servicios [1]

2.3.2. **HIDROLOGÍA.**

La zona de estudio se encuentra integrada en el Sistema Acuífero N° 51, denominado “Plana de Sagunto”, concretamente en su sector occidental. Por otra parte, en el marco de los trabajos efectuados por la Confederación Hidrográfica del Júcar para la incorporación y adaptación a las disposiciones de la Directiva Marco del Agua (DOC, 2000) se ha llevado a cabo la caracterización inicial de las masas de agua subterránea que corresponden a su ámbito territorial. De esta identificación se deduce, que el término municipal de Puçol, se encuentra enclavado en su mayor parte, en la masa de

agua subterránea 080.128 “Plana de Sagunto”, y la masa de agua subterránea 080.023 “Medio Palancia” (Figuras 4 y 5 y Tabla 1).

| Acuíferos según Artículo 5 DMA | 080.022.01 | 080.023.07 |
|-------------------------------------|------------------|-----------------|
| Nombre | Plana de Sagunto | Náquera – Puçol |
| Tipo Acuífero | Permeable | Permeable |
| Código masa agua subterránea | 080.128 | 080.023 |
| Nombre Masa agua | Plana de Sagunto | Medio Palancia |

Tabla 1: datos sobre las masas de agua subterránea que rodean Puçol.

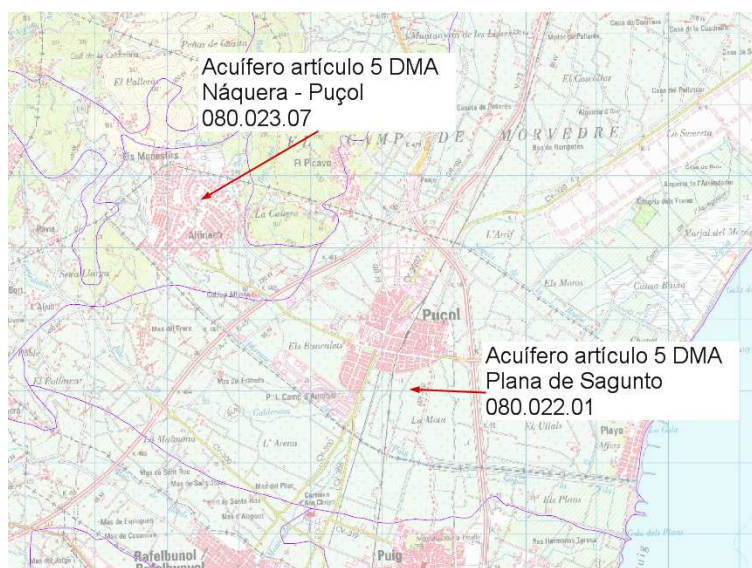


Figura 4: acuíferos según el artículo 5 DMA en Puçol [2]



Figura 5: masas de aguas subterráneas en Puçol [2]

2.3.3. CLIMATOLOGÍA.

Puçol tiene un clima típicamente mediterráneo. Se ha procedido a estudiar los datos meteorológicos de los últimos trece años para tener un promedio coherente de la humedad relativa promedio, precipitación total y temperaturas: máxima, mínima y media. Se ha procedido a hacer lo mismo con los datos meteorológicos del año 2013 para poder ver las fluctuaciones de las variables meteorológicas estudiadas a lo largo de un año.

Tiene inviernos templados y lluviosos debido a la característica suavizadora de temperatura que hace el mar. Los veranos son: largos, secos y calurosos, con la media de las máximas en los 22,46 °C (Tabla 2). Las precipitaciones presentan un elevado pico en otoño, siendo también éstas frecuentes en primavera (Tabla 3).

En el ámbito de estudio las precipitaciones no resultan abundantes, marcando un valor medio anual de 441,03 mm; caracterizándose por su irregularidad ya que se distingue por tener períodos de sequía intercalados con otros algo más húmedos. (Tabla 3).

| AÑO | Tª MEDIA DE LAS MÁXIMAS (°C) | Tª MEDIA DE LAS MÍNIMAS (°C) | Tª MEDIA DE LAS MEDIAS (°C) | HR MEDIA (%) | PRECIPITACIÓN TOTAL(mm) |
|-----------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| 2001 | 23,44 | 13,71 | 18,26 | 61,11 | 466,8 |
| 2002 | 22,65 | 13,00 | 17,90 | 62,31 | 542 |
| 2003 | 22,70 | 13,62 | 18,17 | 61,53 | 399,4 |
| 2004 | 22,11 | 12,83 | 17,73 | 62,18 | 591,4 |
| 2005 | 21,98 | 11,93 | 16,54 | 61,43 | 279,4 |
| 2006 | 22,60 | 13,63 | 18,06 | 65,28 | 424,4 |
| 2007 | 22,47 | 12,97 | 17,66 | 62,28 | 587,8 |
| 2008 | 22,17 | 12,70 | 17,41 | 63,71 | 430,8 |
| 2009 | 22,61 | 13,18 | 17,83 | 63,44 | 509,2 |
| 2010 | 21,59 | 12,45 | 17,04 | 62,44 | 362,4 |
| 2011 | 22,53 | 13,53 | 17,96 | 68,02 | 489,63 |
| 2012 | 22,82 | 12,89 | 17,82 | 62,42 | 325,05 |
| 2013 | 22,54 | 13,17 | 17,80 | 58,93 | 325,07 |
| PROMEDIO | 22,46 | 13,05 | 17,69 | 62,70 | 441,03 |

Tabla 2: datos meteorológicos de Puçol en los últimos trece años [3].

| MES | Tª MEDIA DE LAS MÁXIMAS (°C) | Tª MEDIA DE LAS MÍNIMAS (°C) | Tª MEDIA DE LAS MEDIAS (°C) | HR MEDIA (%) | PRECIPITACIÓN TOTAL(mm) |
|-------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------|--------------------------------|
| Enero | 17,99 | 12,15 | 6,21 | 50,03 | 31,32 |
| Febrero | 16,36 | 11,73 | 7,14 | 49,45 | 1,38 |
| Marzo | 19,34 | 14,51 | 9,70 | 56,23 | 43,53 |
| Abril | 19,75 | 14,90 | 9,98 | 62,35 | 48,47 |
| Mayo | 22,19 | 17,21 | 12,21 | 61,00 | 2,17 |
| Junio | 26,04 | 21,55 | 16,66 | 60,05 | 3,55 |
| Julio | 29,94 | 25,61 | 21,13 | 62,84 | 4,73 |
| Agosto | 28,89 | 24,92 | 21,16 | 68,07 | 0,99 |
| Septiembre | 27,63 | 23,32 | 19,11 | 66,90 | 29,75 |
| Octubre | 26,26 | 21,43 | 17,14 | 62,39 | 97,31 |
| Noviembre | 19,92 | 15,06 | 10,24 | 47,33 | 59,49 |
| Diciembre | 16,29 | 11,27 | 6,86 | 60,58 | 2,38 |
| PROMEDIO | 22,55 | 16,97 | 13,13 | 58,94 | 325,07 |

Tabla 3: datos meteorológicos mensuales de Puçol en 2013[3].

2.3.4. DEMOGRAFÍA

Según datos oficiales de los padrones municipales proporcionados por el INE (Instituto Nacional de Estadística) la población de Puçol en el año 2013 fue de 19.320 habitantes. Lo que significa en términos de densidad de población de 1.067,40 hab./km².

Tener un conocimiento lo más certero posible de la evolución de una población es de gran importancia para abordar el problema del abastecimiento de agua a la misma. La evolución demográfica, tanto espacial como temporal, es un buen indicador de factores como la dotación por habitante del término municipal y de los hábitos de consumo de la población que serán necesarios para diseñar con acierto las nuevas conducciones a instalar. Del mismo modo, esta evolución permite conocer, de manera rápida, las necesidades de producción de agua y de regulación del abastecimiento.

La previsión del número de abonados futuro puede realizarse de dos modos distintos, por ello se llevará a cabo a partir de:

- Su evolución histórica.
- El Plan General de Ordenación Urbana.

2.3.4.1. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL NÚMERO DE ABONADOS

Para obtener resultados fidedignos acerca de la evolución de la población de Puçol, se tienen en cuenta los datos a partir del año 2001 (Tabla 4). Desde este año hasta el 2008, la población creció a un ritmo muy acelerado, del orden del 3,07 % interanual (Gráfico 4). Se contrasta con los últimos cinco años, en la que el número de habitantes creció a un ritmo menor, del orden de 1,25 %.

Se ha llegado a 19.320 habitantes en el año 2013, y un número de abonados que asciende a 9781, lo que nos da un ratio habitantes/abonados de 1,986.

| PUÇOL | | | | | |
|-------|--------|-------|---------------------------------|--------|-------|
| AÑO | HABIT. | %CREC | AÑO | HABIT. | %CREC |
| 2001 | 14.793 | 1,82 | 2008 | 18.842 | 4,99 |
| 2002 | 15.057 | 1,78 | 2009 | 19.018 | 0,93 |
| 2003 | 15.524 | 3,10 | 2010 | 19.295 | 1,46 |
| 2004 | 16.018 | 3,18 | 2011 | 19.310 | 0,08 |
| 2005 | 16.531 | 3,20 | 2012 | 19.421 | 0,57 |
| 2006 | 17.249 | 4,34 | 2013 | 19.320 | -0,52 |
| 2007 | 17.947 | 4,05 | Crecimiento medio: 2,23% | | |

Tabla 4: crecimiento medio de la población de Puçol en los últimos trece años.

2.3.4.2. PLAN GENERAL DE ORDENACIÓN URBANA

El actual Plan General de Ordenación Urbana (PGOU) [4] de Puçol está en vigor desde el año 2006. Para la zona residencial se ha considerado una dotación de 100 viv/hec y un ratio habit/viv. de 1,217 (IVE , 2011). Para la dotación industrial tomaremos 10 m³/Ha/día.

Todas la zonas sombreadas en amarillo (Figura 6) se encuentra urbanizadas pero no edificadas por completo. Según los datos del Ajuntament de Puçol, tan solo falta por urbanizar y edificar el sector 6, residencial.

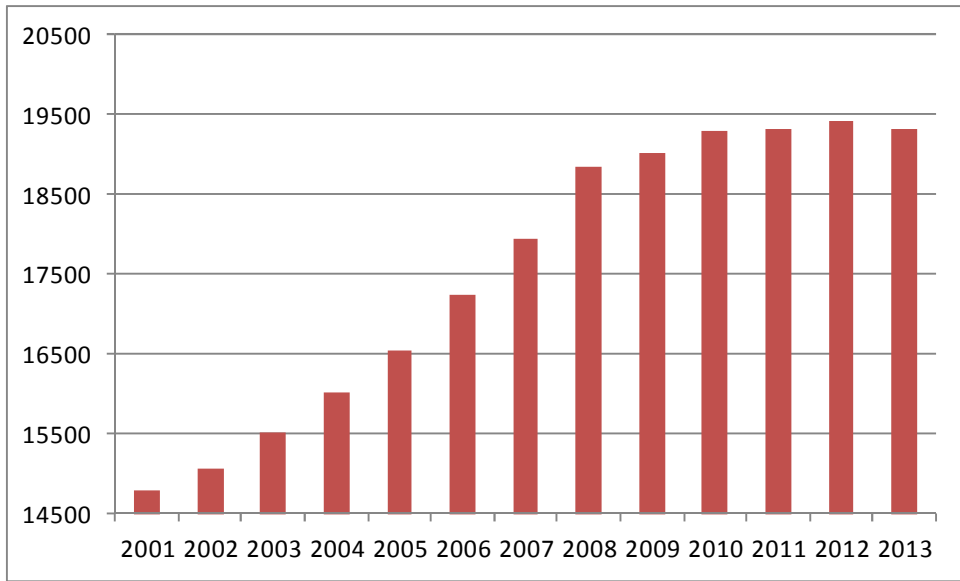


Gráfico 4: padrón de Puçol. Evolución y línea de tendencia de la población.

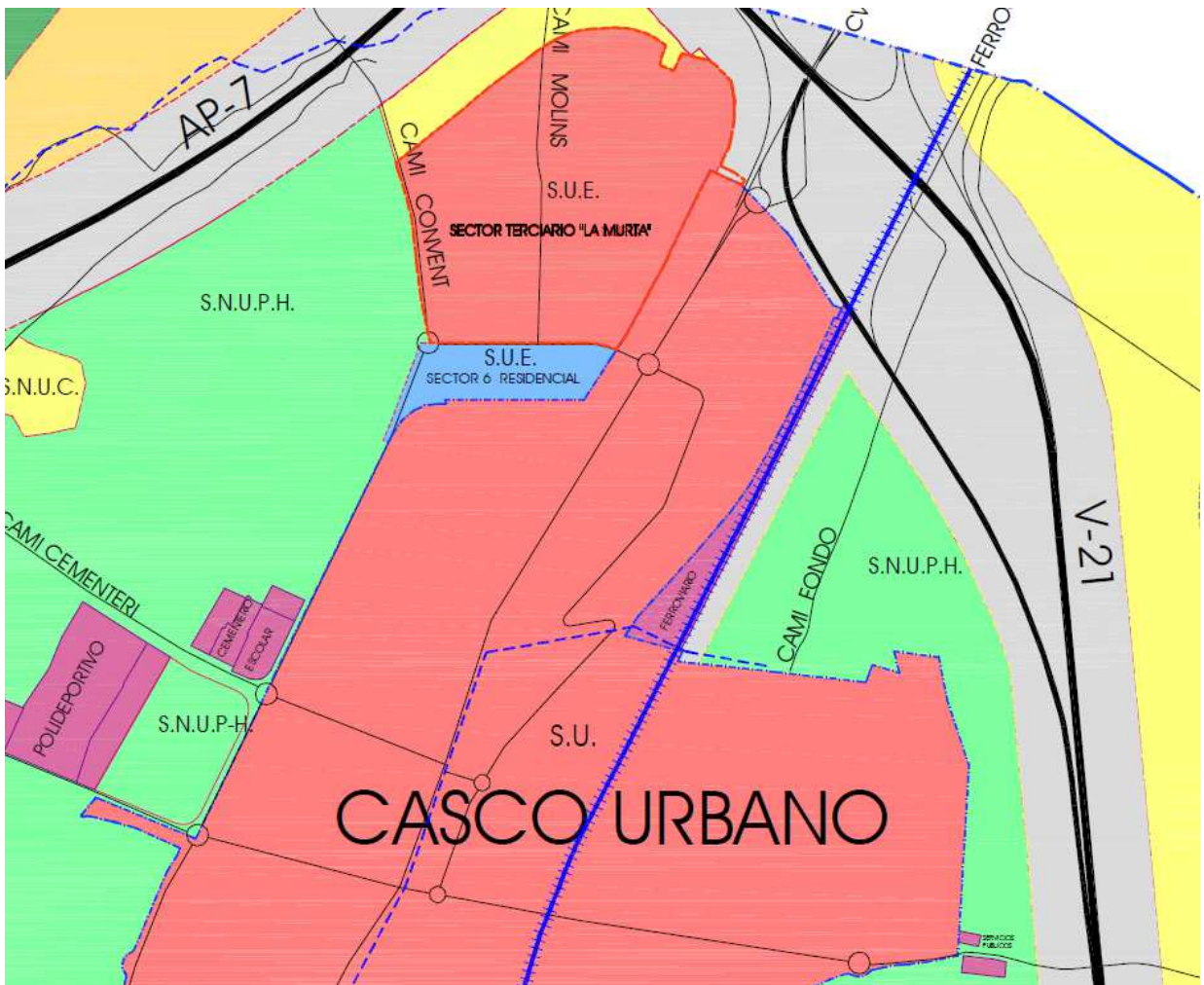


Figura 6: zonas de Puçol en las que está pendiente la edificación

2.4. DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

2.4.1. PUNTOS DE SUMINISTRO

2.4.1.1. SUMINISTRO DESDE EL EMSHI

Son tres los puntos de inyección desde este sistema al área gestionada por Aguas de Valencia (Figura 7):

- Avenida Molí de Vent, cruce con Sanchís Guarner.
- La Barraca.
- Avenida Progres, en polígono Campo Aníbal.

El esquema de funcionamiento de los puntos de entrega es el mismo, aguas abajo del punto de medida se encuentran una válvula reductora de presión, un filtro y una ventosa (Figura 8).

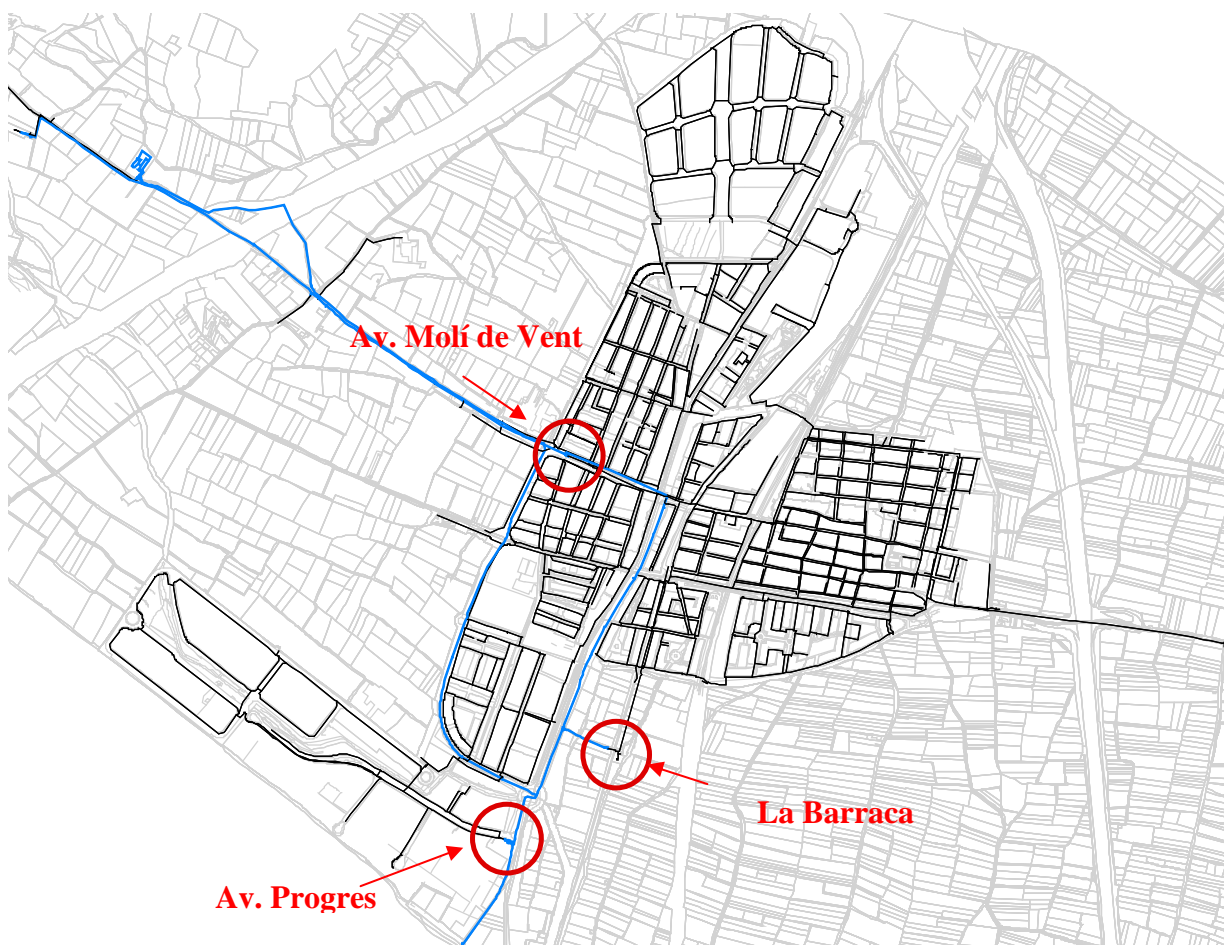


Figura 7: puntos de suministro desde el EMSHI

El suministro desde la red en alta en la Avenida Molí de Vent cruce con la calle Sanchís Guarner, se realiza desde una tubería de 400 mm de fibrocemento. La válvula reductora del punto de entrada está tarada a 30 mca.

Junto a la parcela del pozo de la Barraca se encuentra el segundo punto de inyección de la red en alta a la red de distribución del casco urbano. En este caso, el suministro se realiza desde una tubería de 300 mm de fibrocemento. La válvula reductora del punto de entrada está tarada a 30 mca.



Figura 8: vista de la conexión general a la red del EMSHI.

El tercer punto de suministro desde el sistema en alta es al polígono industrial Campo Aníbal a través de una tubería de fundición dúctil de 300 mm. La válvula reductora del punto de entrada está tarada a 35 mca.

El sistema de transporte del EMSHI cuenta con un depósito de regulación (Figura 9). Éste no pertenece al sistema de distribución de Puçol (Figura 10), al ser del servicio del EMSHI, pero es desde donde se abastece a la urbanización de Monasterios a través de una tubería de fundición dúctil de 250 mm. (Figura 11).



Figura 9: vista del depósito regulador n°11 del EMSHI.

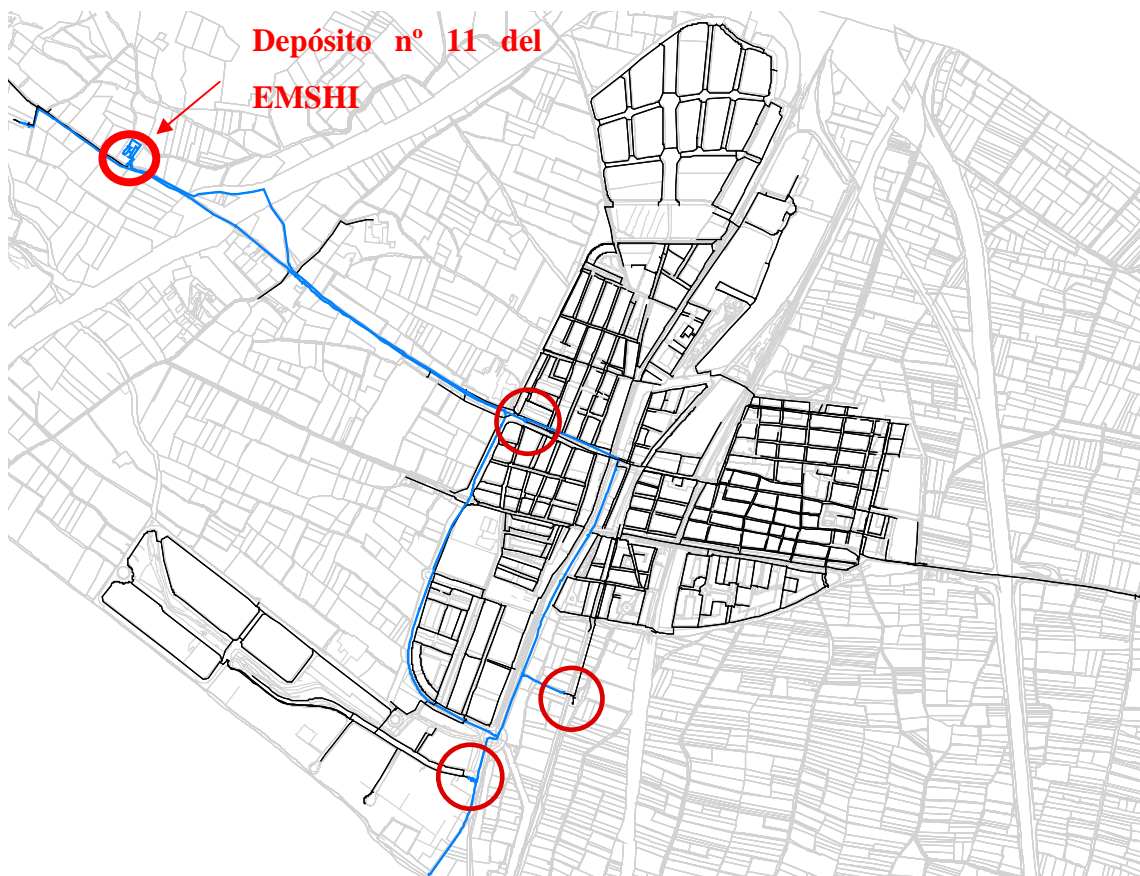


Figura10: localización del depósito regulador n°11 del EMSHI.

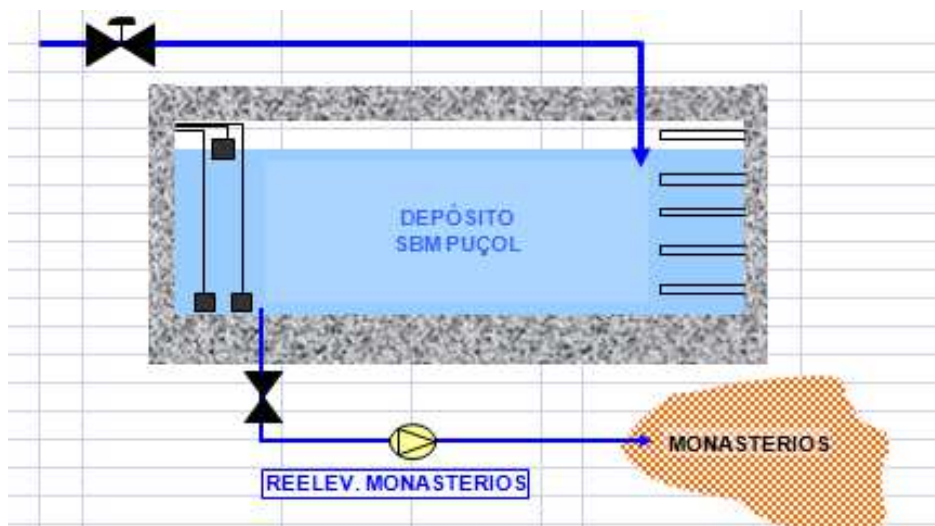


Figura 11: Esquema del punto de conexión del EMSHI con el depósito regulador n°11

2.4.1.2.CAPTACIÓN DE LA BARRACA

Las instalaciones de la Barraca están compuestas por una captación y un depósito elevado que eran las antiguas fuentes municipales de suministro al casco urbano. El pozo (Tablas 5 y 6) se empleaba para el suministro de agua no potable a los polígonos industriales y agua de riego. Es por ello que todo el caudal inyectado en la red industrial debe ser clorado. Para ello se cuenta con una instalación de dosificación de hipoclorito sódico.

| Perforación | | | |
|---------------|--------------|-----------------------------|-----|
| Ubicación UTM | | Profundidad (m) | 18 |
| Coord. X | 731.025,67 | | |
| Coord. Y | 4.388.249,87 | Cota del broncal (m.s.n.m.) | 17 |
| Coord. Z | 17 | Ø perforación (mm) | 400 |

Tabla 5: características del pozo de la Barraca

| Grupo de bombeo | | Motor eléctrico | |
|--------------------------|--------------------------------|-----------------|-----|
| Profundidad (m) | 25 | Potencia (kW) | 26 |
| Caudal (l/seg) | 47 | Tensión (V) | 380 |
| Altura manométrica (mca) | 30 | Intensidad (A) | 50 |
| Marca y modelo | Bomba sumergida. ATURIA XN8L3A | | |

Tabla 6: características técnicas del grupo de presión del pozo de la Barraca.

Además del suministro de agua industrial, la tubería de salida del pozo de 150mm conecta con la tubería arterial de suministro de FC300mm que suministra agua potable al casco urbano desde la toma del EMSHI. De esta manera, este pozo cumple una función de suministro de emergencia en caso de producirse algún tipo de fallo en el suministro del EMSHI.

2.4.2. GRUPOS DE PRESIÓN

El suministro a las instalaciones gestionadas por Aguas de Valencia se realiza, en su mayoría, sin necesidad de emplear grupos de bombeo debido a que la presión que lleva el agua del EMSHI en los puntos de toma es suficiente. El suministro a las instalaciones de la urbanización Monasterios sí que los requiere debido a la cota del terreno. Dicho rebombeo (Figura 12) se encuentra ubicado junto al depósito de regulación nº11 del EMSHI del cual se suministra (Figura 13).



Figura12: vista exterior del rebombeo a Monasterios.

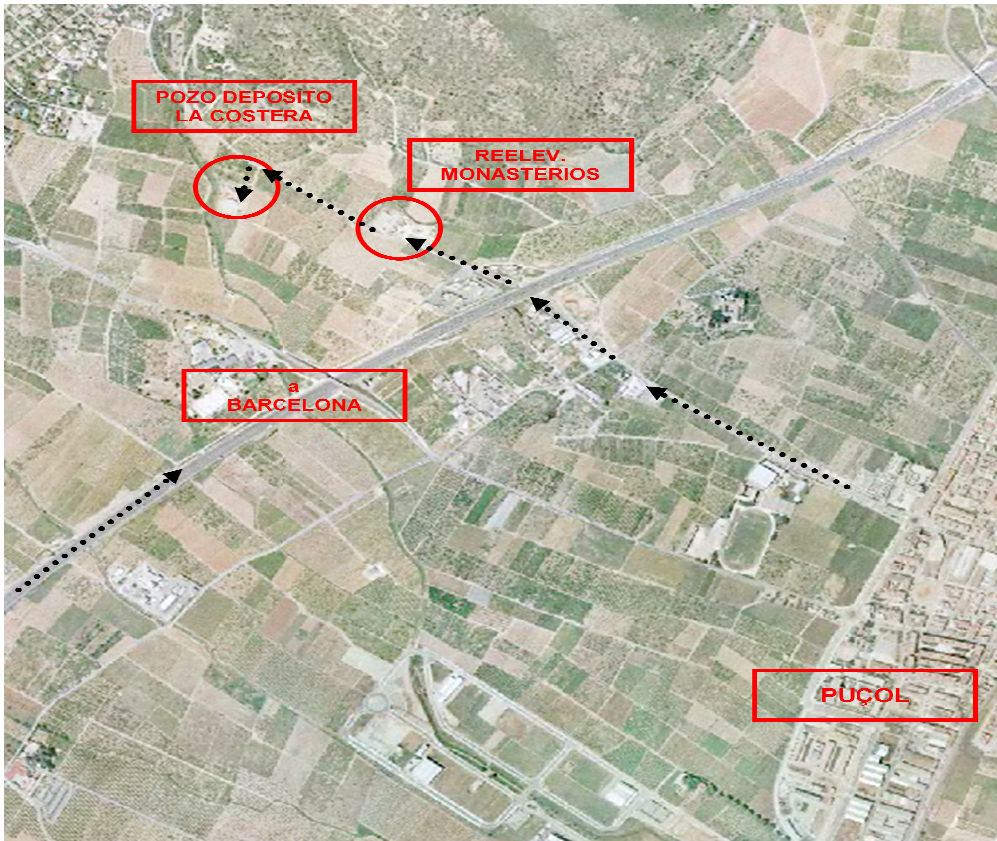


Figura13: ubicación del rebombeo a Monasterios.

El grupo de presión está compuesto por dos bombas idénticas en paralelo (Figura 14). Solo funciona una de ellas (de 0:00 a 7:00, horario valle en lo que respecta al coste del kW/h). La segunda está como reserva en caso de fallar la anterior. Las características técnicas de ambas bombas se exponen en la Tabla 7.

Aguas de Valencia S.A se encarga solo en gestionar el llenado del depósito de Monasterios (Figura 15). Por ello en caso de fallo general en la reelevación, la urbanización de Monasterios se puede autoabastecer de pozos propios para suplir este error y así evitar el que dicha urbanización se quede sin suministro.



Figura14: grupo de impulsión a la urbanización Monasterios.

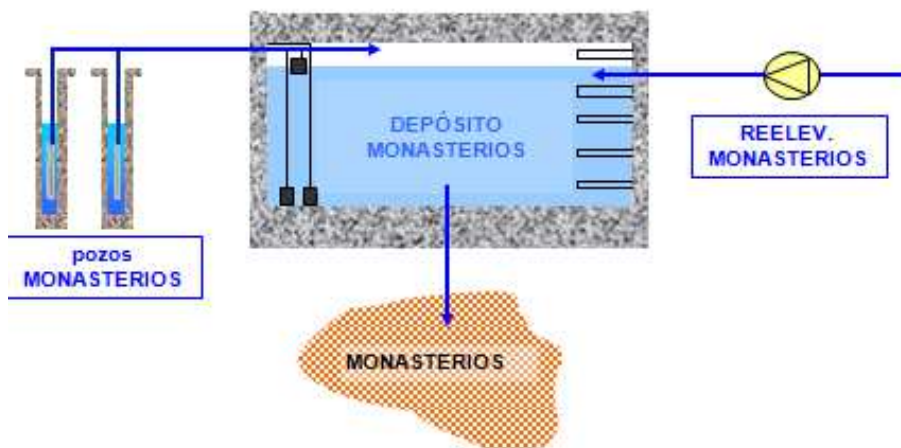


Figura 15: esquema del suministro a Monasterios.

| | | | |
|----------------------|-----|--------------------------------|-------------------------|
| Potencia (kW) | 37 | Marca y modelo | CAPRARI HV 65/2E |
| Tensión (V) | 400 | Punto de funcionamiento | 12 l/s – 120 mca |

Tabla 7: características técnicas del rebombeo de Monasterios.

Este rebombeo se abastece desde el depósito de regulación a través de una única tubería. Desde esta tubería salen dos ramales en paralelo a las dos bombas idénticas cuya salida se une aguas abajo en la tubería de impulsión hasta Monasterios. Todo el volumen impulsado es contabilizado a través de un caudalímetro instalado a la salida de

las bombas. Este grupo de presión también está equipado con un calderín de 1.000 litros (Figura 16). Para optimizar y regular el punto de funcionamiento, el rebombeo está equipado con variador de velocidad (Figura 17).



Figura 16: vista superior del grupo de impulsión

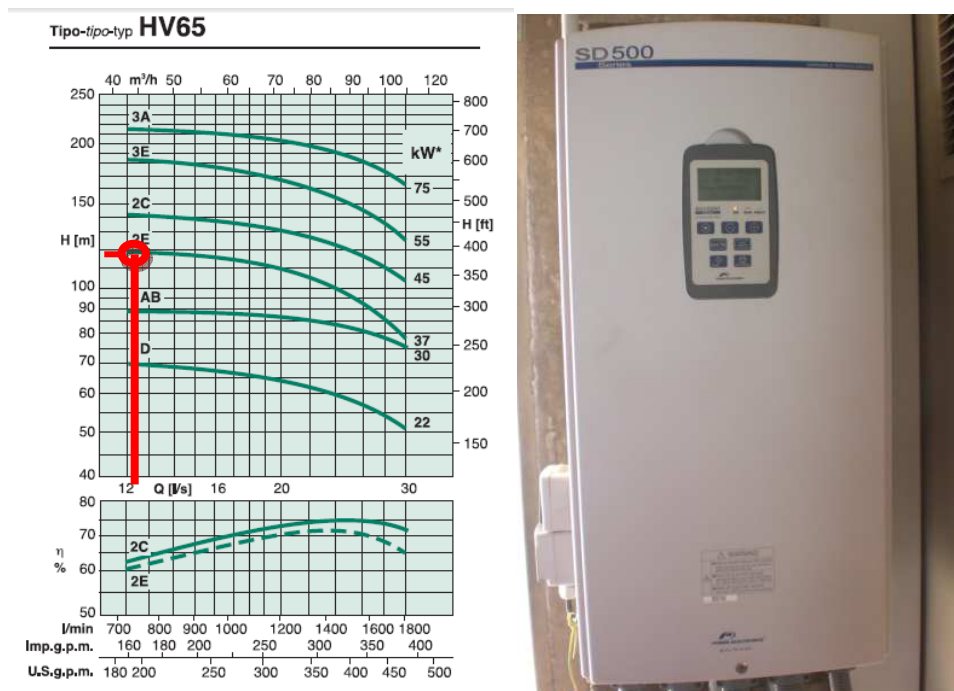


Figura 17: punto de funcionamiento del grupo de presión de Monasterios (izquierda).
Variador SD500 de Power Electronics (derecha).

2.5. RED ARTERIAL Y DE DISTRIBUCIÓN

En la actualidad, en la red de abastecimiento de agua potable se puede distinguir entre tuberías arteriales y de distribución (Figura 18). Por red arterial se entiende la red compuesta por las tuberías de mayor diámetro encargadas de realizar la función de transporte a las distintas zonas de consumo, mientras que la red de distribución la conforman aquellas de menor calibre encargadas de efectuar propiamente dicho suministro a las acometidas.

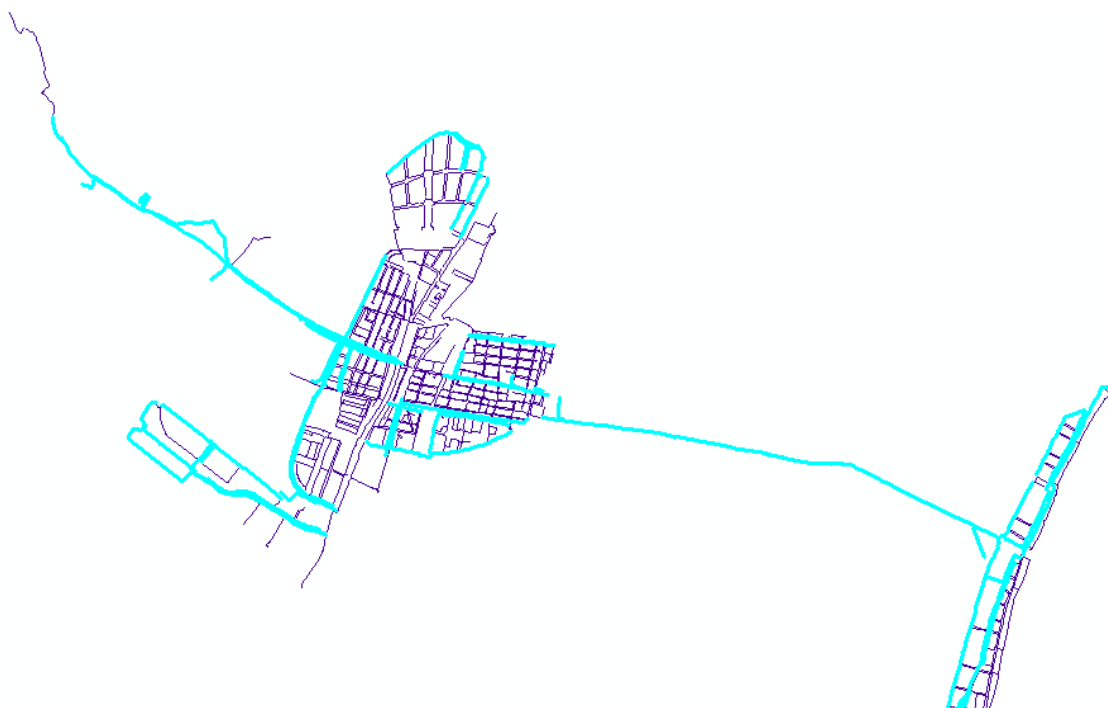


Figura 18: red arterial (en azul claro) y de distribución (en azul oscuro). Se incluye la del EMSHI.

2.5.1. RED ARTERIAL

Hasta la Av. Progres, en Campo Aníbal, llega la conducción del EMSHI de FD400 y conecta con una tubería de PVC de 90 mm que suministra a todo el polígono. Dentro de él se encuentran tuberías arteriales las de las calles Barranc Pascual, Llumeners, Sabaters y Teixidors, con tramos de PE160 mm que no llegan a cerrar un anillo perimetral (Figura 19).

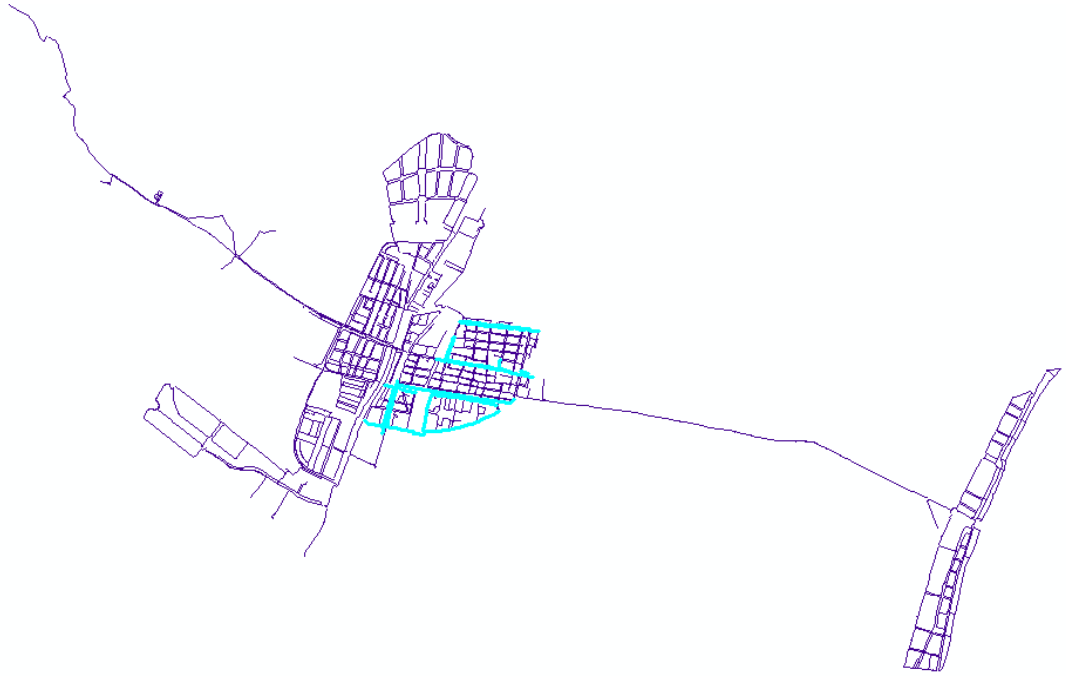


Figura 20: parte de la red arterial de la margen derecha del casco urbano

Por Camí del Mar circula una tubería de fibrocemento de 200 mm que cuando entra a la zona municipal se bifurca en tres ramas: una tubería de PE de 200 mm que baja por Passeig Mediterrani, otra de PE 160 por calle Riu Turia y la última de PE 200 mm por calle Marjals. La red se cierra en forma anular con las conducciones de PE 200 mm de la avenida Grau Vell y con la de PE 160 mm de la calle Riu Xúquer (Figura 21).

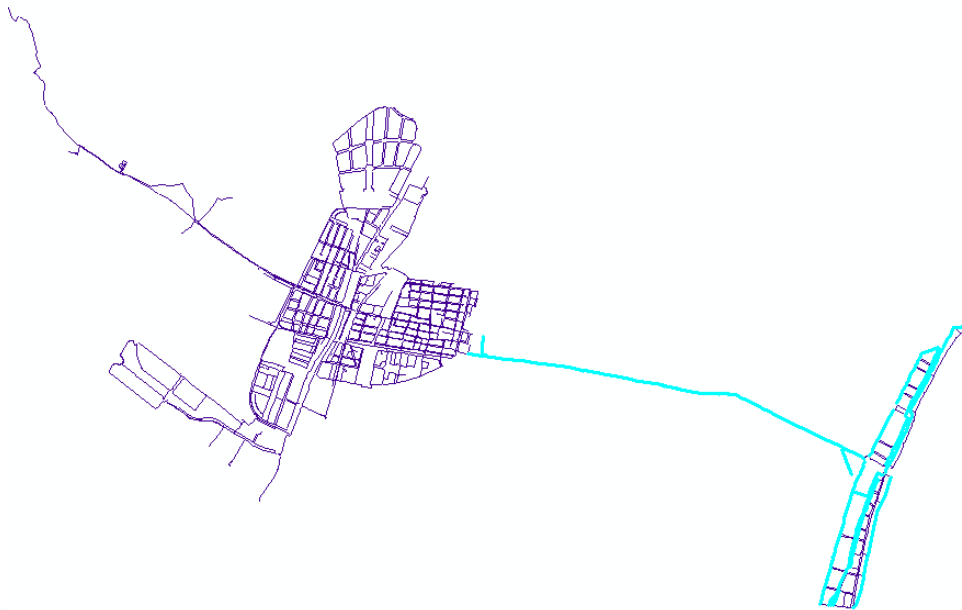


Figura 21: red arterial en la zona de la playa

En avenida Molí de Vent, donde cruza con Sanchis Guarner está el otro punto de inyección del EMSHI. El suministro se realiza desde una tubería de 400 mm de fibrocemento a una de FC250 mm. La tubería arterial continúa con las calles Ronda, Garroferes, Els Pins y baja por la avinguda Tarongers con un PVC no plastificado de 160 mm, y por la avenida de les Corts Valencianes con PE 200 mm (Figura 22).

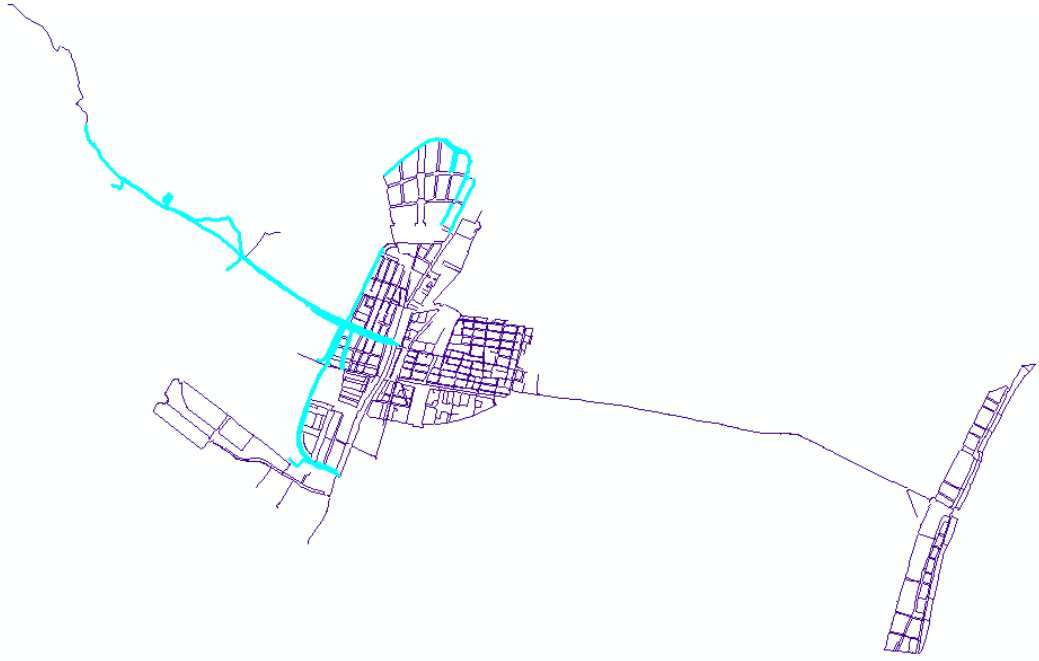


Figura 22: parte de la red arterial de la margen izquierda del casco urbano

2.5.2. RED DE DISTRIBUCIÓN

La red de distribución está sectorizada (Figura 23) y se estima que un 85 % de esta red es mallada. El número total de sectores implantados es de ocho, contando con la futura división de Santigons en sí mismo y Ambulatorio en 2014.

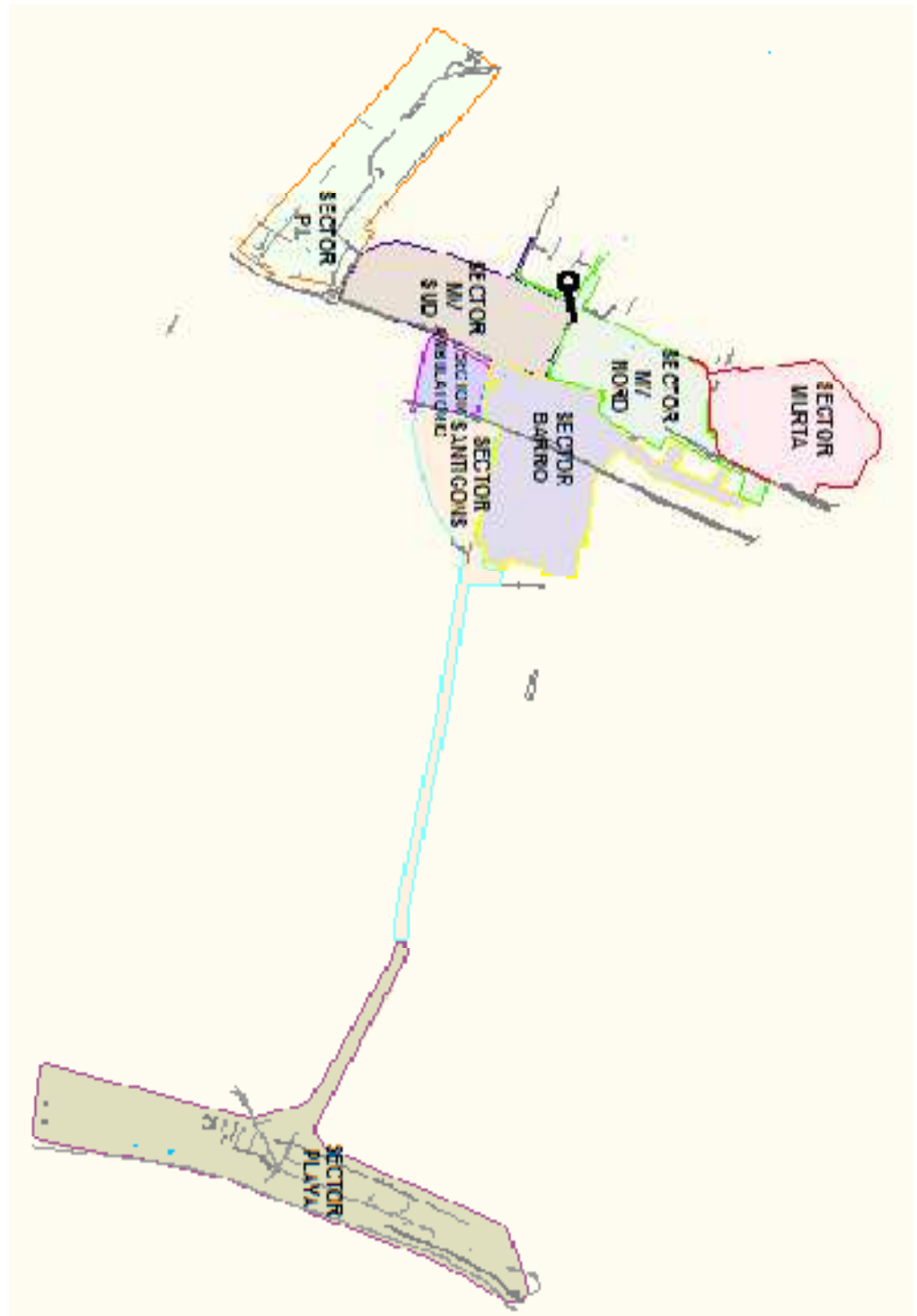


Figura 23: sectorización del casco urbano y playa

Por otra parte, para materializar la sectorización ha sido necesario cerrar un total de catorce válvulas de corte (Tabla 8).

| SECTORES SEPARADOS | CALLE ASOCIADA | TUBERÍA SOBRE LA QUE ESTÁ INSTALADO LA VÁLVULA | DIÁMETRO VÁLVULA |
|-------------------------------------|----------------------------------|---|-------------------------|
| Campo Aníbal- Molí de Vent Sud | C/Avda. de les Corts Valencianes | PE200 | 200 |
| Campo Aníbal- Molí de Vent Sud | C/Avda. de les Corts Valencianes | PE110 | 110 |
| Murta – Molí de Vent Nord | C/ Avda. Tarongers | PE160 | 160 |
| Molí de Vent Nord- Barrio | C/Mas de León | PE50 | 50 |
| Molí de Vent Nord- Molí de Vent sud | C/Avda. Molí de Vent | FC200 | 200 |
| Molí de Vent Nord- Molí de Vent Sud | C/Avda. Molí de Vent | FC250 | 250 |
| Molí de Vent Sud- Barrio | C/Avda. Valencia | FC250 | 250 |
| Ambulatorio- Exterior de Puçol | C/Federica Monseny | FC300 | 300 |
| Ambulatorio- Exterior de Puçol | C/Avda. Vicente Ros | FC100 | 100 |
| Ambulatorio- Santigons | C/Caminas | FC100 | 100 |
| Ambulatorio- Santigons | C/Merçe Redoreda | PE160 | 160 |
| Santigons- Barrio | C/Barreres | FC250 | 250 |
| Ambulatorio- Barrio | C/Avda. Vicente Ros | PVCU75 | 75 |
| Ambulatorio- Exterior de Puçol | C/Avda. Llibertat | PVCU200 | 200 |

Tabla 8: Datos principales de las válvulas de sectorización.

Cabe recordar que la sectorización es una técnica habitual empleada en el control y búsqueda de fugas. Lo que se pretende conseguir con ella es dividir la red en diversas zonas con el objetivo de obtener un balance hídrico de ellas a partir de:

- La instalación de medidores de caudal en todos sus puntos de entrada y salida.
- La medición del consumo en su interior mediante los contadores de abonado instalados al efecto.

- La estimación de los consumos autorizados no facturados.

En definitiva, la sectorización es una opción estratégica que reduce el área de inspección para la detección y localización de anomalías (Tabla 9), como roturas, fugas y deficiencias de presión, y además mediante la implantación de un sistema de control, mejora sustancialmente la gestión de la explotación global de la red, optimizando las presiones en cada sector.

Para llevar a cabo la sectorización se cuenta con ocho contadores sectoriales, aparte de los tres instalados en los puntos de inyección desde el EMSHI (Figura 24). A continuación se puede ver sus características principales (Tabla 10) aparte de la localización de las válvulas de seccionamiento que aíslan a Molí de Vent Nord tanto de la Murta como de Barrio (Figura 25). La situación del resto de válvulas se expone en el Anejo I.

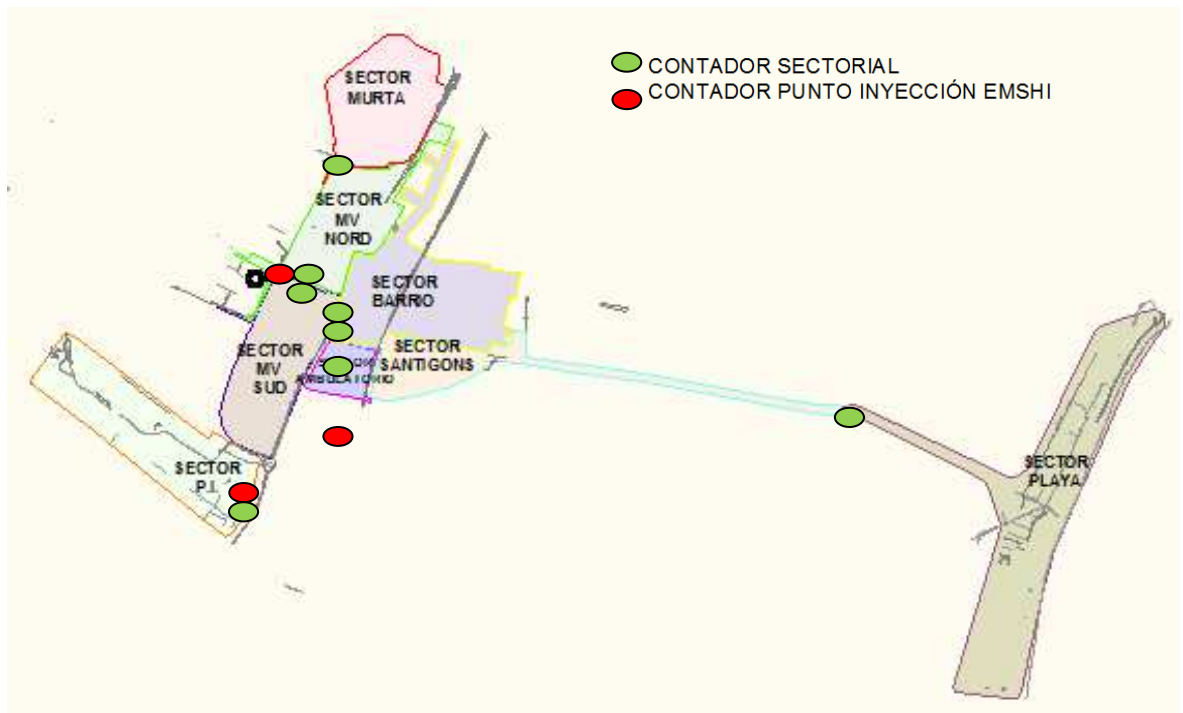


Figura 24: contadores instalados para la red sectorizada

| ID | NOMBRE | Longitud Tuberías (km) | Superficie (Ha) |
|-----------------|---------------|-------------------------------|------------------------|
| Sector 1 | MV Nord | 13,40 | 28,50 |
| Sector 2 | MV Sud | 11,40 | 32,40 |
| Sector 3 | Campo Aníbal | 6,30 | 45,50 |
| Sector 4 | Ambulatorio | 3,60 | 8,00 |
| Sector 5 | Barrio | 20,10 | 44,40 |
| Sector 6 | Santigons | 8,10 | 23,60 |
| Sector 7 | Playa | 13,65 | 36,17 |
| Sector 8 | Murta | 7,40 | 31,20 |

Tabla 9: división de la red con la sectorización.

| SECTOR | CALLE ASOCIADA | DIÁMETRO TUBERÍA SOBRE LA QUE ESTÁ INSTALADO EL CAUDALÍMETRO | DIÁMETRO CONTADOR |
|--------------------------|------------------------------------|---|--------------------------|
| Campo Aníbal | C/ Avda. del Progres | PVC100 | 100 |
| Molí de Vent Sur | Avda. Molí de Vent | FC250 | 150 |
| Molí de Vent Nord | Avda. Molí de Vent | PVCU160 | 150 |
| Barrio | Avda. Mancomunitat de l'Horta Nord | FC300 | 150 |
| Santigons | C/ Caminas | FC250 | 150 |
| Playa | C/ Camí del Mar | FC200 | 150 |
| Ambulatorio | Avda. Llibertat | PE 160 | 150 |
| Murta | C/Ronda | PE160 | 150 |

Tabla 10: diámetro de las tuberías en las que van instalados los caudalímetros y la calle asociada a ellos.

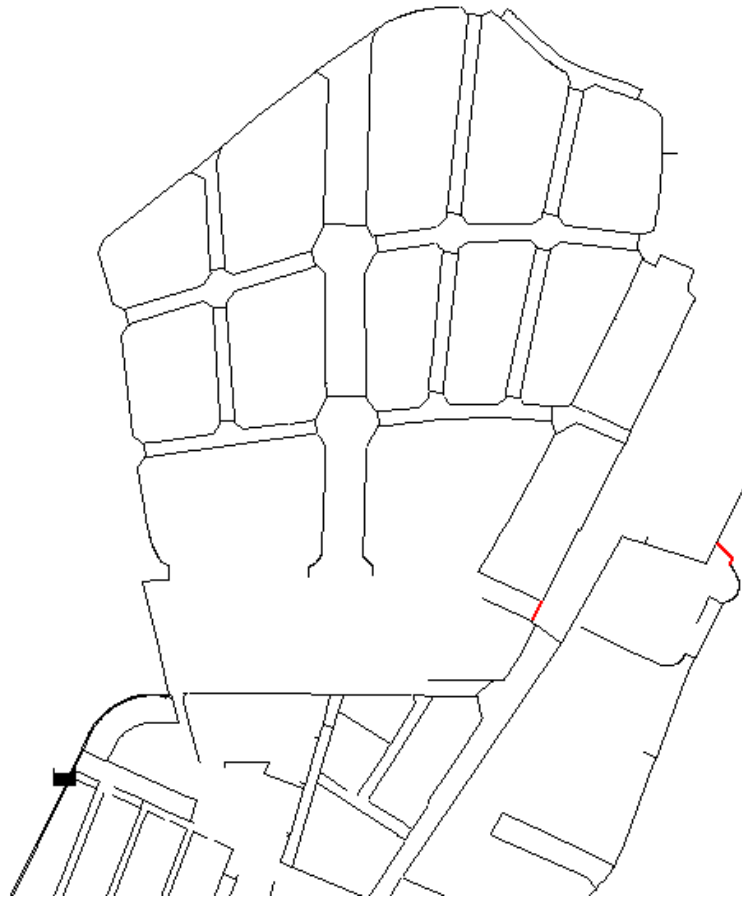


Figura 25: separaciones Murta-Molí de Vent Nord, Barrio-Molí de Vent Nord

2.5.3. DIÁMETROS Y MATERIALES DE LAS TUBERÍAS.

En base a los planos cartográficos de la red de abastecimiento, se ha realizado un análisis de las principales tuberías de abastecimiento al casco urbano.

La red de distribución propiamente dicha está compuesta por tuberías de muy diversos diámetros (Tabla 11). Las tuberías de polietileno son las más numerosas (Tabla 12), sobre todo en las nuevas zonas. Las más antiguas las de fibrocemento. Véase la localización en la red de las diferentes tuberías según el material (ver figuras 26 a 28).

| Diámetro (mm) | Longitud (m) | Diámetro (mm) | Longitud (m) |
|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| 25 | 178 | 125 | 523 |
| 32 | 72 | 140 | 818 |
| 40 | 347 | 150 | 371 |
| 50 | 1.261 | 160 | 11.179 |
| 60 | 680 | 180 | 253 |
| 63 | 1.215 | 200 | 7.942 |
| 75 | 17.786 | 250 | 3.945 |
| 80 | 11.347 | 280 | 415 |
| 90 | 3.602 | 300 | 895 |
| 100 | 7.050 | 350 | 41 |
| 110 | 19.658 | TOTAL | 89.578 |

Tabla 11: distribución de las tuberías por diámetro y longitud en la red actual de Puçol.

| Material | Longitud (m) | Porcentaje |
|----------------------------|---------------------|-------------------|
| Hierro galvanizado | 91 | 0% |
| Sin determinar | 877 | 1% |
| Fundición dúctil | 1.588 | 2% |
| PVC no plastificado | 7.295 | 8% |
| Fibro cemento | 27.209 | 30% |
| Polietileno | 52.516 | 59% |

Tabla 12: porcentaje de tuberías en la red según su material.



Figura 26: tramos de fibrocemento.



Figura 27: tramos de polietileno

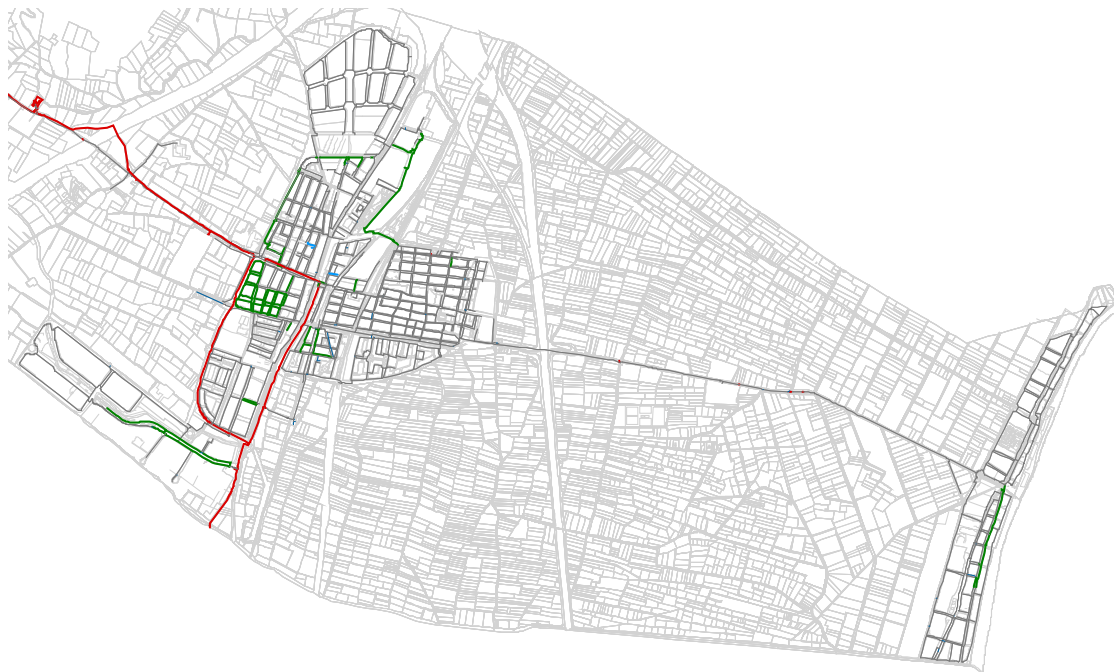


Figura 28: tramos de fundición (EMSHI, en rojo) y PVC (verde).

2.5.4. ELEMENTOS DE LA RED

Se va a indicar el recuento total de cada uno de los elementos (Tabla 13). Su situación dentro de la red de abastecimiento de Puçol se adjunta en el Anexo II, a modo de ejemplo se exponen tanto la distribución de las tuberías que forman la red (figura 29) como la localización de las válvulas dentro de la red (figura 30).

| Elemento | Recuento | Figura |
|-----------------------------|-----------------|---------------|
| Tuberías | 2170 | 29 |
| Válvulas | 1098 | 30 |
| Ventosas | 62 | 31 |
| Desagües | 45 | 32 |
| Válvulas Antiarriete | 11 | 33 |

Tabla 13: enumeración y recuento de los elementos que constituyen la red.



Figura 29: distribución de las tuberías



Figura 30: ubicación de las válvulas en la red

3. INFORMACIÓN DE PARTIDA

La elaboración del modelo exige la necesidad de disponer de una base de datos lo más completa posible de la red. Asimismo, para el ajuste del modelo se necesitará realizar medidas de campo (presiones, caudales, curvas características de las bombas, etc.) a partir de la infraestructura de medición instalada que, posteriormente, puede ser aprovechada para comprobar el funcionamiento del sistema físico real. En el apartado 1.1 se expuso la información de la que se parte.

3.1. CARTOGRAFÍA DIGITALIZADA

3.1.1. PLANOS

En el documento Planos, que se adjunta a esta memoria se recoge una colección de planos con la cartografía actualizada de la red, proporcionados por el Ayuntamiento y por el catastro. A continuación se enumeran y explica su contenido:

- Plano 1: Plano a color de la situación y emplazamiento. En éste se presenta la situación a escala 1:200.000 y el emplazamiento a 1:10.000. Se adjunta en formato DIN-A1.
- Planos 2 al 14: Planos a color de detalle, a escala 1:1500, con los diámetros de las tuberías de cada una de las trece zonas en las que se ha desglosado la red. Se adjuntan en formato DIN-A4.
- Planos 15 al 22: Planos a color de detalle, a escala 1:1.500, con los diámetros de las tuberías y válvulas de sectorización de cada uno de los sectores. Se adjuntan en formato DIN-A4.

Se presenta en esta memoria a modo de ejemplo todos los planos en formato color DIN-A4.

3.1.2. IMPORTACIÓN DE DATOS.

En primer lugar, para representar en modo gráfico todo el detalle de la cartografía de la red se ha hecho uso de AutoCad 2010. El disponer de toda la red digitalizada al detalle sobre un programa de CAD significa una enorme ventaja de cara a mantener la información actualizada y ordenada, al mismo tiempo de poder acceder a ella en cada momento mediante la activación de las diferentes capas de dibujo. La información de cada uno de los elementos de la red es amplia, pero para este Trabajo Fin de Máster se ha limitado al uso de la estrictamente necesaria para la confección del modelo.

Para la transformación de la red, en formato CAD, a formato shape se ha utilizado la aplicación GISRed [5] que es capaz de reconocer el diámetro de las tuberías e incluirlo como un campo más en la base de datos asociada a la información geográfica. GISRed identifica las líneas del fichero de CAD y a su vez añade nudos en los extremos de las mismas, además une aquellos extremos de línea que quedan dentro de un cierto rango de tolerancia, por lo que al final de la importación se obtiene un tema de ArcView con una topología provisional (Figura 31), ya que a dicho tema se le deberán aplicar finalmente las diferentes herramientas de depuración.



Figura 31: captura de la red en formato Shape.

Es necesario realizar ahora un proceso de depuración de la información contenida en la base de datos, ya que entre los trazados o las características hidráulicas de los elementos importados pueden existir errores aparecidos durante la importación o bien del propio CAD. Para ello se cuenta con una serie de herramientas especialmente concebidas, que permiten ir tipificando y localizando cada uno de los errores considerados. Otra de las comprobaciones a llevar a cabo es la referente a la conectividad de la red. Para ello la aplicación dispone de un módulo que es capaz de detectar las desconexiones existentes en una red y determinar las subredes que como consecuencia se derivan.

Hasta este punto se dispone de un modelo de la red hidráulica, pero tras la importación los nudos del modelo todavía no tienen ninguna cota asignada. Se ha automatizado el proceso de asignación de cotas a los nudos del modelo, debido al gran volumen de nudos que configura el modelo de la red. Los planos disponían de información referente a los puntos de cota y a curvas de nivel, y con estos valores ha sido posible generar una superficie de interpolación empleando el método de las distancias inversas implementado en la extensión Spatial Analyst de ArcView. Una vez generada esta superficie de interpolación, es posible asignar un valor de cota en cada uno de los nudos de la red modelizada.

La asignación de los consumos se ha realizado por calles, donde existe información del consumo. Para el casco urbano de la población y el polígono, se dispone de una tabla de consumo medio anual por calle, cuya estructura consta de un identificativo de calle y el anual registrado (figura 32). A partir del callejero creado al efecto, se relaciona aquellos nodos pertenecientes a tuberías con diámetro menor o igual a 100 mm. con el segmento de calle más próximo. Una vez identificados los nudos que se van a cargar y utilizando para ello la herramienta de asignación de consumo de la aplicación empleada, se carga el conjunto de la red.

Una vez construido el modelo de la red de Puçol y una vez determinados los consumos en los nudos, puede exportarse a un formato interpretable por el simulador Epanet 2.0 vE (figura 33),

Memoria.-Modelación matemática de la red de distribución de agua potable de Puçol

| OBJE_ID | CALLE | CONSUMO_T2 | DISTANCE | IDPOINT | IDNODE | IDUSERNODE | IDTYPECOMP | IDCOMP | DSYM | IDSCENTAG | LABEL | X | Y |
|---------|------------------------------|------------|----------|---------|--------|------------|------------|--------|------|-----------|-------|--------------|---------------|
| 1780 | SANT JOAN | 12794.00 | 0.113 | 695 | 695 | J830 | Junc | 826 | 0 | 0 | | 731477.33200 | 4388925.50200 |
| 1780 | SANT JOAN | 12794.00 | 10.118 | 1354 | 1354 | J466 | Junc | 463 | 0 | 0 | | 731991.66800 | 4388823.44100 |
| 1090 | BARRACA | 15964.00 | 5.812 | 517 | 517 | J315 | Junc | 312 | 0 | 0 | | 731101.72600 | 4388765.18600 |
| 12 | FEDERICA MONSENY | 1697.00 | 2.354 | 1678 | 1678 | J998 | Junc | 994 | 0 | 0 | | 731207.40900 | 4388486.57100 |
| 9044 | AV.DEL PROGRES | 522180.00 | 2.105 | 588 | 588 | J1032 | Junc | 1028 | 0 | 0 | | 730726.19300 | 4388016.13400 |
| 1560 | BISBE AMIGO | 4061.00 | 3.220 | 991 | 991 | J444 | Junc | 441 | 0 | 0 | | 731868.11800 | 4389160.56400 |
| 9032 | MESTRE SORIANO | 1452.00 | 3.090 | 1376 | 1376 | J362 | Junc | 359 | 0 | 0 | | 732055.63700 | 4389106.84800 |
| 4290 | ELS PLANS | 1238.00 | 4.280 | 1046 | 1046 | J852 | Junc | 848 | 0 | 0 | | 734544.22500 | 4387069.85300 |
| 9029 | RIU XUQUER | 14462.00 | 4.201 | 1090 | 1090 | J1675 | Junc | 1669 | 0 | 0 | | 734698.43100 | 4387678.79100 |
| 1650 | POBLA FARNALS | 6484.00 | 8.392 | 385 | 385 | J204 | Junc | 201 | 0 | 0 | | 730970.94000 | 4389313.43000 |
| 4 | CARRETERA TRAVESERA | 2220.00 | 3.019 | 1802 | 1802 | J194 | Junc | 191 | 0 | 0 | | 732168.48500 | 4388574.69600 |
| 2210 | MIGUEL HERNANDEZ | 5428.00 | 3.228 | 1400 | 1400 | J37 | Junc | 37 | 0 | 0 | | 730874.20200 | 4389181.92500 |
| 2200 | LA PAU | 3136.00 | 4.039 | 685 | 685 | J325 | Junc | 322 | 0 | 0 | | 730960.34300 | 4389146.10000 |
| 17 | RUPERTO CHAPI | 400.00 | 2.157 | 1317 | 1317 | J1589 | Junc | 1583 | 0 | 0 | | 730634.17300 | 4388547.06400 |
| 2280 | CAMI DEL MAR | 12035.00 | 2.890 | 1315 | 1315 | J1588 | Junc | 1582 | 0 | 0 | | 732084.37900 | 4388671.20200 |
| 1920 | VERGE AL PEU DE LA CREU | 8063.00 | 2.896 | 361 | 361 | J812 | Junc | 808 | 0 | 0 | | 731755.04900 | 4389098.42500 |
| 1160 | BARCELONA | 35928.00 | 20.550 | 1626 | 1626 | J172 | Junc | 169 | 0 | 0 | | 731537.27900 | 4389719.48900 |
| 4010 | AV. LA MARINA | 11000.00 | 4.617 | 1054 | 1054 | J1777 | Junc | 1770 | 0 | 0 | | 734927.28900 | 4388030.75100 |
| 4120 | AV. GRAU VELL | 7110.00 | 9.089 | 226 | 226 | J1620 | Junc | 1614 | 0 | 0 | | 734966.76400 | 4388244.82500 |
| 91 | CODONYERS | 5864.00 | 7.569 | 1288 | 1288 | J153 | Junc | 150 | 0 | 0 | | 731292.67600 | 4390094.09400 |
| 1750 | SANT ANTONI | 9784.00 | 1.476 | 516 | 516 | J1236 | Junc | 1230 | 0 | 0 | | 731810.58800 | 4388688.86400 |
| 1770 | SANT JOSEP | 838.00 | 1.207 | 532 | 532 | J1744 | Junc | 1738 | 0 | 0 | | 731675.19200 | 4388780.94900 |
| 1970 | LA PLANA | 4880.00 | 4.428 | 289 | 289 | J503 | Junc | 500 | 0 | 0 | | 731981.59600 | 4389017.85300 |
| 4090 | PZA.ROSA DELS VENTS | 16.00 | 1.216 | 291 | 291 | J1425 | Junc | 1419 | 0 | 0 | | 734821.29700 | 4387916.73500 |
| 1855 | ALACANTI | 1432.00 | 7.856 | 1567 | 1567 | J377 | Junc | 374 | 0 | 0 | | 731083.61100 | 4389601.45400 |
| 9029 | RIU XUQUER | 14462.00 | 4.354 | 1293 | 1293 | J1077 | Junc | 1071 | 0 | 0 | | 734558.90000 | 4387204.93300 |
| 9021 | AV. DE LES CORTS VALENCIANES | 8531.00 | 0.374 | 1448 | 1448 | J773 | Junc | 769 | 0 | 0 | | 730574.53000 | 4388247.71400 |
| 1170 | CASTELLO | 3027.00 | 3.860 | 1565 | 1565 | J40 | Junc | 40 | 0 | 0 | | 731668.66300 | 4389100.47100 |
| 1460 | MARIANO AMIGO | 5621.00 | 4.215 | 1161 | 1161 | J1371 | Junc | 1365 | 0 | 0 | | 731743.63300 | 4388993.20300 |

Figura 32: callejero de Puçol, número de identificación y consumo anual de cada una de las calles en $m^3/año$.

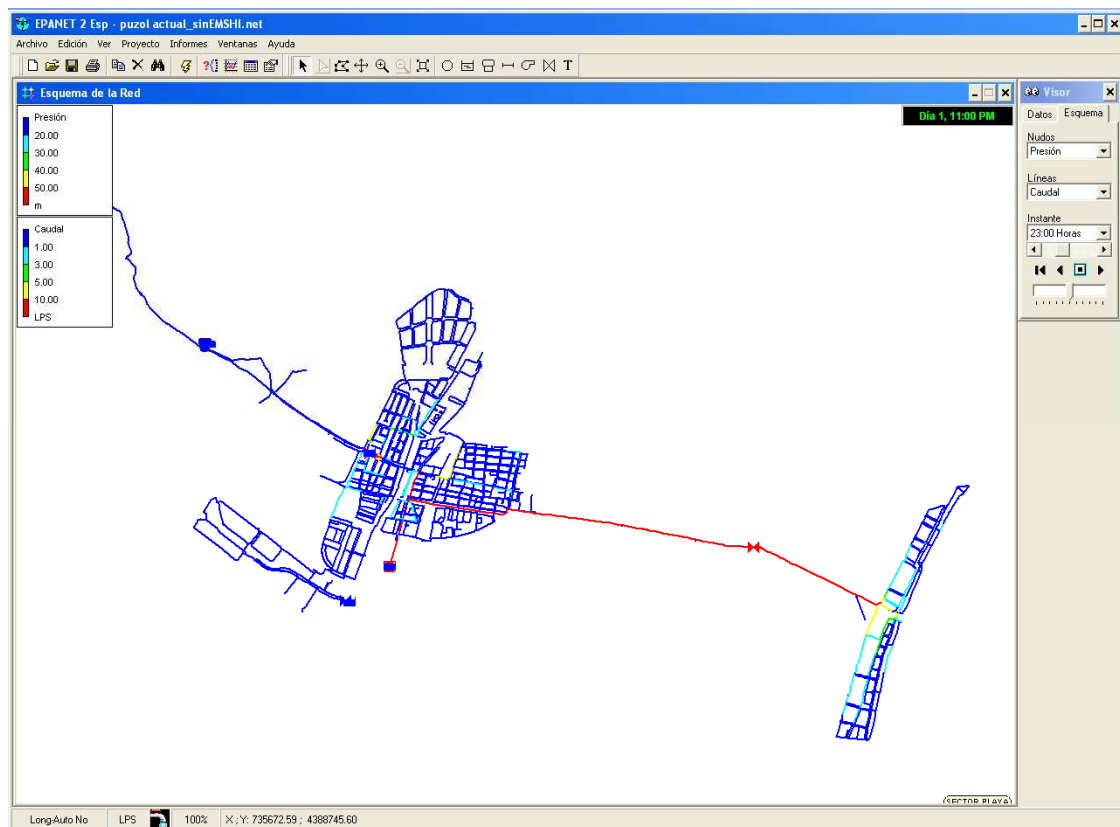


Figura 33: red de agua potable de Puçol

3.2. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN. PROBLEMÁTICA ACONTECIDA

Una vez importada la red a Epanet 2.0 vE se prosiguió con el modelo matemático pero hubo ciertos impedimentos para el desarrollo del modelo. Algunos de los problemas ocurridos tuvieron lugar en las siguientes situaciones:

- Obtención de las curvas de modulación de consumo de los diferentes consumidores tipo.
- Ajuste los caudales simulados a los reales.
- La esqueletización de la red que ha sido proporcionada no coincide con el esquema de la red de potables del municipio de Puçol.

Se supone que todos ellos debido a errores en los datos proporcionados por Aguas de Valencia S.A. y al desconocimiento de cómo asigna GISRed los consumos a los nudos. Los problemas acontecidos se explican a continuación, a la par de exponer las soluciones adoptadas para resolver cada uno de ellos.

3.2.1. OBTENCIÓN DE LAS CURVAS DE MODULACIÓN

3.2.1.1. ELECCIÓN DEL DÍA DE MAYOR CONSUMO PARA UN CONSUMIDOR TIPO

Se ha decidido simular tanto un día de consumo promedio como el comportamiento de la red en el día de mayor consumo para tres tipos de consumidor: el doméstico, el industrial y vacacional/ de playa.

A partir de los datos horarios de caudal inyectado se obtiene un promedio mensual para cada uno de los sectores. Para el estudio del comportamiento de la red un día promedio sí que intervendrán todos los sectores pero no se pueden englobar a todos ellos en el estudio del comportamiento de un consumidor tipo, se distribuirán de la siguiente manera:

- Doméstico: Molí de Vent Nord, Molí de Vent Sud, Barrio y Santigons.
- Vacacional: Playa.
- Industrial: Barrio y Campo Aníbal.

Dependiendo del escenario que se quiera representar se va a elegir como día de mayor consumo aquel que pertenezca al sector con mayor caudal mensual promedio de entre todos los sectores que intervengan, a pesar de ciertas incongruencias encontradas en los datos proporcionados por Aguas de Valencia S.A. A continuación se presenta a modo de ejemplo el caso del sector Barrio (tabla 14 y gráfico 5), para el resto de los sectores véase Anejo III.

| Mes | Caudal promedio (l/s) |
|------------|-----------------------|
| Enero | 3,22 |
| Febrero | 2,80 |
| Marzo | 3,16 |
| Abril | 3,05 |
| Mayo | 3,20 |
| Junio | 3,19 |
| Julio | 3,20 |
| Agosto | 3,05 |
| Septiembre | 3,34 |
| Octubre | 3,42 |
| Noviembre | 3,19 |
| Diciembre | 3,53 |

Tabla 14: caudales promedio mensuales de Barrio

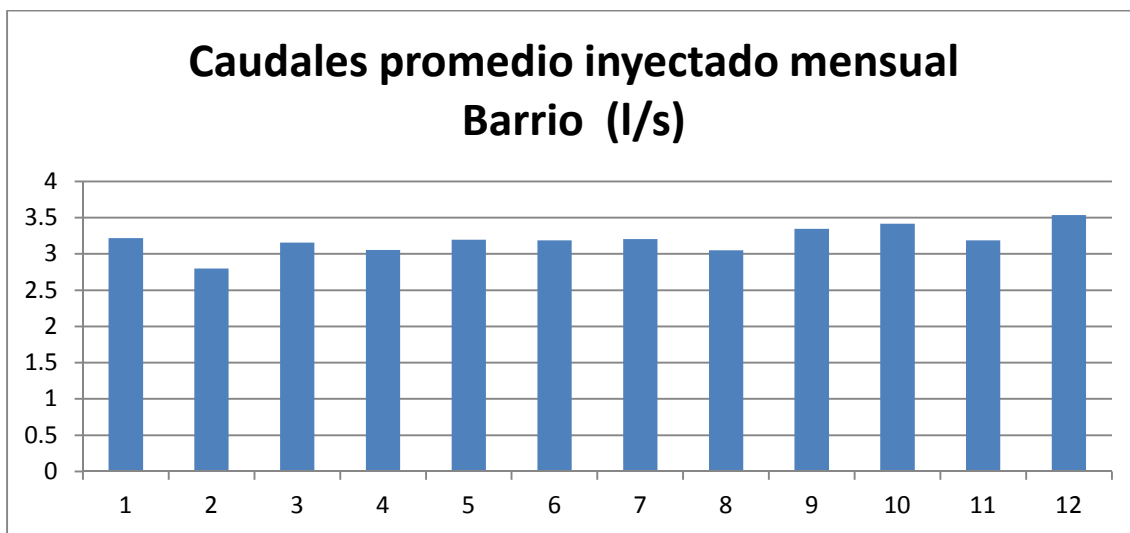


Gráfico 5: representación de los caudales promedio Barrio

A modo de ejemplo se presenta a continuación el procedimiento adoptado para hallar el día de máximo consumo para el consumidor doméstico. Para ver el resultado obtenido con el resto de tipos de consumidor véase el Anejo IV.

En un principio se tomaría diciembre como mes de referencia (tabla 15) pero al carecer de datos comparativos con Molí de Vent Nord y Sud, se desechará. Como segunda opción se elegiría mayo pero se da el mismo problema que antes con Santigons. Se va a considerar como sector referente Molí de Vent Sud, por lo que el mes de mayor consumo del consumidor doméstico será agosto. De los caudales promedios diarios inyectados ese mes se obtuvo que el máximo tuvo lugar el día 13 de agosto, por lo que se simulará la situación de ese día para todos los sectores del municipio.

| Sectores | Caudal mensual promedio (l/s) | Mes máximo |
|-------------------|-------------------------------|------------|
| Santigons | 2,60 | Diciembre |
| Barrio | 3,53 | Diciembre |
| Molí de Vent Nord | 2,29 | Mayo |
| Molí de Vent Sud | 1,84 | Agosto |

Tabla 85: caudal mensual promedio máximo de los sectores que intervienen en el estudio del consumo doméstico

3.2.1.2. OBTENCIÓN DE LA CURVA DE MODULACIÓN

Con todos los sectores se ha obtenido la curva de modulación para los cuatro escenarios enunciados en el punto 3.2.1.1.

Se va a proceder de diferente manera en la obtención de los coeficientes dependiendo de si hace referencia a un día promedio o a un consumidor tipo. En el primer caso se calculará el promedio anual de cada uno de los caudales inyectados cada hora, se dividirá cada uno de ellos por el promedio de los caudales inyectados promedio diario. En el segundo caso se tendrá en cuenta el día máximo del escenario a representar y se dividirá para cada hora el caudal inyectado con el promedio de ese día.

Se ha dado la situación en el caso de análisis de consumidores tipo el haber sectores con ausencia o incoherencia de datos para el día a analizar. En ese caso se procedió a asumir como curva de modulación para esa situación la obtenida con el análisis de un día promedio. A continuación se presenta a modo ejemplo la curva de

modulación obtenida inicialmente para el sector de Barrio un día promedio (figura 34). Para el resto de sectores y escenarios véase en el Anejo V los resultados obtenidos.

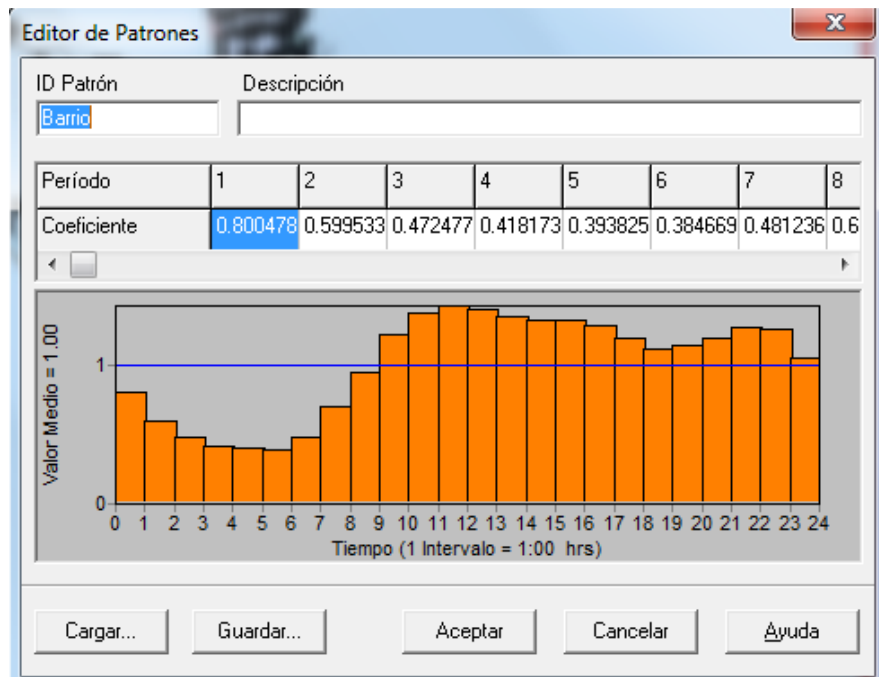


Figura 34: curva de modulación inicial para un día promedio de Barrio

3.2.2. EL SECTOR DE LA MURTA.

La Murta es un subsector de Molí de Vent Nord. Su red es básicamente un riego nocturno. Los caudales inyectados para el consumo humano son prácticamente nulos a lo largo del día y tan solo son algo representativos a ciertas horas de la madrugada, lo que le hace tener una curva de modulación poco usual en el caso de un día de consumo promedio (figura 35), para ver el resultado del resto de escenarios propuestos véase Anejo VI.

Ajustar los caudales de inyección a la entrada de Molí de Vent Nord se hace una ardua tarea y no se obtiene un resultado bueno debido a la presencia de la Murta, por ello, ante las dudas establecidas se decide incluir su demanda en éste. Para ello, se dejará a la Murta a un lado haciendo que todos sus consumos por calle pasen a formar parte de Molí de Vent Nord.

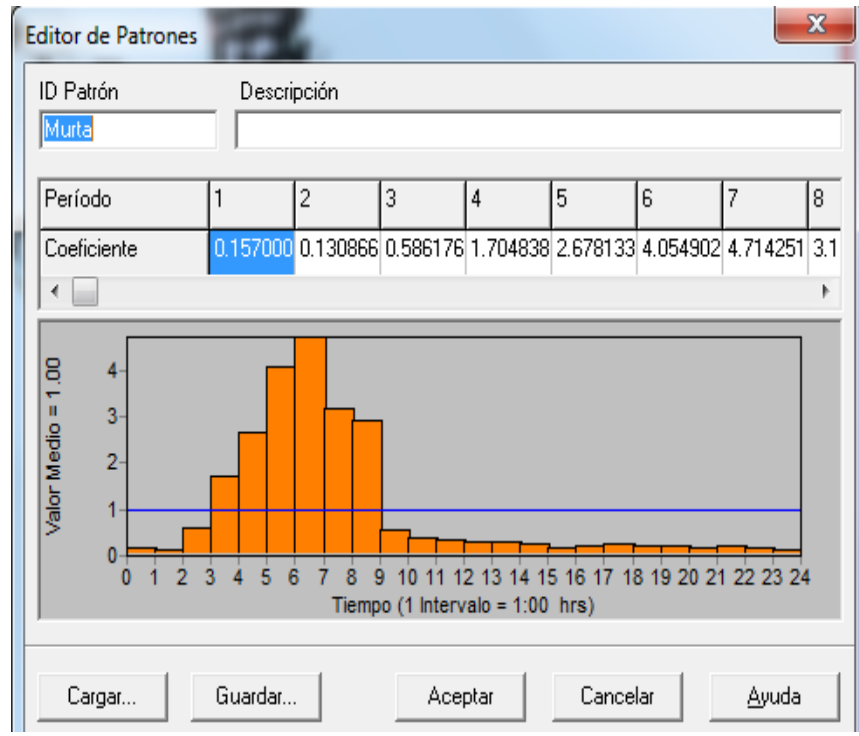


Figura 35: curva de modulación de la Murta para un día promedio

3.2.3. EL SECTOR DE CAMPO ANÍBAL.

A la hora de mirar los datos suministrados por Aguas de Valencia acerca de los caudales inyectados en el sector Campo Aníbal se han visto discrepancias entre el volumen inyectado en el mismo a partir del mes de mayo (gráfico 6).

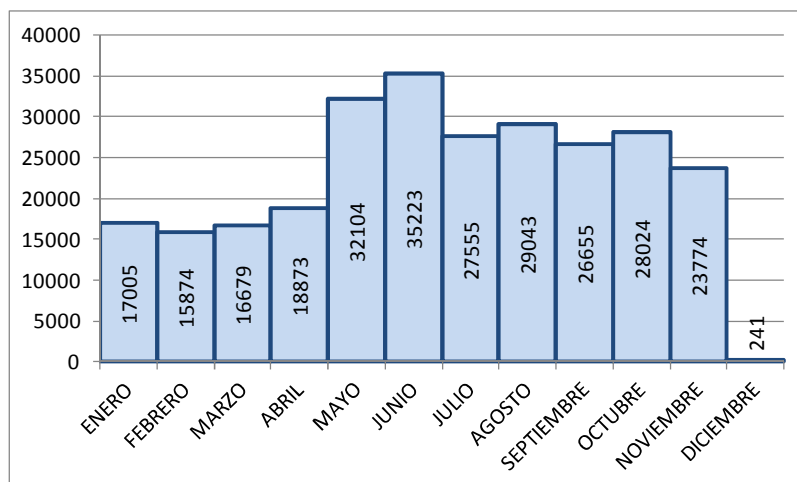


Gráfico 6: volúmenes inyectados mensualmente en el sector Campo Aníbal.

Se observa una diferencia entre los primeros meses del año (enero a abril) y los últimos (mayo a noviembre). Esto se puede comprobar haciendo un gráfico de volúmenes acumulados y comprobando el cambio de tendencia (Gráfico 7). Otra manera de apreciar ese fuerte contraste que surge a partir del mes de mayo es con el caudal medio inyectado (Tabla 16).

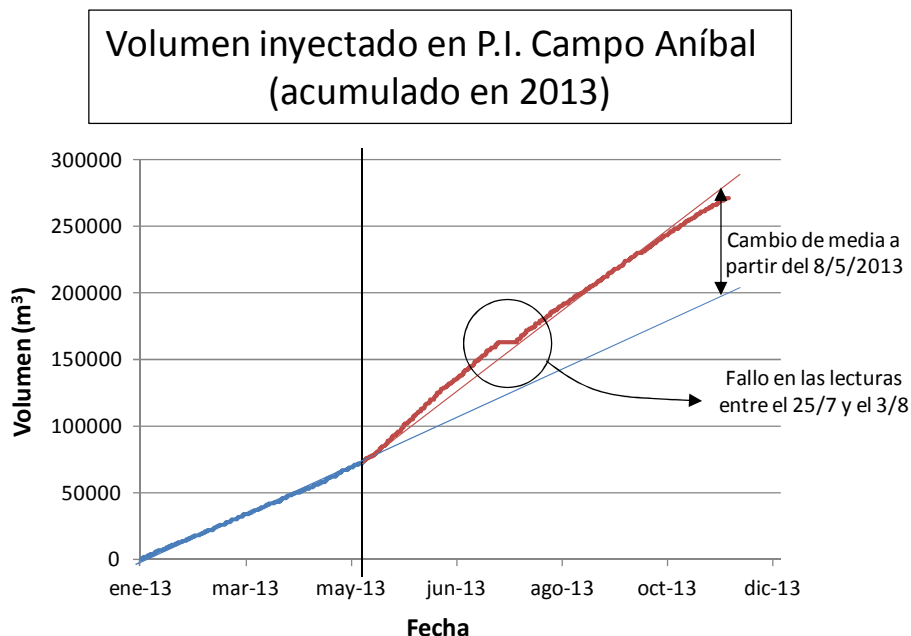


Gráfico 7: cambio de tendencia en los volúmenes acumulados inyectados en Campo Aníbal.

| Meses | Caudal medio inyectado (m ³ /h) |
|-----------------------|--|
| Enero- Abril | 23,76 |
| Mayo-Noviembre | 39,27 |
| Promedio anual | 33,71 |

Tabla 16: fuerte contraste entre caudal medio inyectado a partir de mayo.

Para el modelo realizado en Epanet 2.0 vE., el caudal asignado a los nudos como caudal facturado para este sector es de 52,44 m³/h. Esto implicaría no sólo que no existe agua no registrada, sino que se consume más agua de la inyectada, lo cual no es lógico. Las preguntas que surgieron fueron:

- ¿Sucedio algo entre abril y mayo de 2013 que justifique el cambio de tendencia?
- Si el motivo es un cambio en la alimentación del sector Campo Aníbal, ¿estos cambios han sido reflejados en el modelo?
- ¿Los valores de caudales tanto inyectado como consumido coinciden con los registros que obran en poder de la empresa suministradora?
- Si entre enero y abril de 2013 Campo Aníbal se suministraba parcialmente desde el pozo de La Barraca, ¿este caudal entraba por la misma conducción que las aguas procedentes de EMSHI o la hacía por una conducción independiente? El argumento es que para uso industrial el agua no tiene porque ser potable.

El consumo en el Polígono era abastecido desde el pozo de La Barraca, salvo el destinado a consumo humano (figura 36). Esto hace inviable mezclar aguas de distinta procedencia, por lo que debería existir una tubería diferente (figura 37). La entrada a Campo Aníbal se hace, según el modelo, a través de una tubería de PE110 (para 10 atm 90 mm de diámetro interior) lo que daría una velocidad media de 2,3 m/s (un poco alta). Por otra parte, hay tuberías de fundición de 300 mm justo al lado de la anterior y con un caudalímetro según los planos de AutoCAD (figura 38). Esas tuberías pertenecen a la red de riego y se supone que por ahí se entregaba agua procedente de la Barraca pero no ha sido confirmado por la empresa. Eso explicaría las discrepancias encontradas. Los datos de volumen simulado por Epanet 2.0 vE a la entrada de Campo Aníbal son mayores que los inyectados, algo que es totalmente ilógico.

Por todo lo expuesto anteriormente se va a proceder de la siguiente manera con dicho sector:

- No se sabe cómo distribuye los consumos GISRed a cada uno de los nudos de la red. Por ello, se optó por asignarle a cada uno de ellos, como demanda base, el consumo total registrado en el 2013 del sector al que pertenezca dividido por el número de nudos que haya dentro de él.
- Debido a la falta de coherencia en los datos de caudal inyectado en el análisis del día de mayor consumo para diferentes tipos de consumidor tipo, se va a considerar en todos los escenarios la curva de modulación

para un día de consumo promedio en dicho sector ya que es la única que ofrece resultados coherentes a la hora de ajustar caudales.

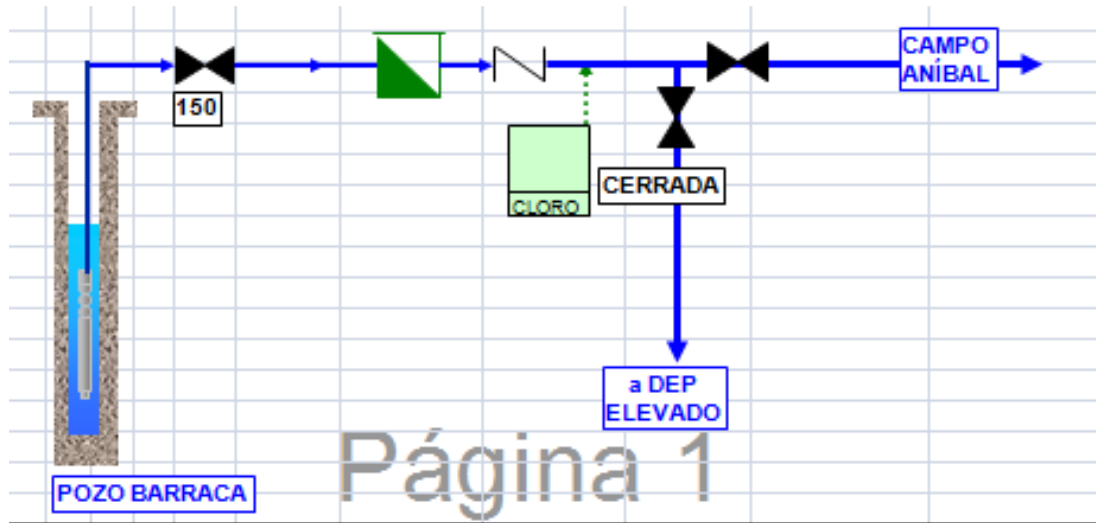


Figura 36: Esquema de la alimentación de Campo Aníbal desde el pozo de la Barraca

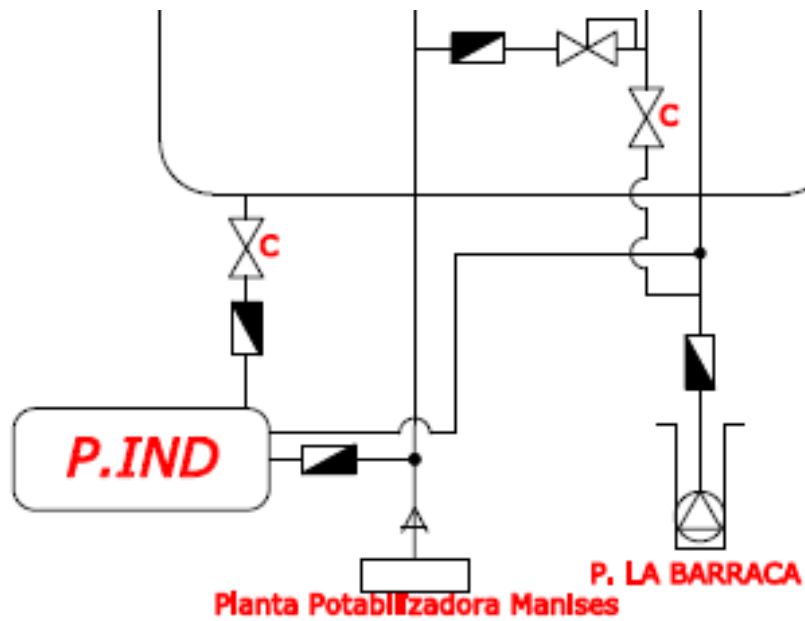


Figura 37: Esquema de la alimentación de Campo Aníbal.

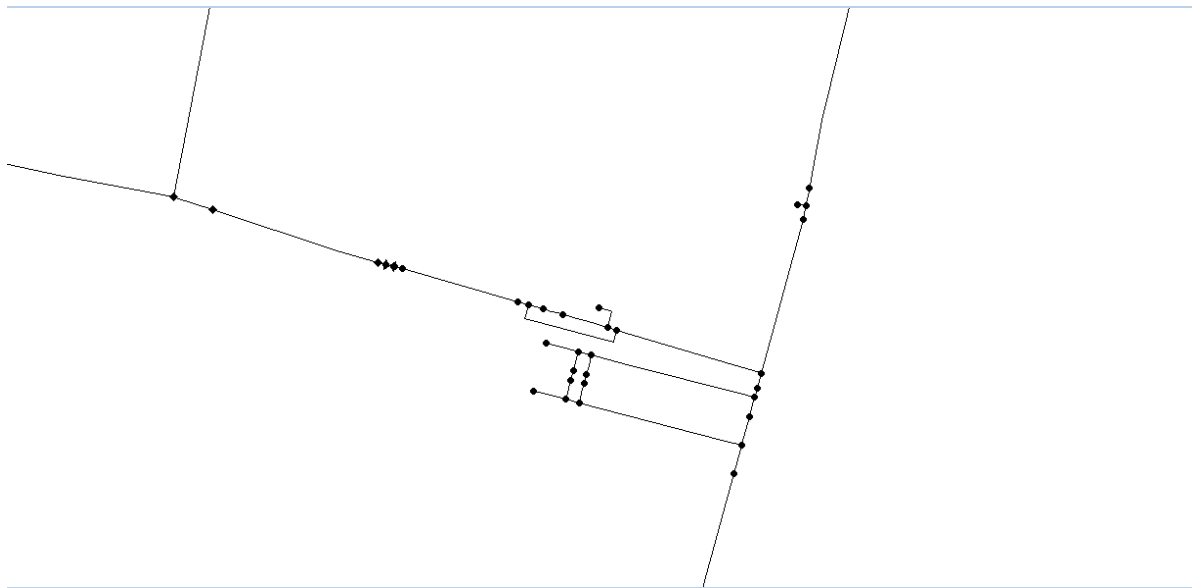


Figura 38: tuberías a la entrada de Campo Aníbal.

3.2.4. FALTA DE COHERENCIA EN LA RELACIÓN CAUDAL INYECTADO Y CONSUMIDO

Un dato importante a hallar es el rendimiento hidráulico, tanto de la red en global como de cada uno de los sectores para cada uno de los cuatro escenarios planteados. Se da la situación ilógica de que en algunos casos, cuando se analizan los consumidores tipo, éste supera el 100%, véanse tablas 17 y 18. Entonces se le asignará a ese sector problemático los datos de caudal inyectado y facturado que le corresponderían en un día promedio para así poder trabajar con información coherente (Tabla 19). Véanse las tablas 20 y 21 para ver los resultados obtenidos.

| Sector | Demanda base (l/s) | Caudal inyectado (l/s) | Rendimiento (%) |
|--------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Red global | 47,77 | 58,34 | 81,88 |
| Molí de Vent Nord | 7,78 | 6,10 | 127,53 |
| Molí de Vent Sud | 4,02 | 7,64 | 52,63 |
| Campo Aníbal | 7,44 | 9,64 | 77,22 |
| Santigons | 10,91 | 12,23 | 89,19 |
| Barrio | 10,19 | 10,50 | 97,01 |
| Playa | 7,43 | 12,23 | 60,71 |

Tabla 17: análisis de rendimientos hidráulicos el día de máximo consumo doméstico

| Sector | Demanda base (l/s) | Caudal inyectado (l/s) | Rendimiento (%) |
|--------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Red global | 48,18 | 61,27 | 79,52 |
| Molí de Vent Nord | 7,25 | 6,25 | 115,99 |
| Molí de Vent Sud | 4,02 | 5,89 | 68,17 |
| Campo Aníbal | 7,44 | 9,64 | 77,22 |
| Santigons | 10,91 | 15,61 | 69,88 |
| Barrio | 10,19 | 10,54 | 96,67 |
| Playa | 7,43 | 13,33 | 55,71 |

Tabla 18: análisis de rendimientos hidráulicos el día de máximo consumo vacacional

| Sector | Demanda base (l/s) | Caudal inyectado (l/s) | Rendimiento (%) |
|--------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Red global | 36,87 | 42,99 | 86,00 |
| Molí de Vent Nord | 7,25 | 8,07 | 89,77 |
| Molí de Vent Sud | 3,84 | 5,47 | 70,00 |
| Campo Aníbal | 7,44 | 9,64 | 77,22 |
| Santigons | 7,56 | 8,46 | 89,00 |
| Barrio | 10,15 | 11,35 | 89,00 |
| Playa | 3,79 | 6,21 | 61,00 |

Tabla 19: caudales registrado e inyectado un día de consumo promedio

| Sector | Demanda base (l/s) | Caudal inyectado (l/s) | Rendimiento (%) |
|--------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Red global | 47,24 | 60,32 | 78,31 |
| Molí de Vent Nord | 7,25 | 8,07 | 89,77 |
| Molí de Vent Sud | 4,02 | 7,64 | 52,63 |
| Campo Aníbal | 7,44 | 9,64 | 77,22 |
| Santigons | 10,91 | 12,23 | 89,19 |
| Barrio | 10,19 | 10,54 | 97,01 |
| Playa | 7,43 | 12,23 | 60,71 |

Tabla 20: caudales registrado e inyectado el día de mayor consumo doméstico

| Sector | Demanda base (l/s) | Caudal inyectado (l/s) | Rendimiento (%) |
|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Red global | 47,24 | 62,94 | 75,06 |
| Molí de Vent Nord | 7,25 | 8,07 | 89,77 |
| Molí de Vent Sud | 4,02 | 5,89 | 68,17 |
| Campo Aníbal | 7,44 | 9,64 | 77,22 |
| Santigons | 10,91 | 15,61 | 69,88 |
| Barrio | 10,19 | 10,54 | 96,67 |
| Playa | 7,43 | 13,33 | 55,71 |

Tabla 21: caudales registrado e inyectado el día de máximo consumo vacacional

4. ANÁLISIS HÍDRICO

En este apartado se va a efectuar el análisis hídrico de las instalaciones objeto de este estudio durante el periodo correspondiente al año 2013. Dichos caudales medios sirven para analizar las necesidades de producción y los caudales punta para diseñar las instalaciones.

Realizar el balance hídrico de un abastecimiento supone un primer paso para efectuar un diagnóstico del mismo. Esto supone conocer las entradas de agua al sistema, así como su destino definitivo. Obteniendo así la demanda bruta y demanda neta, en términos más propios en los recursos hídricos.

Los aportes de agua a la red deben ser determinados a partir de los contadores instalados en los puntos de inyección a la red, mientras que los volúmenes extraídos son hallados a partir de la lectura de los contadores de los abonados.

En la tabla basada en el balance hídrico-económico que presenta la IWA (International Water Association) (Tabla 22). Los distintos tipos de volumen de agua que aparecen en la tabla anterior, se definen a continuación:

- Volumen de entrada: Corresponde al volumen total de agua registrado y no registrado. Es el volumen de agua aportado al sistema.
- Volumen registrado: volumen de agua medido por los contadores de los abonados del sistema.
- Volumen no registrado: volumen de agua no registrado o contabilizado por ningún medidor. Este volumen puede ser facturado o no.
- Volumen controlado: Volumen total de agua medido y/o no medido utilizado tanto por el suministrador de agua como por otros que estén implícita o explícitamente autorizados a hacerlo (riegos, limpieza calles, etc).
- Volumen no controlado: Corresponde a la diferencia entre el volumen de entrada al sistema y el consumo autorizado.
- Volumen autorizado: Volumen total de agua medido y/o no medido utilizado tanto por clientes registrados como por el suministrador de agua y otros que estén implícita o explícitamente autorizados a hacerlo, con propósito residencial, comercial e industrial. Incluye el agua exportada.

- Tomas ilegales: Cantidad total de agua no contabilizada debido al consumo no autorizado
- Errores de medición: Cantidad total de agua no contabilizada debido a imprecisiones en la medición.
- Fugas externas: Cantidad total de pérdidas físicas de agua en el sistema presurizado, hasta el punto de medida del cliente.
- Volumen consumido: Volumen de agua consumido por los usuarios incluye las pérdidas aparentes.

| | | | | | | |
|--------------------------------------|--|--|--|-------------------|------------------------------|--|
| Volumen de Entrada al sistema | Volumen registrado <i>(medido en contadores)</i> <i>(FACTURADO O NO)</i> | | Volumen Autorizado | Volumen Consumido | | |
| | Volumen NO registrado <i>(FACTURADO O NO)</i> | Volumen controlado <i>(riegos, limpieza,..)</i> | | | | |
| | | Volumen NO controlado <i>(PÉRDIDAS)</i> | Tomas ilegales <i>(pérd. aparentes)</i> | | | |
| | | | Errores Medición <i>(pérd. aparentes)</i> | | | |
| | | | Fugas externas <i>(Pérdidas reales)</i> | | Fugas Agua Bruta/Tratamiento | |
| | | | | | Fugas por Transporte | |
| | | Fugas en Depósitos | | | | |
| | | Fugas en la Red Distribución | | | | |
| | | Fugas en Acometidas | | | | |

Tabla 22: clasificación de los caudales dentro de una red de abastecimiento [6].

El volumen de agua registrado se obtiene a partir de la información proporcionada por la facturación. No obstante, hay que tener presente que el volumen de agua facturada puede diferir del volumen de agua consumida debido, por ejemplo, a los siguientes factores:

- Abonados públicos o privados que carecen de contador.
- Posibles tomas ilegales.
- Subregistros de contadores.
- Contadores parados o mal instalados.

El volumen de agua registrado durante el pasado año 2013, sumando el consumo mensual y trimestral por calle cedido por Aguas de Valencia en el abastecimiento de Puçol, asciende a 1.168.803 m³.

De todos los indicadores de gestión que caracterizan un abastecimiento de agua potable, el rendimiento volumétrico es el que proporciona una primera idea de la eficiencia en el funcionamiento del mismo y de la bondad de la gestión técnica. Se obtiene a partir de la relación entre el volumen total de agua registrado por los contadores de los abonados (autorizado) y el volumen total aportado o inyectado al sistema desde los puntos de producción para el mismo período de referencia.

Se expone el balance hídrico tanto a nivel global de red como sectorial para los cuatro escenarios analizados (véanse tablas 23 a 26). Los resultados de rendimiento se consideran bastante elevados por lo general para ser ciertos, salvo en el sector de playa que hasta incluso son bajos. Lo anterior se puede achacar a las suposiciones hechas debido a la ausencia en varios casos de datos coherentes. Es difícil tener rendimientos tan elevados en una red, tanta eficiencia hidráulica quizá supondría una baja eficiencia económica de la gestión. También decir que el caudal no facturado se ha considerado fugado ya que no se dispone de más datos que nos pudieran decir dónde están esas pérdidas.

| Sector | Demanda base (l/s) | Caudal inyectado (l/s) | Rend. (%) | Número de nudos | Demanda base de un nudo (l/s) |
|--------------------------|--------------------|------------------------|-----------|-----------------|-------------------------------|
| Red global | 36,87 | 42,99 | 86,00 | 1662 | |
| Molí de Vent Nord | 7,25 | 8,08 | 89,77 | 304 | 0,0238 |
| Molí de Vent Sud | 3,84 | 5,47 | 70,00 | 239 | 0,0161 |
| Campo Aníbal | 7,44 | 9,64 | 77,22 | 69 | 0,108 |
| Santigons | 7,56 | 8,46 | 89,00 | 248 | 0,0305 |
| Barrio | 10,15 | 11,35 | 89,00 | 447 | 0,0227 |
| Playa | 3,79 | 6,21 | 61,00 | 236 | 0,0161 |

Tabla 23: demanda base de los nudos de cada sector y rendimiento hidráulico de los mismos un día promedio

| Sector | Demanda base (l/s) | Caudal inyectado (l/s) | Rendimiento (%) | Número de nudos | Demanda base de un nudo (l/s) |
|--------------------------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| Red global | 47,24 | 60,32 | 78,31 | 1662 | |
| Molí de Vent Nord | 7,25 | 8,07 | 89,77 | 304 | 0,0247 |
| Molí de Vent Sud | 4,02 | 7,64 | 52,63 | 239 | 0,0168 |
| Campo Aníbal | 7,44 | 9,64 | 77,22 | 69 | 0,108 |
| Santigons | 10,91 | 12,23 | 89,19 | 248 | 0,0439 |
| Barrio | 10,19 | 10,50 | 97,01 | 447 | 0,0228 |
| Playa | 7,43 | 12,23 | 60,71 | 236 | 0,0315 |

Tabla 24: demanda base de los nudos de cada sector y rendimiento hidráulico de los mismos el día de mayor consumo doméstico

| Sector | Demanda base (l/s) | Caudal inyectado (l/s) | Rendimiento (%) | Número de nudos | Demanda base de un nudo (l/s) |
|--------------------------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| Red global | 39,73 | 48,69 | 81,60 | 1662 | |
| Molí de Vent Nord | 7,25 | 8,07 | 89,77 | 304 | 0,0238 |
| Molí de Vent Sud | 3,84 | 5,47 | 70,11 | 239 | 0,0161 |
| Campo Aníbal | 7,44 | 9,64 | 77,22 | 69 | 0,108 |
| Santigons | 7,56 | 8,46 | 89,37 | 248 | 0,0305 |
| Barrio | 10,60 | 11,11 | 95,43 | 447 | 0,0237 |
| Playa | 3,04 | 5,93 | 51,22 | 236 | 0,0129 |

Tabla 25: demanda base de los nudos de cada sector y rendimiento hidráulico de los mismos el día de mayor consumo industrial

| Sector | Demanda base (l/s) | Caudal inyectado (l/s) | Rendimiento (%) | Número de nudos | Demanda base de un nudo (l/s) |
|--------------------------|--------------------|------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| Red global | 47,24 | 62,94 | 75,06 | 1662 | |
| Molí de Vent Nord | 7,25 | 8,07 | 89,77 | 304 | 0,0238 |
| Molí de Vent Sud | 4,02 | 5,89 | 68,17 | 239 | 0,0168 |
| Campo Aníbal | 7,44 | 9,64 | 77,22 | 69 | 0,108 |
| Santigons | 10,91 | 15,61 | 69,88 | 248 | 0,0439 |
| Barrio | 10,19 | 10,54 | 96,67 | 447 | 0,0228 |
| Playa | 7,43 | 13,33 | 55,71 | 236 | 0,0315 |

Tabla 26: demanda base de los nudos de cada sector y rendimiento hidráulico de los mismos el día de mayor consumo vacacional

5. ELABORACIÓN DEL MODELO Y AJUSTE DE CAUDALES A LA ENTRADA DE LOS SECTORES

5.1. ELABORACIÓN DEL MODELO

Una de las funcionalidades más importantes de un modelo es la ayuda que proporciona en el conocimiento de una red de abastecimiento. Pueden determinarse las causas que están provocando averías o deficiencias del servicio, como presiones demasiado elevadas o viceversa. Está claro que no todos los posibles fallos de una red pueden subsanarse. En ocasiones deben admitirse fallos que puedan llevar al funcionamiento del sistema a un estado crítico. [7]

Desde el punto de vista de calidad del servicio, importa básicamente satisfacer los caudales demandados con las presiones adecuadas de servicio. Con un modelo se pueden analizar los sectores críticos de la red, las válvulas de regulación que les afecta, y en base al cumplimiento de este objetivo proponer el establecimiento de una regulación óptima. Las presiones y velocidades de circulación en todos los elementos deberían estar dentro de los rangos óptimos de operación de cada uno. Los saltos de presión en los elementos de regulación deberían ser suaves, estables y no muy elevados. Tales condiciones son obviamente utópicas. Sin embargo, conocidas las condiciones ideales de funcionamiento, es posible analizar con el modelo las desviaciones que presenta el modo actual de funcionamiento de la red, y cómo el sistema de regulación puede ayudar a mitigar dichas desviaciones.

Un modelo matemático puede ayudar también a la hora de proponer planes de renovación de la red, ya que en la fase de calibración pueden detectarse tuberías con elevada pérdida de carga, lo cual puede tener su origen en una elevada rugosidad por la antigüedad de la tubería.

Una vez elaborado dicho modelo, el objetivo sería el de calibrar el caudal no registrado (la diferencia entre el caudal inyectado y el simulado por Epanet 2.0 vE en un instante dado) de manera que estos dos prácticamente coincidan. Un ajuste de los caudales inyectados a la entrada de los sectores y de las presiones de algunos puntos estratégicos de la red es en lo que consistiría un proceso de calibración inicial de la red.

Dado que, tal y como se dijo en el punto 1.1, los datos de presión son insuficientes para realizar un calibrado, se procede a ajustar los caudales de entrada media.

A la hora de ajustar caudales se van a considerar todos los nudos de consumo como emisores, es decir, el caudal fugado a través de ellos está relacionado exponencialmente con la presión a la que se encuentren. A dicha fuga hay que multiplicarla por un valor, hallado por nosotros, llamado coeficiente emisor y que es el mismo para todos los nudos dentro de un mismo sector. El método consiste en ir iterando dicho coeficiente emisor en cada uno de ellos hasta que el error del caudal simulado con respecto al inyectado en el sector al que pertenezcan sea inferior al 1%. No es correcto el hecho de asimilar todo el caudal no registrado como fugas, pero en pocas iteraciones se llega a una solución muy buena independientemente del número de nudos de la red.

5.2. METODOLOGÍA DE AJUSTE DE CAUDALES A LA ENTRADA DE LOS SECTORES

En modelación hidráulica, las fugas no se atribuyen a elementos de la red, sino a los emisores [8]. Ya se nombró en el punto 5.1 el concepto de coeficiente emisor. Se ve conveniente ver el proceso iterativo de su obtención antes de entrar en la temática del cálculo de caudal fugado. Se halla el primer valor de la iteración (Ecuación 1).

$$C_E = \frac{\overline{Q_{fugado}}}{N \cdot \sqrt{p}}$$

Ecuación 1: obtención de la primera iteración del coeficiente emisor de un sector.

Donde:

- $\overline{Q_{fugado}}$: Promedio horario de caudal fugado en el sector a analizar.
- N: Número de nudos del sector a analizar.
- \sqrt{p} : Raíz de la presión promedio del sector.

El caudal fugado por un emisor “i” varía en exponencialmente con respecto a la presión en él (Ecuación 2) y depende directamente de un coeficiente emisor (C_E) que será el mismo para todos los nudos de un mismo sector. El exponente “ α ” está

relacionado con el material de los tubos, algo que no es constante en el sistema. Con Epanet 2.0 vE solo se puede trabajar con un único valor, en este caso se hará con 0,5 (Ecuación 3).

$$Q_{fugado, i}(t) = C_E \cdot (p_i(t))^\alpha$$

Ecuación 2: caudal de fugas de un nudo en un instante de tiempo "t"

$$Q_{fugado, i}(t) = C_E \cdot \sqrt{p_i(t)}$$

Ecuación 3: caudal fugado por nudo en la simulación con Epanet 2.0 vE

Donde:

- C_E : Coeficiente emisor para los nudos del sector de ajuste.
- $p_i(t)$: Presión del nudo "i".

La intención es intentar hacer que, en todos los sectores, los caudales inyectado y simulado sean prácticamente iguales. Se sabe a priori que el caudal inyectado en un instante de tiempo a un sector (Ecuación 4) es igual al registrado (segundo término) más el fugado (primer término).

$$Q_{inyectado, i}(t) = C_E \cdot \sqrt{p_i(t)} + D \cdot C_d(t)$$

Ecuación 4: caudal inyectado en un sector en un instante de tiempo "t".

Donde:

- D: Demanda base de los nudos del sector a ajustar.
- $C_d(t)$: Coeficiente de la curva de modulación en el instante de tiempo "t" del sector a ajustar.

En la ecuación 4, todos los términos menos $C_d(t)$ son dato, de ahí que la intención sea la de despejar éste último para cada hora del día simulado, así se obtiene el valor de los coeficientes de la curva de modulación a multiplicar a la demanda base del sector que le corresponda.

Si el ajuste entre el caudal simulado y el inyectado a la entrada del sector no es muy bueno, se procede a obtener el siguiente valor de la iteración del coeficiente emisor (Ecuación 5). Se repite todo lo explicado anteriormente en este punto y se vuelve a comprobar el ajuste. El número de iteraciones a realizar se hará hasta que el error entre caudal simulado e inyectado sea menor del 1%.

$$C'_E = C_E \cdot \frac{\overline{q_{iny}}}{\overline{q_{sim}}}$$

Ecuación 5: obtención de las sucesivas iteraciones del coeficiente emisor de un sector

Donde:

- $\overline{q_{iny}}$: Valor de caudal promedio diario inyectado a la entrada de un sector.
- $\overline{q_{sim}}$: Valor de caudal promedio diario simulado a la entrada de un sector.
- C_E : Valor del coeficiente emisor en la iteración anterior.

Llegados a este punto se tendría una curva de modulación para el consumo diario de un sector y un coeficiente emisor. A modo ejemplo véanse figura 39 y tabla 27.

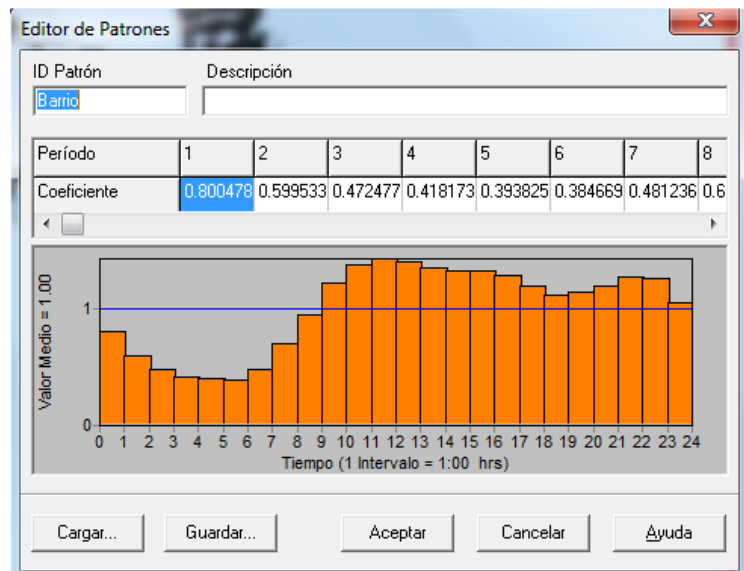


Figura 39: curva de modulación inicial un día promedio para Barrio

| Sector | Coeficiente Emisor | | | |
|-------------------|--------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Día | | | |
| | Promedio | Máximo consumo doméstico | Máximo consumo industrial | Máximo consumo vacacional |
| Molí de Vent Nord | 0,001 | 0,001 | 0,0009 | 0,0011 |
| Molí de Vent Sud | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,002 |
| Campo Aníbal | 0,007 | 0,007 | 0,007 | 0,007 |
| Barrio | 0,0004 | 0,0005 | 0,0003 | 0,0001 |
| Santigons | 0,015 | 0,0002 | 0,00 | 0,0003 |
| Playa | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,004 |

Tabla 27: coeficientes emisores definitivos para cada escenario.

Para ver el resto de curvas de modulación, véase el Anejo VII. Decir que en todos los casos el número de iteraciones que hubo que hacer fueron bastante pocas y se consiguió en todos los casos un error relativo al 1%, salvo en el caso de Santigons para el día de máximo consumo industrial, por lo que se puede decir que el ajuste de caudales fue bastante bueno por lo general. A continuación se expone una tabla con los diferentes coeficientes emisores obtenidos.

5.3. RESULTADOS DEL AJUSTE DE CAUDALES

Con las curvas de ajuste de caudales se puede apreciar de manera subjetiva si el ajuste es bueno o no (Figura 40). Para ver el resto de caudales ajustados véase Anejo VIII. De manera objetiva se analizará el error relativo del caudal inyectado simulado en el sector con el valor real medido, véanse tablas 28 a 33.

Se adjunta una gráfica (Figura 41), a modo de ejemplo, con la correlación entre los caudales horarios simulados por Epanet 2.0 vE a la entrada de cada uno de los sectores y el inyectado en la realidad para ver si se está reflejando con buena precisión las diferentes condiciones de operación del sistema. Para ver el resultado de dichas correlaciones para el resto de sectores en cada uno de los escenarios estudiados, véase Anejo IX .

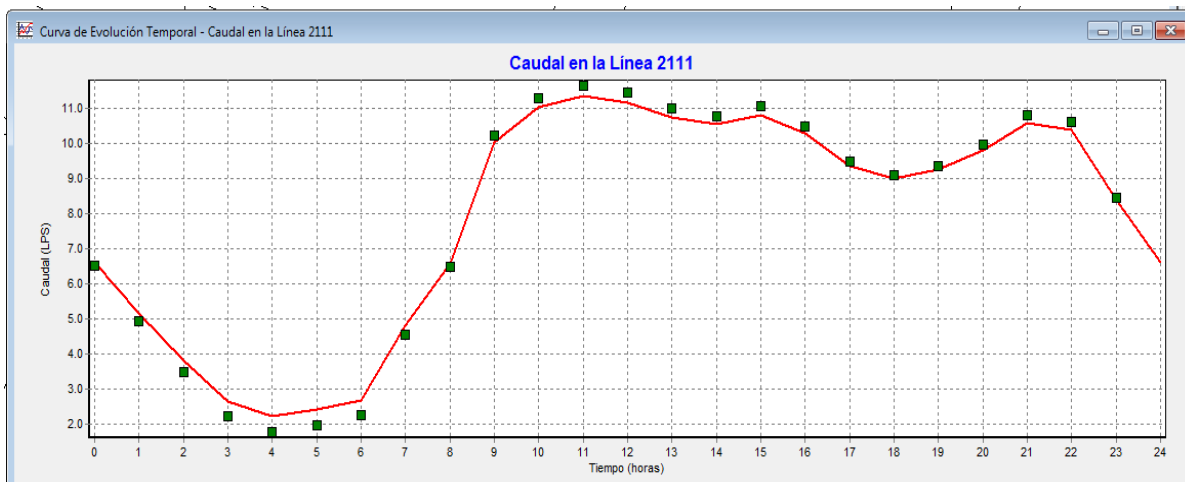


Figura 40: Curva de ajuste de caudal de entrada a Molí de Vent Nord un día promedio

| ESCENARIO | ERROR RELATIVO (%) |
|---|--------------------|
| DÍA PROMEDIO | -0,10 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO DOMÉSTICO | -0,33 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO INDUSTRIAL | -0,34 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO VACACIONAL | -0,34 |

Tabla 28: error promedio en Molí de Vent Nord

| ESCENARIO | ERROR RELATIVO (%) |
|---|--------------------|
| DÍA PROMEDIO | -0,71 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO DOMÉSTICO | -0,33 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO INDUSTRIAL | 0,25 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO VACACIONAL | 0,59 |

Tabla 29: error promedio en Molí de Vent Sud

| ESCENARIO | ERROR RELATIVO (%) |
|---|---------------------------|
| DÍA PROMEDIO | -0,26 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO DOMÉSTICO | 0,45 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO INDUSTRIAL | 0,41 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO VACACIONAL | -0,45 |

Tabla 30: error promedio en Campo Aníbal

| ESCENARIO | ERROR RELATIVO (%) |
|---|---------------------------|
| DÍA PROMEDIO | -0,72 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO DOMÉSTICO | 0,57 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO INDUSTRIAL | 0,90 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO VACACIONAL | -0,68 |

Tabla 31: error promedio en Barrio

| ESCENARIO | ERROR RELATIVO (%) |
|---|---------------------------|
| DÍA PROMEDIO | 0,46 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO DOMÉSTICO | 0,49 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO INDUSTRIAL | 2,71 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO VACACIONAL | -0,31 |

Tabla 32: error promedio en Santigons

| ESCENARIO | ERROR RELATIVO (%) |
|---|---------------------------|
| DÍA PROMEDIO | -0,58 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO DOMÉSTICO | -0,48 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO INDUSTRIAL | 0,34 |
| DÍA DE MÁXIMO CONSUMO VACACIONAL | -0,79 |

Tabla 33: error promedio en playa

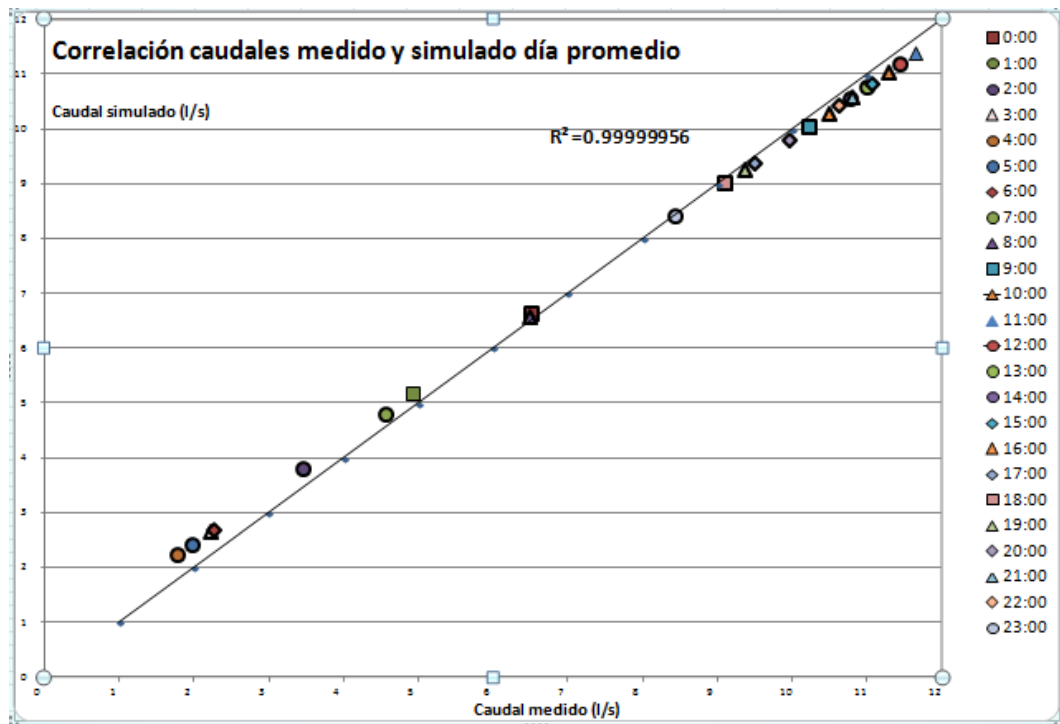


Figura 41: correlación entre caudales inyectado y simulado un día promedio para Barrio

6. ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED Y PROPUESTA DE ACTUACIONES

Una vez llegados a este punto se está en disposición de determinar los caudales circulantes por cada tubería, las presiones y alturas piezométricas resultantes en cada uno de los nudos para un instante de tiempo determinado. Sin embargo, cuando se pretende analizar la fluctuación de las presiones en los nudos de la red, o bien para resolver un modelo de calidad, se necesita obtener la evolución de todas estas variables en el tiempo, y por consiguiente llevar a cabo lo que se conoce como una simulación en periodo extendido. Es en este punto cuando el software de simulación entra en juego y se encarga de realizar los cálculos de las diversas variables hidráulicas (presión, caudal, velocidad,...).

Con la ayuda del modelo matemático de la red actual se va a realizar un análisis de las variables hidráulicas más características de la red y su influencia en el funcionamiento de la red de abastecimiento. Entre ellas, la velocidad de circulación del flujo a lo largo del sistema de tuberías, los caudales circulantes, la pérdida de carga en los principales tramos del sistema, las presiones en los nudos del modelo, etc. Todo ello, será analizado utilizando el modelo confeccionado en cada uno de los cuatro escenarios que se expusieron. De esta manera, se llevará a cabo un diagnóstico de la red lo más exhaustivo posible, que nos permita obtener conclusiones fiables y plantear los cambios y actuaciones que se consideren oportunos, con el objetivo de mejorar la explotación y operación diaria de la red de abastecimiento.

6.1. ANÁLISIS DE LA RED

El análisis de las alturas piezométricas en los nudos de la red permite obtener conclusiones acerca de la pérdida de carga a lo largo de los tramos más críticos y por tanto, ayuda a localizar los estrangulamientos o “cuellos de botella” existentes.

Las mayores pérdidas de carga se produzcan en la red será en la hora que más se consuma (Tabla 34). Se va a exponer la distribución de pérdidas de carga a las 11 de la mañana de un día promedio para tener una referencia de cómo se distribuyen las pérdidas de carga a lo largo de la red (Gráfico 8). De donde se puede sacar como conclusión que el 90 % de la red a esa hora (cuando las pérdidas de carga sean las

mayores) las pérdidas de carga están por debajo de 0,4 m/km. Lo que indica a un posible sobredimensionamiento por lo general de la red.

| Hora | Caudal consumido (l/s) | | | | Promedio (l/s) |
|-------|------------------------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------------|----------------|
| | Día promedio | Día máximo consumo casero | Día máximo consumo industrial | Día de máximo consumo vacacional | |
| 0:00 | 67,28 | 64,39 | 55,73 | 64,36 | 62,94 |
| 1:00 | 57,93 | 35,41 | 27,64 | 34,28 | 38,82 |
| 2:00 | 52,08 | 32,76 | 27,38 | 31,18 | 35,85 |
| 3:00 | 47,56 | 30,14 | 27,03 | 28,97 | 33,43 |
| 4:00 | 45,14 | 28,27 | 23,95 | 27,63 | 31,25 |
| 5:00 | 45,82 | 29,54 | 23 | 29,33 | 31,92 |
| 6:00 | 52,79 | 39,98 | 33,2 | 41,44 | 41,85 |
| 7:00 | 63,85 | 46,26 | 41,47 | 50,9 | 50,62 |
| 8:00 | 73,3 | 52,55 | 47,72 | 51,64 | 56,30 |
| 9:00 | 89,5 | 63,26 | 58,74 | 63,48 | 68,75 |
| 10:00 | 95,87 | 67,84 | 56,94 | 68,45 | 72,28 |
| 11:00 | 98,24 | 67,56 | 58,3 | 68,8 | 73,23 |
| 12:00 | 97,31 | 66,26 | 58,63 | 65,47 | 71,92 |
| 13:00 | 94,72 | 64,41 | 59,34 | 64,5 | 70,74 |
| 14:00 | 93,15 | 64,11 | 58,49 | 65,67 | 70,36 |
| 15:00 | 93,38 | 64,15 | 57,93 | 63,33 | 69,70 |
| 16:00 | 90,08 | 56,51 | 53,64 | 58,7 | 64,73 |
| 17:00 | 85,43 | 58,5 | 51,2 | 57,48 | 63,15 |
| 18:00 | 83,37 | 83,37 | 49,9 | 57,97 | 63,43 |
| 19:00 | 83,93 | 83,93 | 50,77 | 58,09 | 63,96 |
| 20:00 | 85,95 | 85,95 | 54,22 | 61,31 | 65,59 |
| 21:00 | 89,93 | 89,93 | 59,04 | 64,19 | 69,94 |
| 22:00 | 70,15 | 70,15 | 55,46 | 59,62 | 62,16 |
| 23:00 | 59,37 | 59,37 | 45,92 | 50,14 | 52,32 |

Tabla 34: horas de mayor y menor consumo un día de consumo promedio

Con unas pérdidas tan pequeñas no se han detectado cuellos de botella en la red. En el caso de que los hubiera, la pérdida de carga que se produciría en ellos no afectaría a la red a tal extremo de no llegar a conseguir la presión mínima en los nudos de consumo que se encontrarán aguas abajo de ellos.

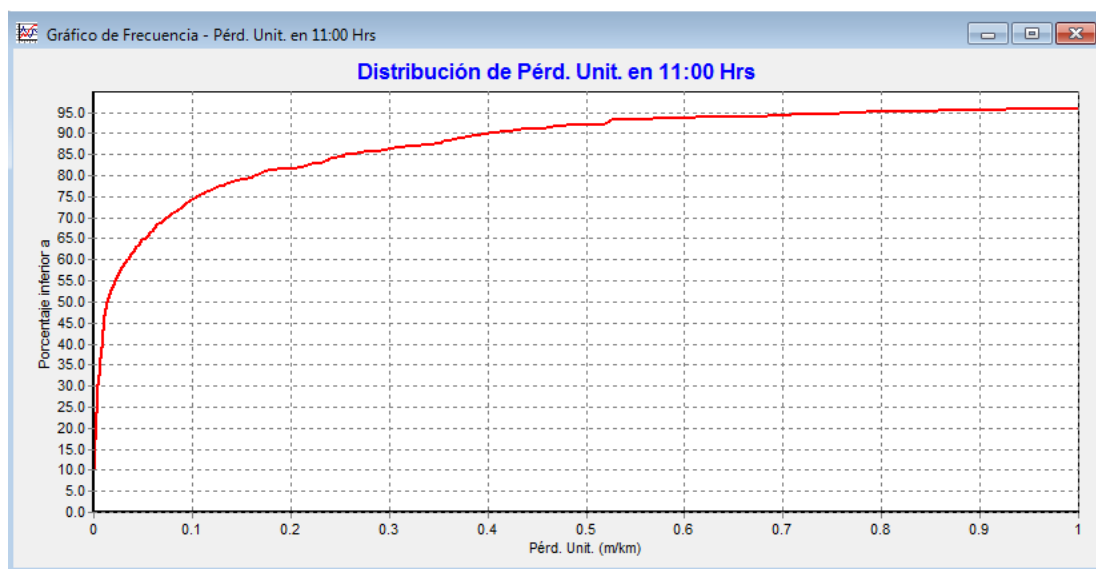


Gráfico 8: distribución de las pérdidas de carga en la red en la hora de mayor consumo.

También decir que debido a la escasa pendiente que hay entre los diferentes puntos del municipio, la diferencia de cota entre distintos puntos no supondrá un término clave en la variación de altura piezométrica y ésta va descendiendo conforme nos acercamos a la costa (Figura 42). Solo se puede observar una elevación algo notoria del terreno alternada con un terreno fuertemente ondulado en la zona de las urbanizaciones de Alfinach y Monasterios (Figura 43).

Al analizar la distribución de presiones en la red se puede afirmar que la red de agua potable de Puçol presenta tres zonas de presión claramente separadas (Figura 44). Dos zonas en el casco urbano al oeste, con presiones entre 20-30 mca. El resto de la zona urbana con presiones entre 30 y 40 mca y la zona playa entre 40 y 50 mca. Las presiones se encuentran en torno a esos valores por la presión de consigna de las válvulas reductoras en los puntos de compra (35 mca a la entrada de Campo Aníbal y 30 mca en los otros dos).



Figura 42: distribución de cotas del terreno en el que se asienta Puçol



Figura 43: vista de la fisiografía del municipio de Puçol [9].

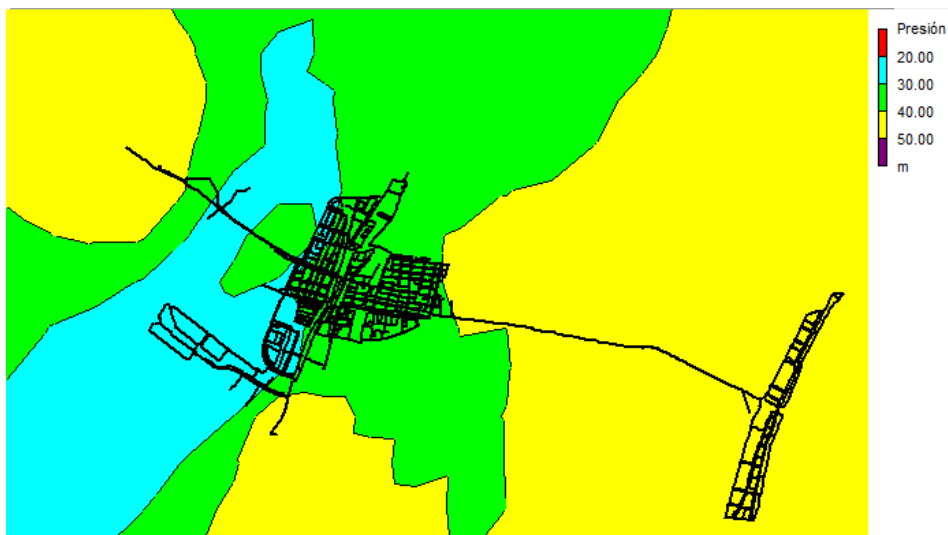


Figura 44: mapa de presiones de la red de Puçol.

A continuación se presentan tanto la simulación hidráulica como la distribución de presiones de la red a ambas horas en un día promedio para poder apreciar que las presiones son bastante constantes a lo largo del día (véanse figuras 45,46 y 47).

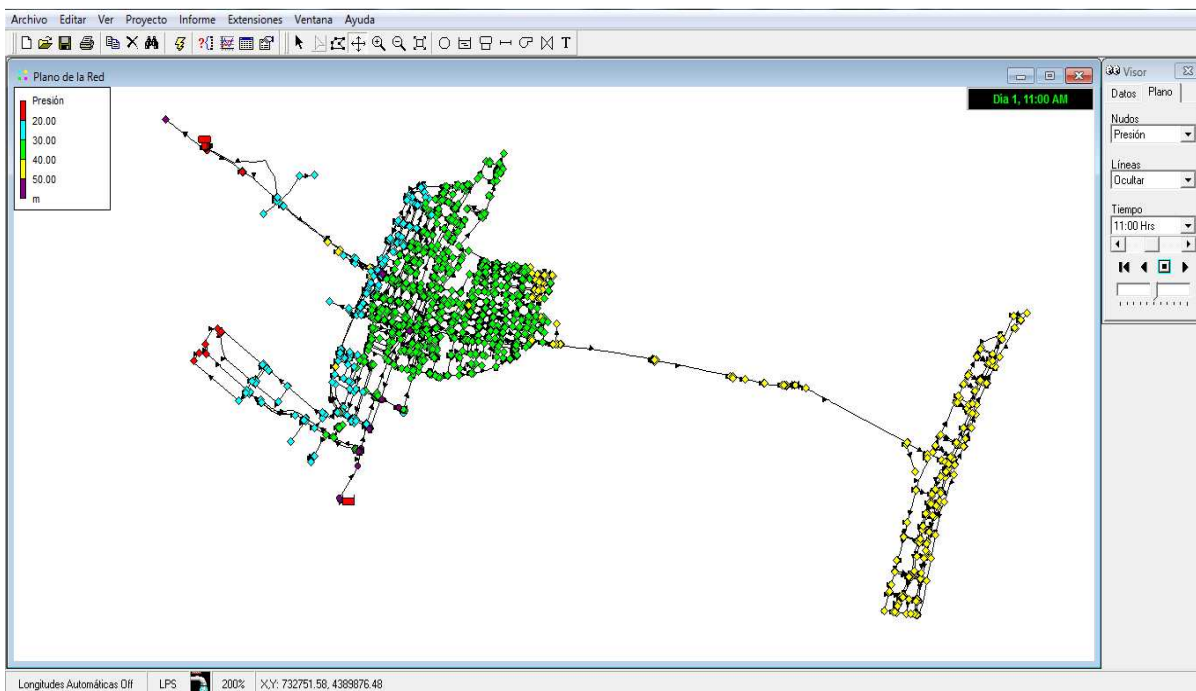


Figura 45: presiones en la red de Puçol en hora punta (11h)

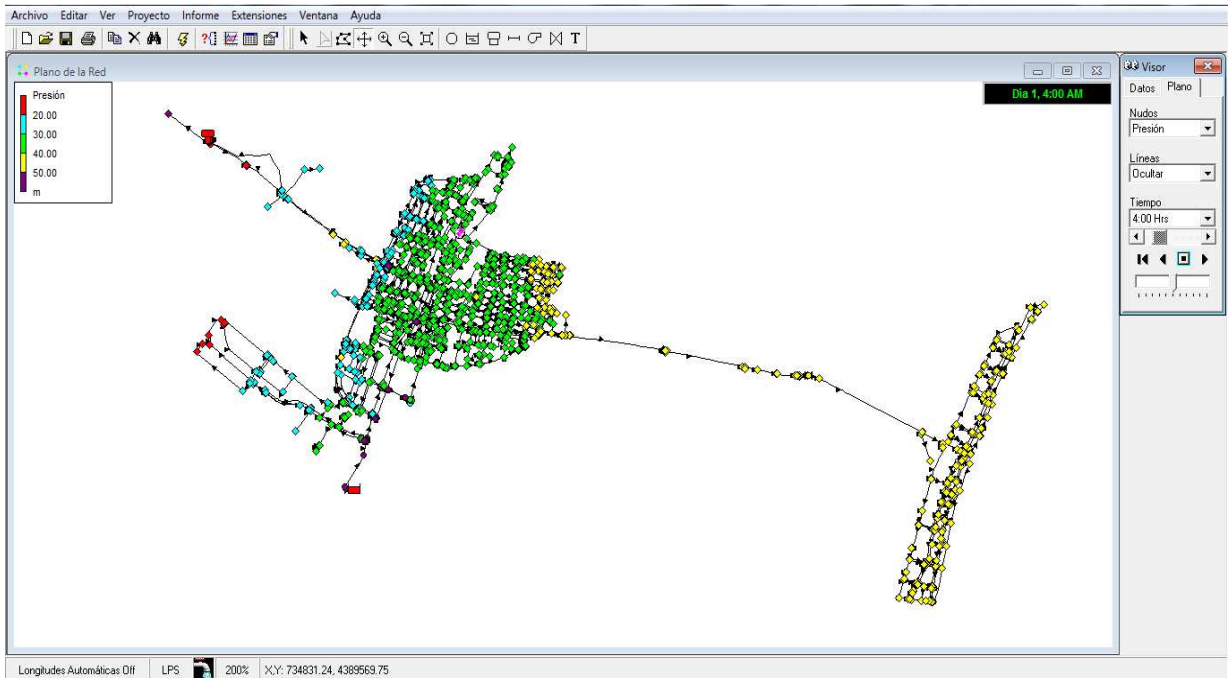


Figura 46: presiones en la red de Puçol en hora valle (4h)

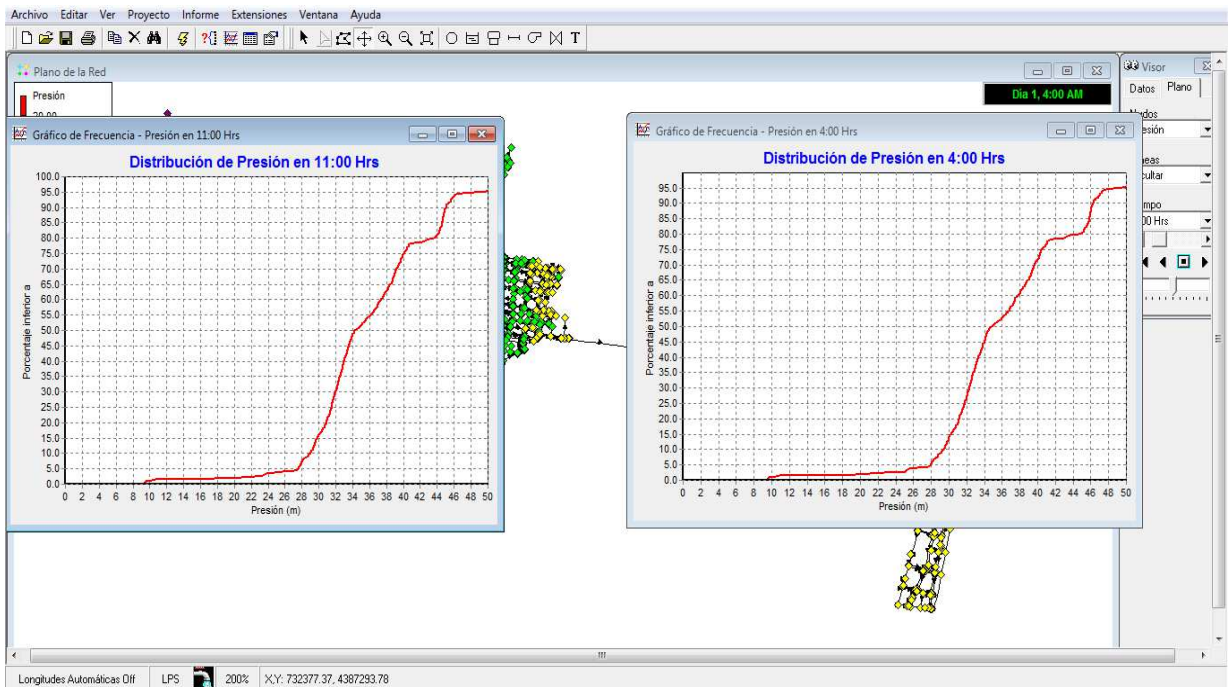


Figura 47: comparativa de la distribución de las presiones a las 4 h y 11 h

Hasta ahora se tiene clara una posible condición de sobredimensionamiento de la red. Por ello, se va a mostrar la distribución de velocidades en hora punta de un día promedio, ya que es cuando más caudal circula por la red.

Como se puede apreciar, las velocidades obtenidas a partir del modelo son en general bastante bajas. Ésta es inferior a 0,45 m/s en el 95 % de las conducciones (Gráfico 9) con lo que se infrautiliza la capacidad de transporte de la tuberías.

Está demostrado el sobredimensionamiento de la red, lo que implica que se puede tener problemas de diferentes tipos como la precipitación de materias en suspensión o incrustaciones de carbonato cálcico en las paredes.

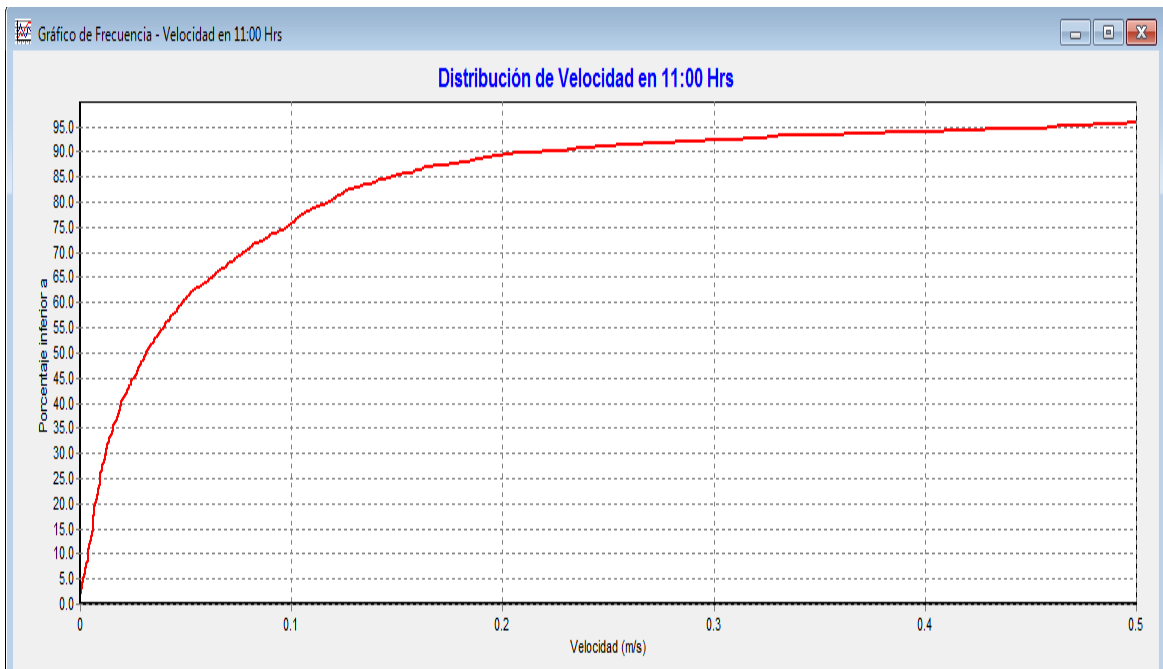


Gráfico 9: distribución de velocidades en la red a hora punta

Tal y como se vio en los puntos anteriores de este apartado se ha diagnosticado a la red un sobredimensionamiento, lo que implica que desde el punto de vista de la calidad del agua los tiempos de permanencia del agua en la red pueden llegar a ser altos en algunos puntos de ella. Para ello se va a representar la distribución de tiempo de permanencia máximo de la red (Gráfico 10).

Tal y como se puede ver en el gráfico anterior, los resultados en tiempo máximo de permanencia en la red son en su mayoría inferiores a 24 horas (para el 90 % de las tuberías). Sin embargo existen zonas muy localizadas donde el tiempo de permanencia

supera los 2 días, lo que puede suponer riesgos en relación a la pérdida de calidad del agua por el decaimiento de la concentración de cloro.

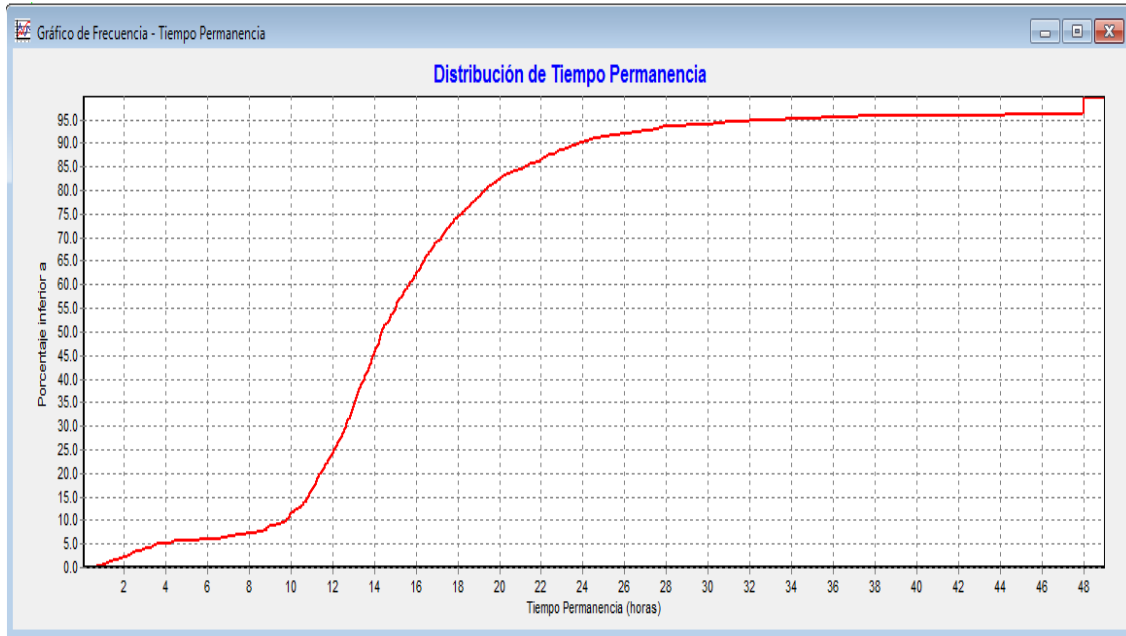


Gráfico 10: curva de distribución del tiempo de permanencia máximo del agua en la red.

Las tuberías con mayor tiempo de permanencia corresponden a zonas que presentan un diseño ramificado, situadas normalmente en áreas periféricas, zonas de muy bajo consumo o nulo. Estas últimas debido a estar cerradas por válvulas de sectorización (Figura 48).

La siguiente figura muestra en color rojo las zonas de la red afectadas por un mayor tiempo de permanencia. Como es previsible, las zonas con mayores tiempos de permanencia son aquellas que están más alejadas de los puntos de producción o que se encuentran en cola de red (Figura 49).

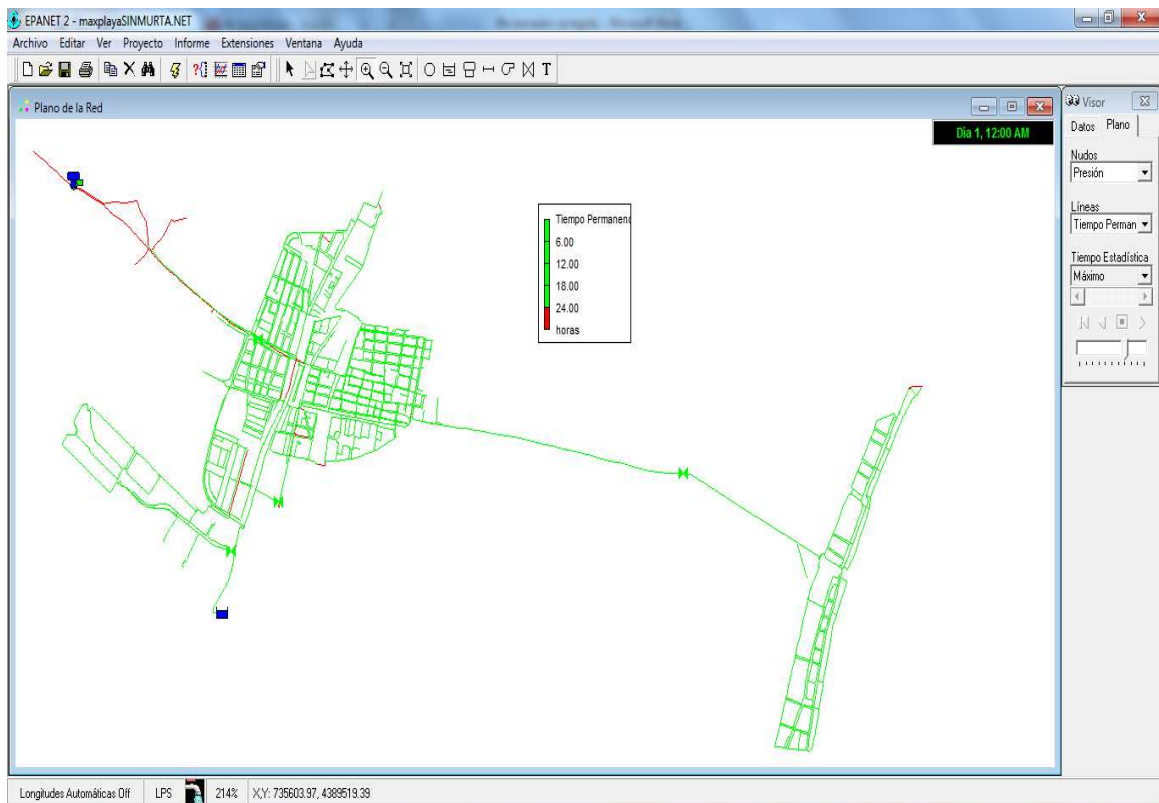


Figura 48: tuberías de la red con un tiempo de retención máximo superior a 24 horas (rojo) e inferior (verde)



Figura 49: mapa de isolíneas de tiempo de permanencia máximo del agua en la red.

6.2. PROBLEMÁTICA DETECTADA

Tras los análisis realizados, se ve que existen una serie de deficiencias que no pueden ser identificadas a partir de un modelo de simulación.

- Instalaciones del pozo la Barraca (Figura 50): se encuentran en la actualidad en mal estado, estando incluso apuntaladas por riesgo de desprendimientos. Además, este pozo contaba en el pasado con un depósito elevado, que ahora se encuentra totalmente fuera de uso y del servicio, que tiene serios problemas estructurales.



Figura 50: vista de las infraestructuras del pozo y depósito de la Barraca.

- El Centro de Transformación que suministra energía eléctrica a este pozo no cumple la normativa vigente y presenta ciertas anomalías:
 - El suelo de la celda de protección esta en mal estado.
 - Hay varillas sin pintar en la celda de protección y medida.
 - Existen elementos de la instalación de tensión nominal inferior a 24 kV.
 - Existen humedades en el interior del centro de transformación, presentando valores bajos de aislamiento.
 - El alumbrado de emergencia no funciona.
- Instalaciones generales:
 - Acometidas muy antiguas que no tienen registro en la acera ni llave de cierre. El hecho de que existan acometidas en este estado dificulta su manipulación.

- Tuberías que transcurren bajo parcelas privadas.
- Tapas de registro de válvulas y acometidas antiguas de hormigón que, aunque a la vista se encuentran en buen estado, no se pueden abrir porque se romperían. Si fuera necesario interrumpir el suministro de agua en alguna acometida para realizar un trabajo sobre ella, se debe manipular las válvulas de la red general necesarias para dejar sin servicio la tubería que transcurre por la calle donde se encuentra la arqueta antigua, lo que significa dejar sin servicio en muchas ocasiones a un gran número de abonados.
- Riego de jardines municipales con agua potable.
- Corrosión de elementos importantes. Ciertos elementos importantes de la red, tales como el brocal del pozo la Barraca (Figura 51), se encuentran en un estado de corrosión. Esto dificulta las tareas de mantenimiento y acelera los procesos de degradación de los elementos.



Figura 51: brocal del pozo de la Barraca

- Tuberías de bajo calibre: Existen tuberías de bajo calibre (25-63mm, 4,2% del total) que generan problemas de repuesto y conservación.
- Materiales no recomendados: Existen tuberías de materiales no recomendados, tales como fibrocemento, que deberían ser sustituidas.

- Deficiencias detectadas gracias al modelo de simulación hidráulico. Tan solo podemos identificar dos aspectos a tener presentes:
 - Nivel de presiones. Es más que aceptable en todo el casco urbano y en la playa, ya que más del 95% de los nudos se encuentran en el rango 20-40 mca. Pero hay que destacar, que la zona más sensible a bajadas de presión es el polígono industrial Campo Aníbal.
 - Tiempo de permanencia en la red: Los tiempos de permanencia para la red de Puçol son en su mayoría inferiores a 24 horas (para el 90% de las tuberías). Sin embargo existen zonas muy localizadas donde el tiempo de permanencia supera un día, lo que puede suponer riesgos en relación a la pérdida de la calidad del agua, por el decaimiento de la concentración de cloro. En las zonas afectadas se deberán ejecutar los planes de purga establecidos.

6.3. PROPUESTA DE ACTUACIONES

Se exponen en este apartado todas las actuaciones, al margen de la fuente de financiación de cada una de ellas, con el objetivo de solucionar las diferentes deficiencias que se han detectado en las infraestructuras, así como en el análisis matemático realizado en apartados anteriores. Todas ellas encaminadas a la mejora de la calidad, gestión y eficiencia del servicio de distribución. Se han agrupado en dos subgrupos. Por una parte sugeridas por el ayuntamiento de Puçol y por otra las que se derivan del manejo del modelo matemático.

6.3.1. ACTUACIONES PLANTEADAS POR EL AYUNTAMIENTO DE PUÇOL

- Doble red de abastecimiento en la urbanización Alfinach.
- Doble red de abastecimiento en la urbanización Monasterios.
- Cambio de válvulas cerradas.
- Estudio de soluciones para la adecuación de depósito elevado y edificio y centro de transformación del pozo la Barraca.
- Opción 1. Rehabilitación del depósito elevado y edificio del pozo de bombeo (Figura 52) y CT de la Barraca (Figura 53).

- Opción 2. Demolición del depósito elevado (Figura 54), edificio y CT del pozo la Barraca. Reconstrucción del CT y edificio brocal del pozo de la Barraca.



Figura 52: edificio del brocal del pozo de la Barraca



Figura 53: CT del edificio del pozo de la Barraca



Figura 54: depósito elevado de la Barraca

- Sustitución tubería C/ Ramón y Cajal – Ctra. Barcelona (Figura 55).

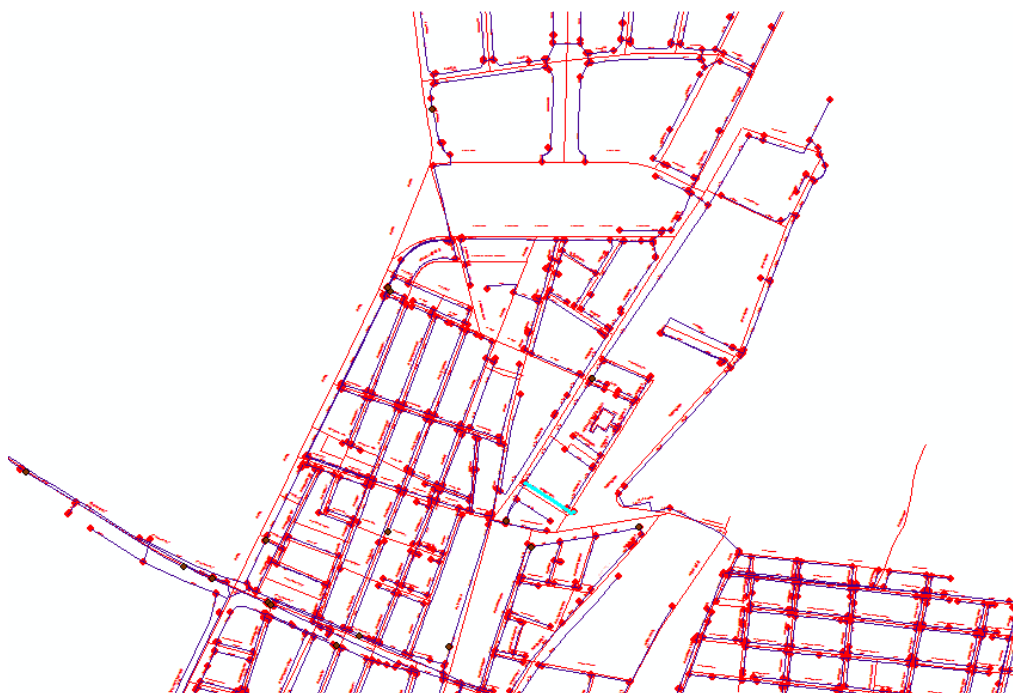


Figura 55: tubería a cambiar

6.3.2. ACTUACIONES PROPUESTAS EN ESTE T.F.M

Todas las actuaciones propuestas en este trabajo fin de máster se centran en la mejora en la gestión de las infraestructuras. Arreglo de elementos con problemas detectados en las instalaciones existentes.

- Desvío de tuberías que circulan bajo parcelas privadas.
- Sustitución trapas de hormigón.
- Renovación redes de fibrocemento y PVC.
- Ampliación de la red de riego.
- Instalación de estaciones remotas de control en el pozo de la Barraca.
- Reforma de acometidas de agua potable en el casco urbano.
- Mejoras en el funcionamiento hidráulico de la red.
- Renovación de tramos por excesivas roturas.
- Renovación red suministro a la playa.

DESVÍO DE TUBERÍAS QUE CIRCULAN BAJO PARCELAS PRIVADAS (DESVÍO DE DOS TUBERÍAS Ø200 MM. C/ MURTA ESQUINA CON C/ BARRANCO PASCUAL DEL POLÍGONO INDUSTRIAL CAMPO ANÍBAL)

- En la C/ Murta esquina con la C/ Barranco Pascual (Figura 56) existen dos tuberías de polietileno de diámetro 200 mm, una de agua potable y la otra de agua industrial, las cuales transcurren varios metros bajo un muro de una propiedad privada, puesto que fueron instaladas de forma errónea invadiendo terreno privado (información contrastada con el Ayuntamiento de Puçol).
- En dicha zona hay instaladas dos válvulas de corte, una de las cuales tiene una fuga y precisa urgentemente su cambio. Ésta no puede repararse debido a que se encuentra bajo el muro.
- Por estos motivos, se presenta propuesta para desviar ambas tuberías, realizando la canalización por la acera, para que transcurran en todo momento por terreno público, subsanando así la avería existente y evitando posibles problemas futuros.

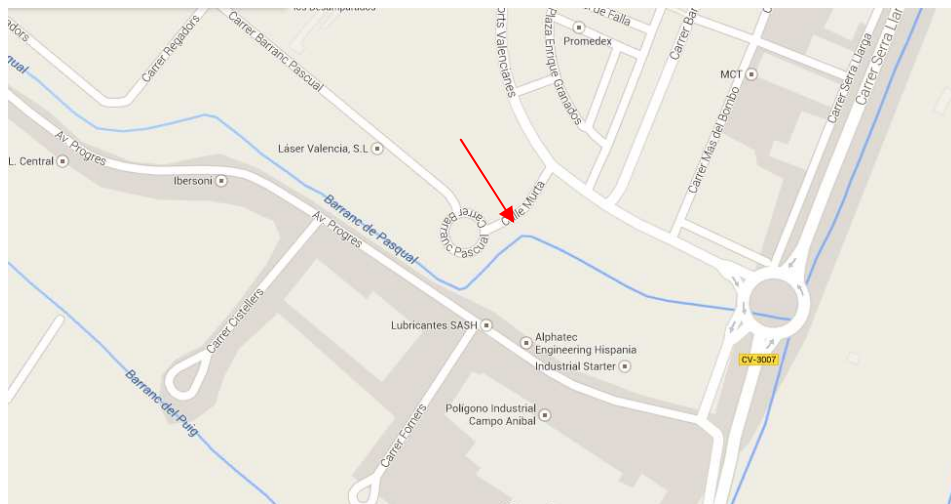


Figura 56: localización de la zona afectada.

- La presente actuación contemplará los siguientes aspectos (Figura 57):
 - Se prevé la ejecución de la canalización con tubería de polietileno de alta densidad, de 10 atm., siendo el diámetro de la tubería de 200 mm. (diámetro exterior). La longitud total a canalizar será de 50 metros. La canalización recorre la fachada de la calle la Murta.
 - Se contempla realizar cuatro conexiones con las redes existentes en el mismo tramo a sustituir.
 - Se prevé la realización de una acometida domiciliaria, ya que actualmente existe una en dicho lugar.
 - Se prevé el montaje de dos válvulas de corte en dos de las conexiones a las redes existentes.

SUSTITUCIÓN TRAPAS DE HORMIGÓN

A fin de cumplir con la normativa vigente y realizar un correcto control de las acometidas y una mejor gestión del sistema, la solución preferible es la reforma de las arquetas existentes y la sustitución de las trapas instalando nuevas trapas de acometida de fundición dúctil de dimensiones 30 x 30 cm. La presente actuación contemplará los siguientes aspectos:

- Se prevé la renovación de cincuenta arquetas y portillas en el casco urbano de Puçol.

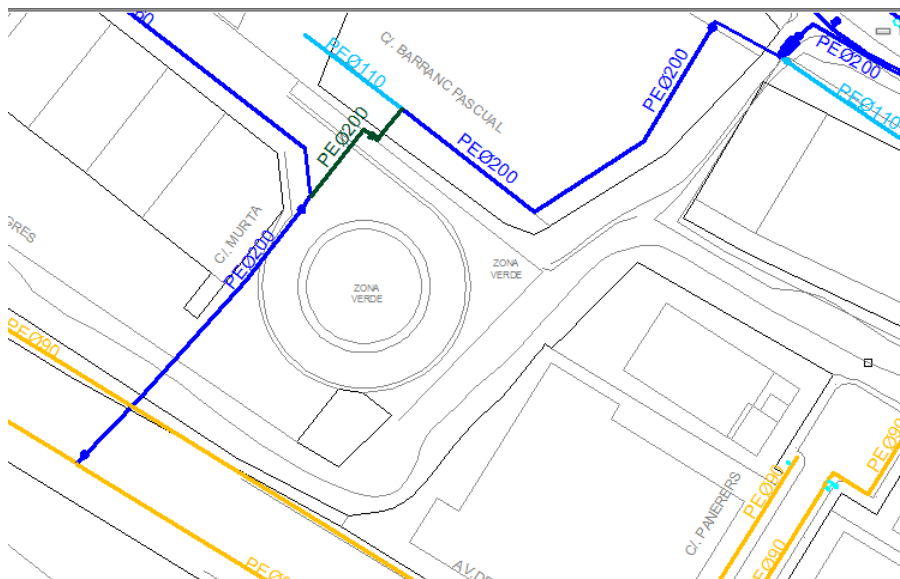


Figura 57: situación después de la actuación

- Se construirán las arquetas de ladrillo panal de dimensiones 30x30 cm., lucidas por el interior.
- Se colocarán trapas nuevas de fundición dúctil de dimensiones 30x30 cm.
- Se repondrá el pavimento adecuado en cada caso.

RENOVACIÓN DE LA RED DE FIBROCEMENTO Y PVC

En relación a los materiales de las tuberías para nuevas redes a presión en España no se incluye el fibrocemento, material de uso muy extendido en todo el territorio nacional hasta la fecha. La Directiva de la Unión Europea 99/77/CE de la Comisión de 26 de Julio, prohibió a partir del año 2005 en toda la Unión Europea, la comercialización y utilización de todas las fibras de amianto y de los productos conteniendo estas fibras añadidas intencionadamente, permitiendo a cada Estado miembro adelantar voluntariamente dicha fecha de aplicación.

Las disposiciones de esta Directiva fueron incorporadas a la legislación española por la OM del Ministerio de la Presidencia de 6 de julio de 2000 que modificaba el RD 1406/1989 de 10 de Noviembre.

En España, los Ministerios de Sanidad y Consumo y de Ciencia y Tecnología han hecho uso de la posibilidad de adelantar la fecha de prohibición mediante la OM del

Ministerio de la Presidencia de 7 de Diciembre de 2001, en la que se establece la siguiente regulación [10]:

- Prohibición de utilizar amianto en la producción a partir del 15 de junio de 2002.
- Hasta el 15 de diciembre de 2002 se podrán comercializar e instalar productos con amianto fabricados antes del 15 de junio de 2002.
- A partir del 15 de diciembre de 2002 prohibición de producir, comercializar e instalar amianto y productos que lo contengan.
- Los productos con amianto instalados o que se instalen hasta el 15 de diciembre de 2002, podrán mantenerse hasta el final de su vida útil.

Además, el estado actual tanto de las tuberías de distribución como de las acometidas de plomo llega a ser precario en algunos puntos, lo que produce anualmente un elevado, e insostenible, volumen de agua fugada.

El PVC es un material termoplástico idóneo para la elaboración de conducciones de agua para consumo humano [11]. Su uso presenta varias ventajas:

- Menor pérdida de carga debido a la lisura de su superficie interior.
- Inexistencia de depósitos e incrustaciones en su capa interior.
- Buena resistencia a altas presiones.
- Excelente comportamiento frente a las cargas de aplastamiento.
- Ligereza que facilitan el transporte, la manipulación e instalación, disminuyendo así su coste.
- Material que permite la conservación de las propiedades organolépticas del agua destinada al consumo humano.
- No se oxida ni corroe.

En resumen, materiales no adecuados, calibres insuficientes, antigüedad y estado precario de los materiales son razones más que suficientes para renovar dichas redes y acometidas. Por todo ello, y con el objetivo de mejorar la red de distribución, está prevista la renovación de todas las tuberías de fibrocemento (Figura 58 y Tabla 35).



Figura 58: conducciones de FC y PVC a renovar en el casco urbano y playa (en rojo)

| Sectores | | | | | | | | |
|----------------|-------------|--------|------|------|--------------|-------|-----------|---------------|
| Diámetro | Ambulatorio | Barrio | MVN | MVS | Campo Aníbal | Playa | Santigons | Total general |
| FC 100 | 256 | 2769 | 1949 | 1106 | | | 555 | 6635 |
| FC 80 | | 5660 | 3431 | 156 | 358 | | 1748 | 11353 |
| FC 60 | | 329 | 151 | | | | 109 | 589 |
| FC 50 | | 295 | | | | | | 295 |
| PVC 110 | | 331 | 356 | 84 | | | | 771 |
| PVC 90 | | | | | 664 | 598 | | 1262 |
| PVC 75 | 323 | 58 | 98 | 1875 | 573 | | | 2927 |
| PVC 63 | | 161 | | 154 | | | | 315 |
| PVC 50 | | 583 | | | | | | 583 |
| TOTAL | 579 | 10186 | 5985 | 3375 | 1595 | 598 | 2412 | 24730 |

Tabla 35: longitudes de tubería de PVC y FC a sustituir en cada sector.

La renovación de la red se realizará en tubería de polietileno de 90 y 110. Se deberán instalar 17.411 metros de tubería de 90 mm y 7.319 metros de tubería de diámetro 110 mm.

En esta fase de renovación de redes, la obra civil discurre por la acera en la mayoría del recorrido y por la calzada en los cruces. A lo largo de los metros sobre los

que discurren las tuberías por la acera y los metros sobre los que discurren las tuberías por la calzada se procederá a la demolición de las baldosas y el aglomerado asfáltico con sus respectivas bases de hormigón. Posteriormente se procederá a la excavación de la zanja mediante medios mecánicos, con una anchura de 40 cm. y una profundidad de 60 cm.

Una vez realizada la zanja se procederá a la colocación de la tubería, preparando para ello una cama de arena de 10 cm. y cubriendo la tubería en su totalidad también con arena, al menos hasta 15 cm. contados desde la clave de la misma. Posteriormente el resto de la zanja se rellenará mediante zahorras limpias, compactadas al 99% del proctor modificado.

En las zonas donde la tubería discurra por la calzada se envainarán con un tubo de protección de PVC y se rellenará el resto de la zanja mediante hormigón HM-20. Una vez instalada la tubería y cubierta la zanja con los materiales de relleno se procederá a recomponer la capa de hormigón y las baldosas de la acera.

AMPLIACIÓN RED DE RIEGO

El sistema de distribución de Puçol cuenta con una red de agua no potable para uso industrial o de riego, pero a lo largo del casco urbano existen zonas verdes que actualmente se encuentran abastecidas con agua potable (Figura 59).



Figura 59: red de agua de riego-industrial y zonas verdes en Puçol.

Para conseguir una mejor eficiencia hídrica de los servicios de distribución, se considera adecuado ampliar la red de riego existente para abastecer a zonas verdes del casco urbano. Como primera aproximación, se consideran la instalación de un total de 1.500 metros de PE110mm y 880 metros de PE90 (Figura 60).

INSTALACIÓN DE ESTACIÓN REMOTA DE CONTROL EN EL POZO DE LA BARRACA

Se propone una monitorización de esta instalación que posibilite optimizar la eficiencia en la producción y distribución del agua, mejorando el control sobre el agua distribuida. Permitirá la rápida detección de fugas de agua, con el consiguiente aumento del rendimiento hidráulico del sistema y disminución tanto del agua distribuida como de la energía necesaria para ello. Permitirá conocer al instante y a distancia el estado el estado de funcionamiento del grupo sumergido enviando esta información a un ordenador. De este modo se puede consultar y conocer al momento, desde este ordenador o desde Internet, todas las señales digitales y analógicas que se quiera cablear a la estación remota, como consumos energéticos de las bombas, caudal de salida del pozo y altura manométrica de la impulsión.

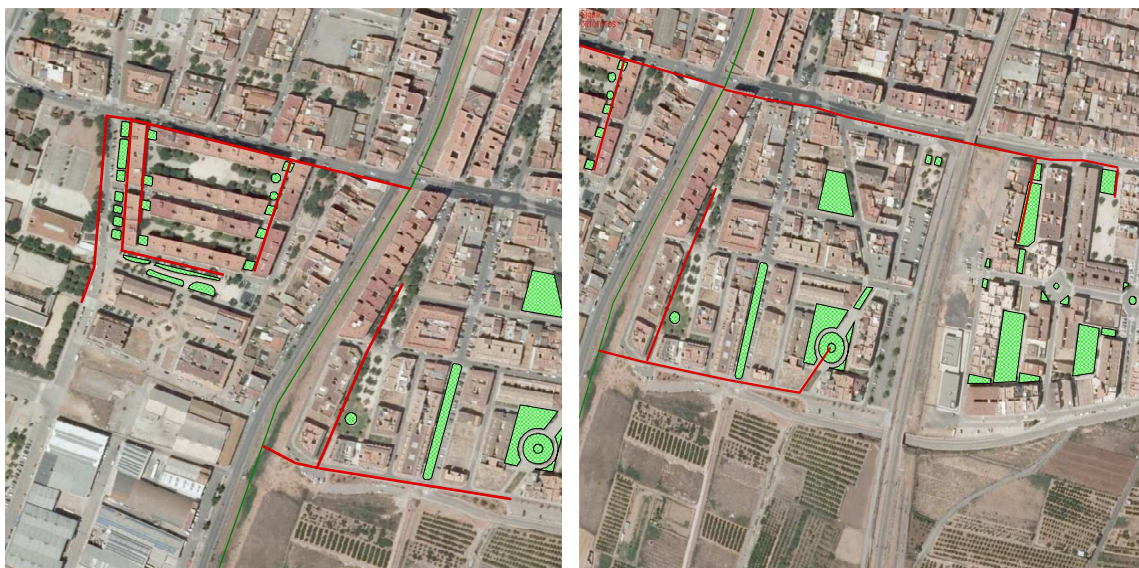


Figura 60: ampliación de la red de riego

REFORMA DE ACOMETIDAS DE AGUA POTABLE EN EL CASCO URBANO

El Código Técnico de la Edificación, de marzo de 2006, en su Exigencia Básica de Salubridad HS4 que rige las normas sobre instalaciones de suministro de agua expone que la acometida debe disponer, como mínimo, de los elementos siguientes (Figura 61):

- Una llave de toma o un collarín de toma en carga sobre la tubería de distribución de la red exterior de suministro que abra el paso a la acometida.
- Un tubo de acometida que enlace la llave de toma con la llave de corte general.
- Una llave de corte en el exterior de la propiedad.

A fin de cumplir con la normativa vigente y realizar una mejor gestión del sistema, la solución preferible es la reforma de las acometidas existentes, instalando un total de 100 nuevas acometidas, cada una con su llave de corte accesible en una arqueta registrable en la acera.

Se contempla la ejecución de las obras de instalación y montaje de las acometidas y los trabajos necesarios de obra civil asegurando la seguridad y aguante de las mismas a largo plazo. Además las acometidas existentes están constituidas en su mayoría por componentes de plomo por lo que las nuevas están fabricadas con los

materiales que dicta la normativa vigente en el momento y se consigue así un suministro de mayor calidad de agua de cara a los abonados.

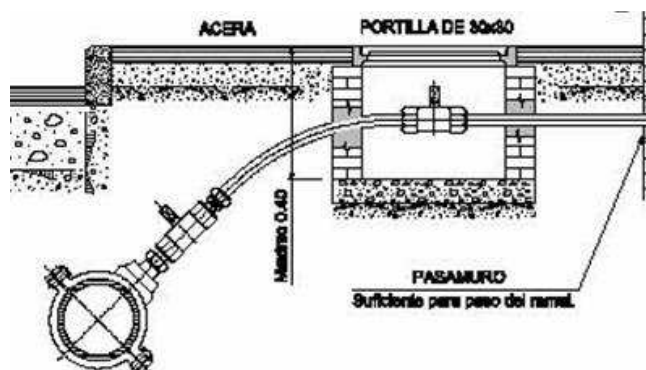


Figura 61: esquema tipo de montaje de una acometida.

6.3.3. MEJORAS EN EL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DE LA RED

Tras el análisis hidráulico realizado a la red de distribución del casco urbano y de cara a mejorar la capacidad hidráulica del sistema, se presentan a continuación una serie de mejorar propuestas.

RENOVACIÓN DE TRAMOS POR EXCESIVAS ROTURAS.

La red de distribución del casco urbano de Puçol cuenta con tramos de polietileno los cuales se encuentran muy deteriorados como consecuencia del normal envejecimiento del material con el cual están contruidos, apareciendo fugas sobre ella en toda su longitud.

Durante el último año, han sucedido reiteradas averías en estos tramos de tuberías debido a que la estructura del polietileno se cristaliza, convirtiéndolo en un material mucho más frágil. Tanto que incluso se rompen al colocar los manguitos provisionales de reparación. Además, también se incluyen dentro de esta actuación la renovación de tramos de fibrocemento por las elevadas fugas presentadas.

A la pérdida de agua que cada fuga lleva asociada, se une el coste que supone la reparación y las molestias reiteradas a los vecinos de la zona, tanto por el corte de suministro necesario para llevar a cabo la reparación, como por los posibles daños ocasionados como consecuencia de la entrada en sus domicilios de agua procedente de la fuga. Hay que añadir que algunas de las viviendas tienen la llave de la acometida

antigua o la portilla de la arqueta registrable dañada, lo que hace más difícil una posible actuación de cerrada de la acometida en caso de fuga interior. Es por ello, que se propone la renovación de los siguientes tramos con elevado número de roturas, tal como se ve en la tabla 36 y en la figura 62. Las nuevas tuberías tendrán el mismo o inferior diámetro que las iniciales ya que se ha detectado un sobredimensionamiento de la red.

| Tramo | Longitud (m) | Nº Acometidas | Diámetro inicial (mm) | Diámetro final (mm) |
|--|---------------------|----------------------|------------------------------|----------------------------|
| C/ Verge al peu de la creu, 4-14 | 95 | 11 | 75 | 75 |
| C/ Verge al peu de la creu, 3-13 | 95 | 6 | 75 | 75 |
| C/ Verge al peu de la creu, 15-31 | 100 | 8 | 75 | 75 |
| C/ Verge al peu de la creu, 33-49 | 80 | 8 | 75 | 75 |
| C/ Mariano Amigó, 22-36 | 94 | 9 | 100 | 90 |
| C/ Germanes Martínez, 3-21 | 90 | 8 | 75 | 75 |
| Sust. De tubería Avda. Alfinach (pares) | 85 | 6 | 200 | 160 |
| Sust. De tubería Avda. Alfinach (impares) | 180 | 6 | 90 | 90 |
| Sust. De tubería C/ Xile (pares) | 160 | 5 | 75 | 75 |
| Sust. De tubería C/Cuba (impares) | 140 | 3 | 75 | 75 |
| Sust. De tubería C/ Rei En Jaume, 1-7 | 75 | 4 | 75 | 75 |
| Sust. De tubería C/ Vicente Valero | 60 | 4 | 60 | 60 |

Tabla 36: tramos a renovar por excesivas roturas

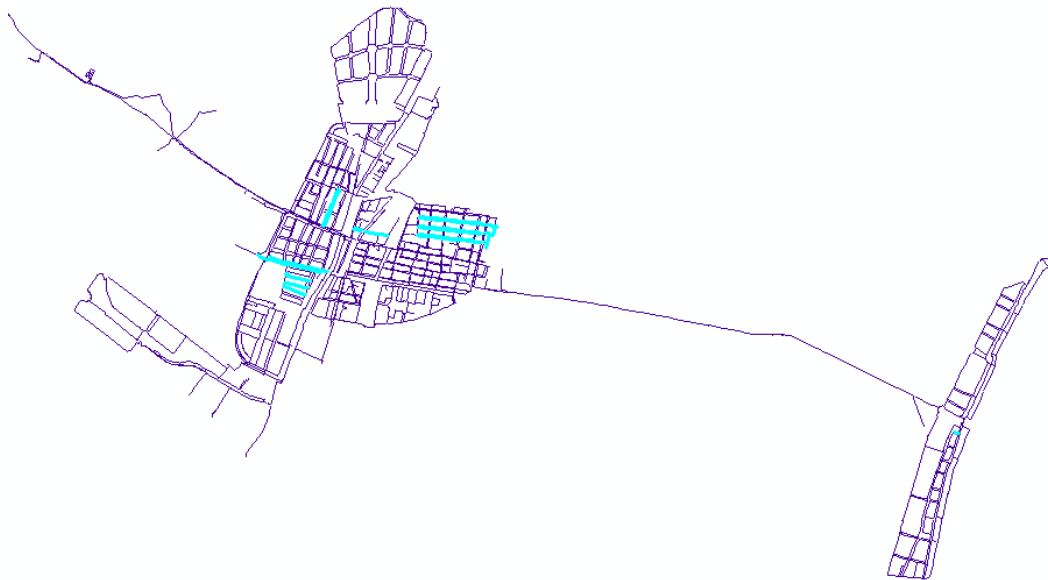


Figura 62: tramos a renovar por excesivas roturas

DUPLICACIÓN DE LA TUBERÍA DE SUMINISTRO A LA PLAYA DE PUÇOL.

La playa de Puçol se suministra desde una tubería de fibrocemento de 200 mm (Figura 63), que se abastece desde la red de distribución del casco urbano. Esta disposición presenta dos inconvenientes principales:

- Solo se cuenta con un único punto de suministro. Si se produce algún tipo de rotura, todos los abonados se quedarán sin suministro.
- Dicha tubería presenta unas velocidades de circulación elevadas, lo que introducen en el sistema unas pérdidas excesivas de carga.



Figura 63: tubería de FC 200 de suministro a la playa.

Es por ello que se considera aconsejable la renovación de toda esta tubería de suministro. Para ello será necesario instalar 2.951 metros de PE 200 mm. La nueva tubería se instalará en paralelo a la tubería ya instalada, de tal modo que la actual tubería de FC200 quede como tubería de emergencia (Figura 64).

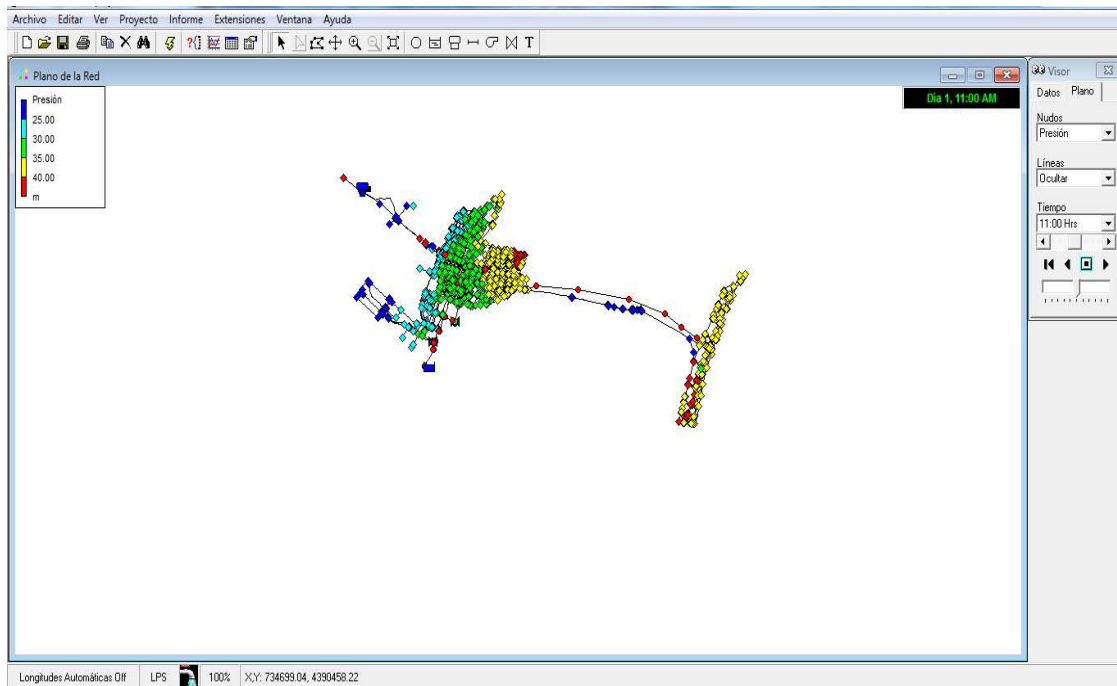


Figura 64: comprobación del correcto funcionamiento de la red el día de máximo consumo vacacional

7. VALORACIÓN DE LAS ACTUACIONES

En el presente punto se adjunta el resumen de las valoraciones de las mejoras propuestas en el punto 6 de este trabajo fin de máster. El precio, a continuación mostrado, corresponde con el presupuesto de ejecución material, a los cuales se les ha aplicado un 6% de costes indirectos. A este precio habría que sumarle el porcentaje de Beneficio industrial (13 %) y Gastos generales (6 %). Destacar que se trata de una valoración aproximada.

| | |
|--|--------------|
| Reforma de acometidas (100 uds) | 49.692,00 € |
| Reforma de arquetas y tapas de acometidas (50 uds) | 7.140,00 € |
| Desvío de tuberías de C/ Murta | 15.096,23 € |
| Estación remota de control en el pozo de la Barraca | 24.060,00 € |
| Desdoblamiento de la tubería de abastecimiento a la playa | 511.700,00 € |

Tabla 37: cuadro de gastos en reforma en la infraestructura hidráulica [12]

| Tramo | Longitud tubería | Nº acometidas | Valoración inicial aproximada |
|--|-------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| C/ Verge al peu de la creu, 4-14 | 95 | 11 | 24.225,00 € |
| C/ Verge al peu de la creu, 3-13 | 95 | 6 | 24.225,00 € |
| C/ Verge al peu de la creu, 15-31 | 100 | 8 | 25.500,00 € |
| C/ Verge al peu de la creu, 33-49 | 80 | 8 | 20.400,00 € |
| C/ Mariano Amigó, 22-36 | 94 | 9 | 23.970,00 € |
| C/ Germanes Martínez, 3-21 | 90 | 8 | 22.950,00 € |
| Sust. De tubería Avda. Alfinach (pares) | 85 | 6 | 21.675,00 € |
| Sust. De tubería Avda. Alfinach (impares) | 180 | 6 | 45.900,00 € |
| Sust. De tubería C/ Xile (pares) | 160 | 5 | 40.800,00 € |
| Sust. De tubería C/Cuba (impares) | 140 | 3 | 35.700,00 € |
| Sust. De tubería C/ Rei En Jaume, 1-7 | 75 | 4 | 19.125,00 € |
| Sust. De tubería C/ Vicente Valero | 60 | 4 | 15.300,00 € |

Tabla 38: cuadro de gastos en cambio de tuberías [12]

8. CONCLUSIONES

Se dividirán las conclusiones de este trabajo en cuatro bloques. Primero se hará referencia al propio desarrollo del modelo, a modo de resumen del mismo y luego se recordará el diagnóstico sobre el estado de la red modelizada y las futuras actuaciones que se recomendaron hacer sobre ella. En último lugar se expondrá una conclusión final a este trabajo fin de máster.

8.1. CONSTRUCCIÓN DE MODELO

Se quería hacer en un principio el diagnóstico de la red de abastecimiento de agua potable de Puçol, lo que implica que para darle el visto bueno, ésta tenía que satisfacer la demanda exigida por los abonados y tener una calidad aceptable. El cambio en la modalidad de consumo por parte de la población, llevó a pensar en implementar el modelo matemático de su red de abastecimiento de agua potable suponiendo cuatro escenarios distintos: un día promedio cualquiera y los máximos días tanto de consumo doméstico como de vacacional e industrial.

Como base de datos cartográfica se utilizaron planos en Autocad 2010 y una esqueletización de la red en GIS. Se adjuntan los siguientes planos:

- Uno de situación y emplazamiento.
- Otros son los distintos sectores con sus elementos. El excesivo tamaño del plano completo (escala 1:1500) ha obligado a dividir toda la red en 13 zonas.

Esta base cartográfica digital puede ser de suma utilidad en el futuro para registrar las actuaciones diarias que se llevan a cabo en la red.

El siguiente paso importante dado en la confección es el uso de bases de datos para integrar toda la información de detalle y trasladarla a los modelos simplificados. La información a tratar contenía dos partes bien diferenciadas, pero al mismo tiempo relacionadas entre sí. Por una parte, el primero de los objetivos del uso de las bases de datos es dejar constancia de todas las simplificaciones realizadas sobre el modelo de detalle para llegar hasta el simplificado. El segundo objetivo del uso de las bases de

datos era facilitar la asignación de cargas a los nudos del modelo partiendo de las bases de facturación por calles. El detalle de todas estas bases se trata en el punto 3.1.

A partir de las bases de datos se obtuvo la esqueletización de la red. El siguiente paso era exportarla a Epanet 2.0 vE para poder empezar a hacer los diferentes escenarios del modelo matemático. Se tuvieron diferentes problemas con respecto a los datos proporcionados por Aguas de Valencia, en el punto 3.2 se detallan. A modo de resumen decir que al final no se pudo realizar la calibración de fugas, tan solo al ajuste de caudales a la entrada de los diferentes sectores ya que solo se proporcionaron datos de presión aguas abajo de la válvula reductora, por lo que es insuficiente la información proporcionada. Llegando a conseguir una discrepancia inferior a 1 mca para todos los puntos de medición. En el próximo apartado se entrará más en detalle con las conclusiones obtenidas tras dicho ajuste.

8.2. DIAGNÓSTICO DE LA RED

Por lo que respecta al diagnóstico sobre el estado de la red y las futuras actuaciones en la misma. Se destacan las siguientes observaciones:

- La red de distribución de Puçol está sobredimensionada. Velocidad del agua muy baja y pérdidas de carga en los tubos bastante pequeñas y la variación de la presión en los puntos entre las horas punta y valle es apenas apreciable. El tiempo de permanencia es por lo general bastante bueno, menos de 24 horas para el 90 % de las tuberías.
- Presenta niveles de altura piezométrica muy uniformes debido a lo plano del terreno. Al analizar la distribución de presiones en la red se puede afirmar que la red de agua potable de Puçol presenta tres zonas de presión claramente separadas, dos en el casco urbano al oeste, con presiones entre 20-30 mca. El resto de la zona urbana con presiones entre 30 y 40 mca y la zona playa entre 40 y 50 mca. El rango de presiones con el que se trabaja es bastante aceptable atendiendo a topografía, la distribución de la red y el tipo de consumo.
- El municipio en los últimos seis años se ha estancado bastante en términos de población. En el caso de que volviera a experimentar un aumento, se encuentra aún lejos de saturar la capacidad de reparto de la

red en el caso de que siga aumentando al ritmo que lo lleva haciendo los últimos años.

8.3. ACTUACIONES

Todas ellas se detallan en el punto 6.3. Son propuestas tanto por este trabajo fin de máster como por el Ayuntamiento de Puçol. Destacar que se proponen:

- Mejoras en la gestión de las infraestructuras.
- Renovación de tuberías por excesivas roturas.
- Duplicación de la tubería de suministro a la playa de Puçol. Se propone una tubería de PE 200 mm en paralelo a la que hay hoy en día (FC 200 mm) para que se garantice el suministro a dicho sector en caso de avería de la que actualmente hay. En el punto 6.3.3 se expone el resultado de la simulación hecha con Epanet 2.0 vE a las 11 horas el día de mayor consumo vacacional, no se tuvieron en cuenta el resto de escenarios ya que la playa apenas tiene población en época no estival.

8.4. CONCLUSIÓN FINAL

La intención de este trabajo fin de máster ha sido la de hacer el modelo matemático de la red de Puçol en cuatro escenarios asociados al tipo de consumidor que se hay en el municipio. Así se pueden simular situaciones presentes y futuras que se puedan dar y ayudar a la toma de decisiones sobre las alternativas propuestas en la red.

Se ha tenido muchos problemas a la hora de implementar los modelos debido a la incoherencia de varios datos proporcionados por Aguas de Valencia S.A y/o ausencia de éstos. Por ello se ha usado curvas de modulación no correspondientes al escenario analizado en algún sector, se ha dado la situación de caudales simulados con Epanet 2.0 vE mayores que los datos de caudal inyectado a la entrada de un sector... No se ha podido calibrar el caudal fugado, tan solo se ha podido intentar ajustar caudales lo mejor posible para poder tener modelos que representen de la manera más fidedigna posible la situación real ajustándose a la información disponible.

Se ha diagnosticado una red sobredimensionada y sin problemas de tiempo de permanencia que puedan afectar a la calidad del agua. Se espera que con los modelos

confeccionados resulte provechoso y permita obtener importantes beneficios en la futura gestión de la red.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Instituto Nacional de Estadística (INE)*. [Consulta: 8 junio 2014]. Disponible en: <http://www.ine.es/>.
- [2] *Visualizador de Datos Espaciales (IDE) en la Confederación Hidrográfica del Júcar*. [Consulta: 29 mayo 2014]. Disponible en: <http://aps.chj.es/idejucar/>.
- [3] *Instituto valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA)*. [Consulta: 8 junio 2014]. Disponible en: <http://riegos.ivia.es/>.
- [4] Plan General de Ordenación Urbana de Puçol.
- [5] Manual de uso de GISRed.[Consulta : 8 julio 2014]. Disponible en: http://www.redhisp.upv.es/software/descargas/gisred/GISRed_Users_Manual.pdf
- [6] Cabrera Rochera, E.; Cabrera Marcet, E.; Arregui, F.; Cobacho R. “*Apuntes de la asignatura de gestión técnica de abastecimientos de agua urbanos sostenibles. Máster de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente*”. (2013).
- [7] López, A., López, G., Martínez, J., Y Pérez, R. (2005). *El Modelo de la red de distribución como herramienta de gestión y toma de decisiones: la importancia de la calibración del mismo*. Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia.
- [8] Martínez, F.J; Iglesias, P.L. “*Apuntes de la asignatura de Análisis y modelación de redes de abastecimiento de agua. Máster de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente*”. (2013).

- [9] *GENERALITAT VALENCIANA. CONSELLERIA D'INFRAESTRUCTURES, TERRITORI I MEDI AMBIENT.*
[Consulta: 29 mayo 2014]. Disponible en:
<http://www.cma.gva.es/web/indice.aspx?nodo=69935&idioma=C>.
- [10] Plan director de agua potable de Moncada (2012).
- [11] PVC y el agua. Sistemas de tuberías de PVC. [Consulta: 10 julio 2014]. Disponible en: http://www.cscae.com/area_tecnica/asetub/documentos/paginas/PVC%20y%20el%20agua%20May%2709.pdf
- [12] Documentación técnica sobre el abastecimiento de Puçol. Aguas de Valencia S.A.