



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

MODELADO DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE DE LA URBANIZACIÓN LOS MONASTERIOS (PUZOL)

AUTOR: BORJA FRANCÉS MARTÍNEZ

TUTOR: JAVIER SORIANO OLIVARES

COTUTOR: FÉLIX RAMÓN FRANCÉS GARCÍA

Curso Académico: 2017-18

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor Javier Soriano Olivares, el cual me ha ayudado y guiado durante toda la elaboración del presente trabajo.

También quiero dar las gracias al gerente de la urbanización Los Monasterios por proporcionarme toda información y datos posibles para la realización del trabajo.

Por último, quiero agradecer a mis amigos y familiares por todo su apoyo y ayuda durante la elaboración del TFG.

RESUMEN

Este TFG se centra en el análisis de la situación actual de funcionamiento de la de la red de suministro de agua potable de la urbanización de Los Monasterios, situada mayoritariamente en el término municipal de Puzol (Valencia), y el planteamiento de posibles actuaciones para mejorar su eficiencia y poder minimizar los fallos y pérdidas que se puedan estar generando actualmente. Para conseguir estos objetivos, la herramienta básica de trabajo ha sido el software EPANET 2.0.

La red de suministro de esta urbanización se caracteriza por disponer de tres fuentes posibles de suministro (2 pozos propios, la comunidad de regantes de la Costera y Aguas de Valencia), 3 depósitos en la red, 4 bombas, 12,44 km de tuberías (de las cuales el 67 % siguen siendo de fibrocemento), 6 válvulas de sector y 2 válvulas reductoras de presión. En todo el sistema existen grandes diferencias de cotas. Con la información de detalle obtenida fundamentalmente de la gerencia de la urbanización y con trabajo de campo, se ha implementado un modelo de red mediante el programa EPANET 2.0.

En los últimos tres años el agua producida en total por las fuentes de suministro ha sido de aproximadamente 480 mil m³/año. Sin embargo, el consumo es sensiblemente inferior, debido a unas pérdidas en el sistema del orden del 26%. Estas pérdidas son superiores a lo deseable. La mayor parte de los usuarios (413) son viviendas unifamiliares con parcelas de 1.000 m² y un fuerte consumo para riego de jardín. El grado de desocupación es del 26%. La estacionalidad del consumo es muy fuerte, siendo el consumo mínimo de invierno de unos 1.000 l/día y en verano de 4.000 l/día. La variabilidad entre estos usuarios es muy alta. Además, existen otros usuarios con curvas de demanda diferentes como son el Colegio El Hispano, el Club Social y un bloque de Apartamentos.

Se plantearon 2 escenarios de demandas correspondientes con la hora valle de invierno y la hora punta de verano. Los caudales se distribuyen de forma similar en ambos escenarios, siendo mayores lógicamente en el de verano. Las velocidades máximas son aceptables, pero las velocidades en la hora valle de invierno son relativamente bajas. Las pérdidas unitarias en general son aceptables, salvo en las tuberías más cercanas a los depósitos, donde superan de forma significativa los 5mca/km. Sin embargo, la red trabaja a presiones más altas de lo normal, con valores de presión en los nudos entre 30 y 70 mca debido a la irregularidad del terreno y a la diferencia de cotas respecto los depósitos y los nudos.

Las actuaciones de mejora propuestas se centraron en la colocación de 3 válvulas reductoras de presión adicionales situadas estratégicamente en la red para limitar las presiones máximas especialmente en las horas valle de invierno y la sustitución de algo más de 8 km de tuberías de fibrocemento por tuberías de polietileno. El coste total de estas dos actuaciones asciende a 653.059,22 euros.

ABSTRACT

This TFG focuses on the analysis of the current operating situation of the potable water supply network of the urbanization of Los Monasterios, located mostly in the municipality of Puzol (Valencia), and the definition of possible actions to improve its efficiency and to be able to minimize the failures and water losses that nowadays may be generated. To accomplish these objectives, the basic tool has been the EPANET 2.0 software.

The supply network of this urbanization is characterized by having three possible sources of supply (2 own wells, the irrigation community of the Costera and Aguas de Valencia), 3 deposits in the network, 4 pumps, 12.44 km of pipelines (of which 67% are still fiber cement), 6 sector valves and 2 pressure reducing valves. Within the system, there are large differences in altitude. With the detailed information obtained mainly from the manager of the urbanization and with fieldwork, a network model has been implemented using the EPANET 2.0 program.

In the last three years, the total water supply by the different sources has been approximately 480 thousand m³/year. However, the consumption is noticeably lower, due to system losses of the order of 26%. These losses are greater than desirable. The majority of the users (413) are single-family homes with plots of 1,000 m² and a large consumption for garden irrigation. The degree of vacant houses is 26%. The seasonality of the consumption is very strong, being the minimum winter consumption of about 1,000 l/day and in summer of 4,000 l/day. The variability between these users is very high. In addition, there are other users with different curves of demand such as Colegio El Hispano, the Social Club and a block of apartments.

Two scenarios of corresponding demands were raised with the winter valley hour and the summer peak time. The flows are distributed in a similar way in both scenarios, being greater logically in the summer one. The maximum speeds are acceptable, but the speeds in the winter valley hour are relatively low. Unit losses are generally acceptable, except for the pipes closest to the deposits, where they significantly exceed 5mca/km. However, the network works at higher pressures than normal, with pressure values in the nodes between 30 and 70 mca due to the irregularity of the terrain and the difference in levels with respect to the deposits and the nodes.

The proposed improvement actions focused on the placement of 3 additional pressure reducing valves strategically located in the network to limit the maximum pressures especially in the winter valley hours and the replacement of just over 8 km of fiber cement pipes with polyethylene pipes. The total cost of these two actions amounts to 653.059,22 euros.

RESUM

Este TFG se centra en l'anàlisi de la situació actual de funcionament de la de la xarxa de subministrament d'aigua potable de la urbanització Dels Monestirs, situada majoritàriament en el terme municipal de Puçol (València) , i el plantejament de possibles actuacions per a millorar la seua eficiència i poder minimitzar les fallades i pèrdues que actualment es puguen estar generant. Per a aconseguir estos objectius, la ferramenta bàsica de treball ha sigut el programari EPANET 2.0.

La xarxa de subministrament d'esta urbanització es caracteritza per disposar de tres fonts possibles de subministrament (2 pous propis, la comunitat de regants de la Costera i Aguas de Valencia), 3 depòsits en la xarxa, 4 bombes, 12,44 km de canonades (de les quals el 67 % continuen sent de fibrociment) , 6 vàlvules de sector i 2 vàlvules reductores de pressió. En tot el sistema hi ha grans diferències de cotes. Amb la informació de detall obtinguda fonamentalment de la gerència de la urbanització i amb treball de camp, s'ha implementat un model de xarxa per mitjà del programa EPANET 2.0.

En els últims tres anys l'aigua produïda en total per les fonts de subministrament ha sigut d'aproximadament 480 mil m³/any. No obstant això, el consum és sensiblement inferior, a causa d'unes pèrdues en el sistema de l'orde del 26%. Estes pèrdues són superiors al desitjable. La major part dels usuaris (413) són vivendes unifamiliars amb parcel·les de 1.000 m² i un fort consum per a reg de jardí. El grau de desocupació és del 26%. L'estacionalitat del consum és molt fort, sent el consum mínim d'hivern d'uns 1.000 l/dia i a l'estiu de 4.000 l/dia. La variabilitat entre estos usuaris és molt alta. A més hi ha altres usuaris amb corbes de demanda diferents com són el Col·legi L'Hispano, el Club Social i un bloc d'Apartaments.

Es van plantejar 2 escenaris de demandes corresponents amb l'hora vall d'hivern i l'hora punta d'estiu. Els cabals es distribuïxen de forma semblant en ambdós escenaris, sent majors lògicament en el d'estiu. Les velocitats màximes són acceptables, però les velocitats en l'hora vall d'hivern són relativament baixes. Les pèrdues unitàries en general són acceptables, excepte en les canonades més pròximes als depòsits, on superen de forma significativa els 5mca/km. No obstant això, la xarxa treballa a pressions més altes del normal, amb valors de pressió en els nucs entre 30 i 70 mca a causa de la irregularitat del terreny i a la diferència de cotes respecte els depòsits i els nucs.

Les actuacions de millora proposades es van centrar en la col·locació de 3 vàlvules reductores de pressió addicionals situades estratègicament en la xarxa per a limitar les pressions màximes especialment en les hores vall d'hivern i la substitució d'un poc més de 8 km de canonades de fibrociment per canonades de polietilè. El cost total d'estes dos actuacions ascendix a 653.059,22 euros.

DOCUMENTOS DEL PROYECTO

- **DOCUMENTO I: MEMORIA**
- **DOCUMENTO II: PRESUPUESTO**
- **DOCUMENTO III: PLANOS**

DOCUMENTO I:

MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 MOTIVACIÓN	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 ANTECEDENTES	2
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	4
2.1 LOCALIZACIÓN	4
2.2 DEMOGRAFÍA	5
2.3 INFRAESTRUCUTURA ACTUAL	6
2.3.1 Descripción del sistema	6
2.3.2 Fuentes de suministro de agua a la red	7
2.3.3 Depósitos	12
2.3.4 Grupos de presión	16
2.3.5 Tuberías	16
2.3.6 Válvulas	18
3. ELABORACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN	20
3.1 DATOS DE PARTIDA	20
3.2 TRAZADO DE LA RED	21
3.3 IMPORTACIÓN DEL FICHERO A EPANET	22
3.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS ELEMENTOS DE LA RED	24
3.4.1 Depósitos del modelo	24
3.4.2 Válvulas del modelo	25
3.4.3 Asignación de cotas	26
3.4.4 Diámetros y rugosidades de las tuberías	27
3.5 ESCENARIOS DE DEMANDA CONSIDERADOS	29
4. ANÁLISIS DE LA DEMANDA Y CARGA HIDRÁULICA DEL MODELO	31
4.1 BALANCE HÍDRICO EN LA RED	31
4.1.1 Volumen de agua inyectado	31
4.1.2 Volumen Registrado	32
4.1.3 Volumen de agua no registrado	33
4.2 ANÁLISIS DE LAS DEMANDAS DE LOS USUARIOS	35
4.2.1 Estratificación de los usuarios	36
4.2.2 Usuarios mayoritarios de la red. Usuarios tipo chalet	38
4.2.3 Grandes consumidores	43

5.	ANÁLISIS DINÁMICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED.....	49
5.1	TUBERÍAS	49
5.1.1	<i>Caudales</i>	49
5.1.2	<i>Velocidades</i>	51
5.1.3	<i>Pérdidas unitarias</i>	52
5.2	PRESIONES EN NUDOS	55
5.2.1	<i>Presiones de servicio a usuarios</i>	55
5.2.2	<i>Presiones en los nudos</i>	57
6.	MEDIDAS DE MEJORA	60
6.1	INSTALACIÓN DE VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN (VRP)	60
6.2	PLAN DE SUSTITUCIÓN DE TUBERÍAS DE FIBROCEMENTO (FC)	64
6.3	PRESUPUESTO DEL PROYECTO	66
7.	CONCLUSIONES.....	67
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS DEPÓSITOS GEMELOS.	13
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DEPÓSITO INTERMEDIO.	14
TABLA 3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL DEPÓSITO SUPERIOR.	15
TABLA 4. LONGITUD Y PORCENTAJE DE CADA MATERIAL INSTALADO EN LA RED.	17
TABLA 5. DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS EN FUNCIÓN DEL MATERIAL.	17
TABLA 6. CARACTERIZACIÓN DE LOS VOLÚMENES INYECTADOS EN LA RED.	32
TABLA 7. CARACTERIZACIÓN DE LOS VOLÚMENES REGISTRADOS EN LA RED.	33
TABLA 8. TARIFAS APLICADAS A LOS USUARIOS DE LA RED (* PARA UNA PARCELA DE 1.000 M ²).	35
TABLA 9. DEMANDAS BASE DE LAS PARCELAS PARA LOS DOS ESCENARIOS CONSIDERADOS EN SITUACIÓN ACTUAL.	39
TABLA 10. CURVA DE MODULACIÓN PARA PARCELAS EN EL ESCENARIO DE INVIERNO.	41
TABLA 11. MUESTRA ALEATORIA DE SUPERFICIES DE JARDÍN EN PARCELAS.	41
TABLA 12. CURVA DE MODULACIÓN PARA PARCELAS EN EL ESCENARIO DE VERANO.	42
TABLA 13. VOLÚMENES REGISTRADOS EN EL CLUB SOCIAL.	44
TABLA 14. DEMANDAS BASE DEL CLUB SOCIAL PARA LOS DOS ESCENARIOS CONSIDERADOS EN SITUACIÓN ACTUAL.	44
TABLA 15. CURVA DE MODULACIÓN PARA EL CLUB SOCIAL.	45
TABLA 16. VOLÚMENES REGISTRADOS EN EL COLEGIO EL HISPANO.	45
TABLA 17. DEMANDAS BASE DEL COLEGIO EL HISPANO PARA LOS DOS ESCENARIOS CONSIDERADOS EN SITUACIÓN ACTUAL.	45
TABLA 18. CURVA DE MODULACIÓN PARA EL COLEGIO EL HISPANO.	46
TABLA 19. VOLÚMENES REGISTRADOS EN EL BLOQUE DE APARTAMENTOS.	46
TABLA 20. DEMANDAS BASE DEL BLOQUE DE APARTAMENTOS PARA LOS DOS ESCENARIOS CONSIDERADOS EN SITUACIÓN ACTUAL.	47
TABLA 21. CURVA DE MODULACIÓN PARA EL BLOQUE DE APARTAMENTOS.	47
TABLA 22. RANGO DE CONSUMOS ACEPTABLES PARA PARCELAS.	48
TABLA 23. PARCELAS CONSIDERADAS COMO GRANDES CONSUMIDORES.	48
TABLA 24. DEMANDAS BASE INTRODUCIDAS EN EL MODELO.	49
TABLA 25. VELOCIDADES EN TUBERÍAS.	51
TABLA 26. PÉRDIDAS UNITARIAS EN TUBERÍAS.	53
TABLA 27. PRESIONES EN LOS NUDOS DE LA RED.	57
TABLA 28. PRESIONES OBTENIDAS CON LAS VÁLVULAS VRP1 Y VRP2.	60
TABLA 29. PRESIONES OBTENIDAS CON LAS VÁLVULAS VRP1, VRP2 Y VRP3.	61
TABLA 30. RELACIÓN DE DIÁMETROS DE TUBERÍAS DE FC A REMPLAZAR POR TUBERÍAS DE PE.	64
TABLA 31. LONGITUD DE CADA DIÁMETRO DE TUBERÍAS DE PE A INSTALAR.	64
TABLA 32. PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO (FUENTE: GOOGLE EARTH).....	4
FIGURA 2. LÍMITES ACTUALES DE LA URBANIZACIÓN DE LOS MONASTERIOS (FUENTE: GOOGLE EARTH).	5
FIGURA 3. ESQUEMA DE LAS DISTINTAS FASES DE LOS MONASTERIOS (ELABORADO A PARTIR DE GOOGLE MAPS).....	6
FIGURA 4. ESQUEMA DE LA RED DE SUMINISTRO DE LOS MONASTERIOS.....	7
FIGURA 5. FUENTES DE SUMINISTRO DE LOS MONASTERIOS.....	8
FIGURA 6. POZO DEL CAMPO DE GOLF.	8
FIGURA 7. POZO DE LA COLUMNA.	9
FIGURA 8. EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL AGUA EXTRAÍDA DEL POZO DEL CAMPO DE GOLF (M ³ CADA 2 MESES).	10
FIGURA 9. EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL AGUA EXTRAÍDA DEL POZO DE LA COLUMNA (M ³ CADA 2 MESES).....	10
FIGURA 10. EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL AGUA OBTENIDA DE LOS DOS POZOS PROPIOS (M ³ CADA 2 MESES).....	10
FIGURA 11. EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL AGUA OBTENIDA DEL POZO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES (M ³ CADA 2 MESES). .	11
FIGURA 12. . EVOLUCIÓN TEMPORAL DEL AGUA OBTENIDA DE AGUAS DE VALENCIA (M ³ CADA 2 MESES).	11
FIGURA 13. LOCALIZACIÓN DE LOS DEPÓSITOS (FUENTE: GOOGLE EARTH).	12
FIGURA 14. FOTOGRAFÍA DE LAS INSTALACIONES EXTERIORES DE LOS DEPÓSITOS GEMELOS.....	13
FIGURA 15. FOTOGRAFÍA DEL DEPÓSITO INTERMEDIO.....	14
FIGURA 16. FOTOGRAFÍA DEL DEPÓSITO SUPERIOR.	15
FIGURA 17. LOCALIZACIÓN DE LAS VÁLVULAS EXISTENTES EN LA RED: VÁLVULAS DE SECTOR (EN VERDE) Y LAS VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN (EN ROJO).....	19
FIGURA 18. PLANO CALLEJERO DE LA URBANIZACIÓN DE LOS MONASTERIOS.	20
FIGURA 19. PLANO DEL TRAZADO DE LA RED DE TUBERÍAS DE LOS MONASTERIOS (FUENTE: ESTUDIO DE AGUAS DE VALENCIA. 2001).....	21
FIGURA 20. TRAZADO DE LA RED DE SUMINISTRO EN AUTOCAD.....	22
FIGURA 21. CAMPOS SELECCIONADOS EN EPACAD.....	23
FIGURA 22. IMAGEN DEL TRAZADO DE LA RED DE TUBERÍAS EN EPANET SIN ASIGNACIÓN DE COTAS.	24
FIGURA 23. PARÁMETROS DE UNA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN.	25
FIGURA 24. PARÁMETROS VÁLVULAS DE SECCIONAMIENTO.....	25
FIGURA 25. ASIGNACIÓN DE COTAS (FUENTE: GOOGLE EARTH).....	26
FIGURA 26. COTAS ASIGNADAS EN EPANET.	27
FIGURA 27. DIÁMETROS DE LAS TUBERÍAS DE LA RED.	28
FIGURA 28. RUGOSIDADES DE LAS TUBERÍAS DE LA RED.	29
FIGURA 29. VARIACIÓN TEMPORAL DEL VOLUMEN BIMENSUAL INYECTADO EN LA RED (M ³).....	31
FIGURA 30. VARIACIÓN TEMPORAL DEL VOLUMEN REGISTRADO BIMENSUAL EN LA RED (M ³).	32
FIGURA 31. VARIACIÓN DE LAS PÉRDIDAS EN LA RED A LO LARGO DEL AÑO.	34
FIGURA 32. HISTOGRAMA DE LOS CONSUMOS DE ENERO-FEBRERO.	36
FIGURA 33. HISTOGRAMA DE CONSUMOS DE JULIO-AGOSTO.....	37
FIGURA 34. DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES DE LOS DOS ESCENARIOS.	38
FIGURA 35. OBTENCIÓN DE LA CURVA DE DEMANDA TIPO DE LAS PARCELAS EN VERANO.	42
FIGURA 36. CURVAS DE MODULACIÓN DE LA DEMANDA DE LAS PARCELAS PARA LOS DOS ESCENARIOS.	43
FIGURA 37. DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES EN INVIERNO (HORA VALLE).	50
FIGURA 38. DISTRIBUCIÓN DE CAUDALES EN VERANO (HORA PUNTA).....	50
FIGURA 39. DISTRIBUCIÓN DE VELOCIDADES EN TUBERÍAS PARA VERANO (HORA PUNTA).	52
FIGURA 40. DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDAS UNITARIAS EN TUBERÍAS PARA VERANO (HORA PUNTA).....	53
FIGURA 41. CURVA DE DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDAS UNITARIAS EN INVIERNO.	54

FIGURA 42. CURVA DE DISTRIBUCIÓN DE PÉRDIDAS UNITARIAS EN VERANO.	54
FIGURA 43. MAPA DE CONTORNO DE PRESIONES EN INVIERNO (HORA VALLE).....	56
FIGURA 44. MAPA DE CONTORNO DE PRESIONES EN VERANO (HORA PUNTA).	56
FIGURA 45. CURVA DE DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES EN INVIERNO (HORA VALLE).	57
FIGURA 46. DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES EN VERANO (HORA PUNTA).	57
FIGURA 47. PRESIONES EN LOS NUDOS DE LA RED EN INVIERNO	58
FIGURA 48. PRESIONES EN LOS NUDOS DE LA RED EN VERANO	59
FIGURA 49. LOCALIZACIÓN DE LAS NUEVAS VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN	61
FIGURA 50. DETALLE VRP1	62
FIGURA 51. DETALLE VRP2	62
FIGURA 52. DETALLE VRP3	62
FIGURA 53. MAPA DE CONTORNO DE PRESIONES SIN VRP.....	62
FIGURA 54. MAPA DE CONTORNO DE PRESIONES CON VRP1 Y VRP2.....	62
FIGURA 55. MAPA DE CONTORNO DE PRESIONES CON VRP1, VRP2 Y VRP3.....	62
FIGURA 56. PRESIONES EN LOS NUDOS DE LA RED CON LAS VÁLVULAS VRP1, VRP2 Y VRP3	63
FIGURA 57. PLAN DE SUSTITUCIÓN DE TUBERÍAS DE FC.....	65

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural de vital importancia en la sociedad, ya que aparte de ser un recurso esencial para nuestra existencia, está implementado en diversas actividades humanas, incluyendo el uso doméstico. En los últimos años se puede apreciar que ha habido un aumento de la demanda y los costes energéticos tanto en las fases de captación y tratamiento del agua como en la distribución de este recurso, lo que hace que sea más costoso en términos económicos. Por esta razón, desde hace ya unos años, se está intentando por un lado concienciar a la sociedad para que utilice este recurso tan preciado de manera razonable y compatible con el medio ambiente y, por otra parte, los gestores están siguiendo unos criterios de sostenibilidad para obtener sistemas de agua más eficientes, con mejores condiciones de servicio y con menos pérdidas.

Para conseguir estos objetivos en una red de suministro de agua potable ya existente, es fundamental disponer de información suficiente, a través de la recogida y análisis de datos, y el implementar un modelo matemático de simulación de redes como puede ser EPANET 2.0. De esta forma será posible obtener un buen diagnóstico, entender el comportamiento de la red de suministro y plantear y evaluar posibles cambios que permitan mejorar el funcionamiento.

Este estudio se centra en el análisis del suministro de agua potable de la urbanización de Los Monasterios, situada mayoritariamente en el término municipal de Puzol (Valencia). Esta urbanización es de tipo residencial y tiene una serie de características que hacen que su red de suministro de agua potable sea especialmente interesante. En primer lugar, la urbanización presenta fuertes diferencias de cotas, lo que a priori puede suponer que existan deficiencias en las presiones reales de suministro que expliquen la frecuencia excesiva de averías en el sistema. Y, en segundo lugar, el consumo mayoritario es para el riego de jardines particulares, que en verano pueden concentrar en pocas horas fuertes demandas de caudales y sobre el que existen muy pocos estudios previos en España.

1.1 Motivación

Una de las razones que me ha motivado a la realización de este trabajo fin de grado (en adelante también TFG) es que con este trabajo puede ayudar a analizar y mejorar el funcionamiento de una red de suministro de agua potable, como es el caso de la urbanización de Los Monasterios en Puzol. La gestión y mantenimiento de la red la realiza la propia gerencia de la urbanización, por lo que no cuenta con los conocimientos de ningún experto en este campo. Esta falta de conocimiento en temas hidráulicos por parte de gerencia de la urbanización puede conllevar a que no se estén tomando las medidas apropiadas para el mantenimiento de la red de suministro, y que cuando ocurra un fallo se tarde más en subsanarlo y no se pueda saber cómo actuar para que no se convierta en un problema sistémico.

Otra de las razones es que he podido utilizar los conocimientos obtenidos durante el Grado de Tecnologías Industriales, en especial lo aprendido en las asignaturas de Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, y los he puesto en práctica en un caso real que me afecta de manera directa como usuario. Es decir, podrá ser importante haber contribuido positivamente en mi entorno cercano.

Además, este trabajo fin de grado me ha servido para introducirme en el mundo laboral y entender cómo se resuelve los problemas fuera de un formato de examen en el que estamos acostumbrados en la universidad, ya que con este trabajo he necesitado estar en contacto con el gerente de la urbanización y reunirme con él de manera periódica, he utilizado una herramienta de cálculo actual como es EPANET 2.0 y, dentro de los condicionantes de un TFG, he resuelto un problema real de ingeniería.

1.2 Objetivos

Los principales objetivos de este trabajo son:

1. El análisis de la situación actual de funcionamiento de la de la red de suministro de agua potable de la urbanización de Los Monasterios, que constituye el capítulo 5 de este documento.
2. Como resultado del análisis anterior, el planteamiento de posibles actuaciones para mejorar su eficiencia y poder minimizar los fallos y pérdidas que se puedan estar generando. Estas actuaciones se recogen en el capítulo 6.

Para cumplir estos objetivos generales, previamente son necesarios los siguientes objetivos específicos:

1. El conocimiento de la red de suministro a partir de la información suministrada y obtenida con trabajo de campo, que se recoge en el capítulo siguiente, el 2.
2. La implementación de un modelo matemático de simulación de la red de distribución de agua potable definida en el objetivo anterior, lo que constituye el capítulo 3 de este documento. En este TFG se utilizará el software EPANET 2.0.
3. El análisis de las demandas, que se realiza en el capítulo 4, y que servirá de base para el planteamiento de los escenarios de demandas utilizados tanto en el análisis de la situación actual como para el planteamiento de soluciones.

El documento se cierra con un capítulo de conclusiones y tiene unos anejos de planos y presupuesto de apoyo a los objetivos generales.

1.3 Antecedentes

Como ya se ha indicado anteriormente, es la propia urbanización de Los Monasterios la que se responsabiliza de la gestión de su sistema de abastecimiento de agua potable. Desde la gerencia de la urbanización se encargan del mantenimiento de los depósitos, pozos, bombas, sistemas de cloración, válvulas y red de tuberías. Además, ellos mismos son los responsables de las lecturas de los contadores y de la facturación que se realiza bimensualmente. Aunque no forma parte de los objetivos de este trabajo fin de grado, hay que decir que también se ocupan de la calidad del agua proveniente de los pozos, para que cumplan con la legislación vigente, de la red de saneamiento y de la estación depuradora de aguas residuales.

Para la realización de este TFG se ha contado con el consentimiento y aprobación del gerente y de la junta directiva de la urbanización, los cuales se mostraron dispuestos a que se realizase el trabajo debido a que la urbanización no contaba con un modelo matemático de la red de suministro de agua potable y son claras las posibilidades de mejora del servicio.

La gerencia de la urbanización ha aportado los siguientes datos e información para la elaboración del presente trabajo:

- Plano en papel de la red de suministro de agua potable.
- Información de los elementos que forman parte del sistema (depósitos, bombas, tuberías, etc.).
- Datos referidos a los consumos de todas las parcelas de los últimos tres años.
- Descripción del funcionamiento de la red y de los depósitos.
- Datos históricos del consumo y facturación de la urbanización en los últimos tres años.

Igualmente se ha contado con la colaboración del gerente con el que se han tenido reuniones de forma periódica y ha ofrecido sus conocimientos para ayudar a que los resultados sean lo más precisos y semejantes a la realidad, y así en un futuro poder implementar este modelo en la urbanización.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

2.1 Localización

La urbanización de Los Monasterios se encuentra al norte de la provincia de Valencia, Comunitat Valenciana. Está situada a los pies de la Sierra Calderona, junto a las montañas de la Costera y el Picaio, a 6 km al oeste del casco urbano principal de Puzol y separado del mismo. Las coordenadas de localización son $39^{\circ} 38' 13,65''$ dirección norte y $0^{\circ} 20' 26,58''$ dirección oeste, con una altitud de unos 120 m respecto al nivel del mar (Figura 1).

La urbanización de Los Monasterios ocupa en la actualidad una superficie territorial de 92,7 Ha, siendo contigua a la urbanización de Alfinach (Figura 2). La urbanización realmente pertenece a dos municipios: Puzol y Sagunto. Inicialmente la urbanización pertenecía solamente al municipio de Puzol, pero las fases que se construyeron en el año 2007 ya pertenecen al municipio de Sagunto, también en la provincia de Valencia y cuyo núcleo urbano principal se encuentra a 9 km de Puzol en dirección norte.

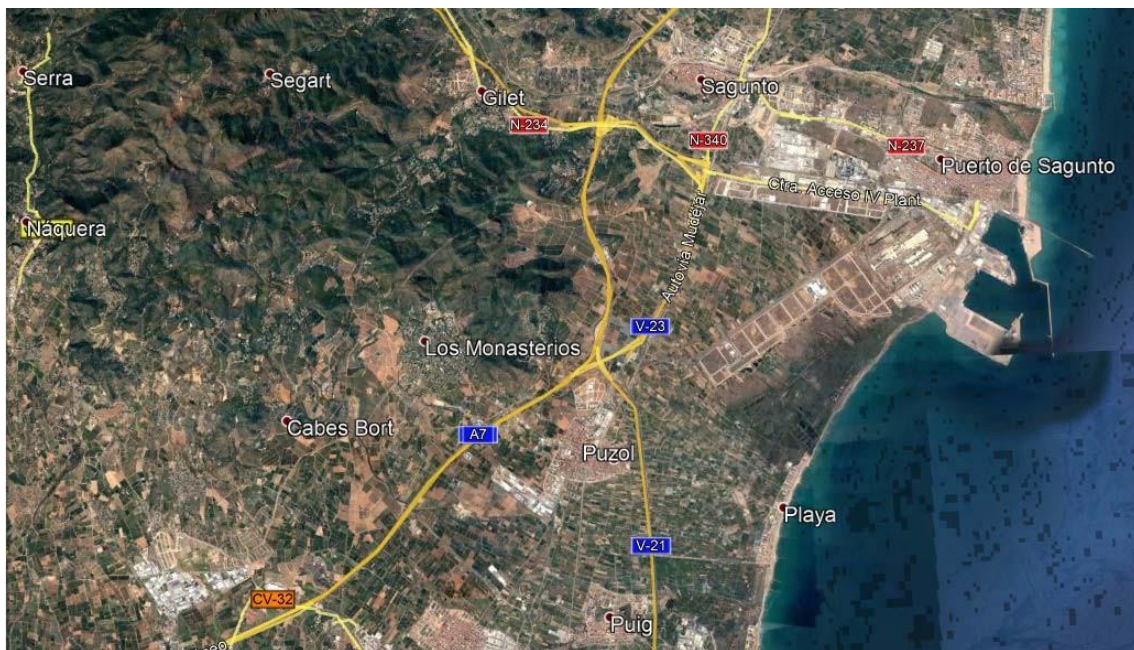


Figura 1. Localización general de la zona de estudio (fuente: Google Earth).



Figura 2. Límites actuales de la urbanización de Los Monasterios (fuente: Google Earth).

2.2 Demografía

No se ha podido obtener de los ayuntamientos de Puzol y Sagunto o en la base de datos del INE ningún dato relativo en cuanto al censo o a la evolución de la población en la urbanización de Los Monasterios exclusivamente. No obstante, sí que se puede hacer una estimación de cómo ha evolucionado su población desde sus inicios.

La urbanización de Los Monasterios se construyó en el año 1980 y más adelante se amplió la urbanización construyendo las fases 2, 3 y 4 (Figura 3). Esta fase inicial es la más grande de las cuatro y cuenta con 219 parcelas, de las cuales tan solo tres de ellas están desocupadas. Las obras para la construcción de la fase 2 se llevaron a cabo entre 1980 y 1990; dicha fase es la segunda más grande, ya que se hicieron 147 parcelas además de un bloque con 25 apartamentos, y actualmente, de ellas hay 13 parcelas que siguen sin haber sido edificadas. Las fases 3 y 4 se construyeron a la vez en el año 2007 y son las más pequeñas, cuentan con 45 parcelas cada y de dichas parcelas quedan 14 en la fase 3 y 12 en la fase 4 sin construir.

A día de hoy, hay 414 parcelas y el porcentaje de las cuales disponen de vivienda construida es del 90% aproximadamente. Los planes urbanísticos de los municipios de Puzol y Sagunto no prevén la construcción de ninguna fase nueva, lo que quiere decir que la población en Los Monasterios no va a aumentar significativamente en el futuro: sólo por la ocupación de las parcelas no edificadas.

En la siguiente figura se muestra la ubicación espacial de las cuatro fases de la urbanización:

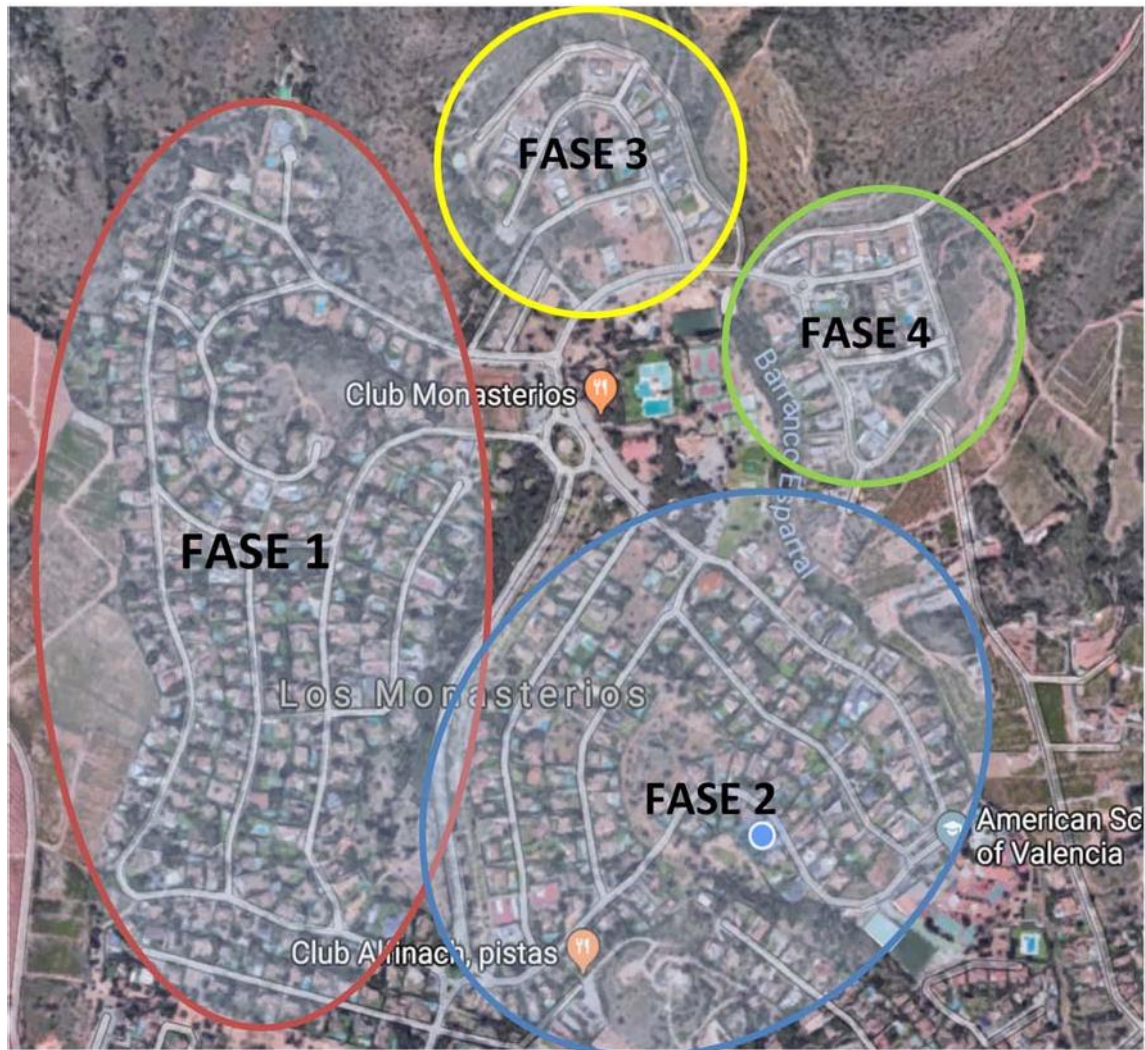


Figura 3. Esquema de las distintas fases de Los Monasterios (elaborado a partir de Google Maps).

2.3 Infraestructura actual

2.3.1 Descripción del sistema

El agua que se utiliza para abastecer la urbanización se califica legalmente como “agua de regadío apta para el consumo humano”, ya que está destinada al suministro doméstico y al riego. El agua de abastecimiento tiene tres orígenes diferenciados: suministrada en alta por la empresa Aguas de Valencia, suministrada por la comunidad de regantes de la Costera, y dos pozos propiedad de la urbanización (el pozo del “Campo de Golf” situado junto al barranco el Espartal y el pozo de la “Columna”).

La red de suministro de agua de la urbanización se divide en tres sectores independientes: sector Superior, sector Intermedio y sector Gemelos. Cada sector dispone de un depósito para abastecer a las parcelas pertenecientes a su sector. Además, los depósitos están comunicados entre sí para poder mantener el nivel del agua apropiado en función de la demanda.

De la misma forma, las redes de tuberías de los sectores están comunicadas mediante válvulas de paso que están normalmente cerradas. Estas válvulas tan solo se abren en el caso en el que algún depósito haya quedado fuera de servicio, ya sea por una avería o por que tenga que realizar tareas de mantenimiento o limpieza, y para no dejar aislado sin abastecimiento de agua al sector. Además, hay dos válvulas reductoras de presión en dos puntos estratégicos de la red para que la presión en los nudos no sea excesiva.

En la Figura 4 muestra una representación simplificada de la red de suministro, en la cual se observan los tres sectores con sus depósitos y cómo están conectados entre ellos.

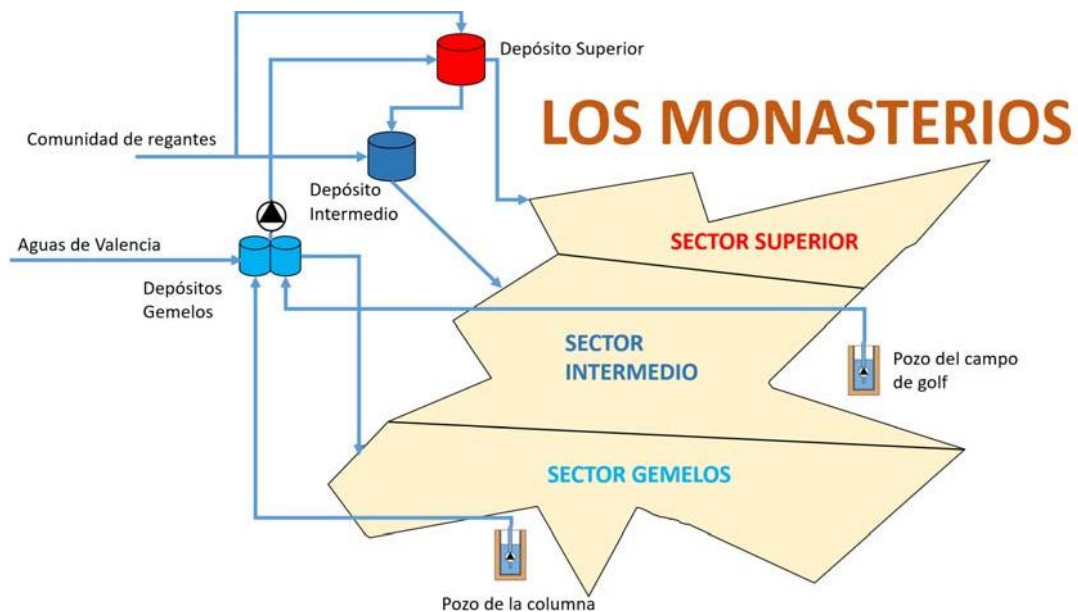


Figura 4. Esquema de la red de suministro de Los Monasterios.

2.3.2 Fuentes de suministro de agua a la red

Como ya se ha mencionado en el apartado anterior, la urbanización se abastece de agua de tres formas distintas: Aguas de Valencia, la comunidad de regantes de la Costera y los 2 pozos propios. En los últimos tres años el agua producida en total por las fuentes de suministro ha sido de aproximadamente 480 mil m³/año. La Figura 5 muestra en proporción el volumen de agua total que se le ha suministrado a la urbanización en estos últimos tres años. Se puede observar que en este período del pozo de la comunidad de regantes de la Costera es la fuente principal que abastece la urbanización (53%), seguido de los pozos propios (30%), mientras que Aguas de Valencia ha aportado un menor volumen a la red (13%). En realidad, es una situación habitual que Aguas de Valencia sea el menor suministrador, dado su mayor precio respecto de las otras dos fuentes posibles.

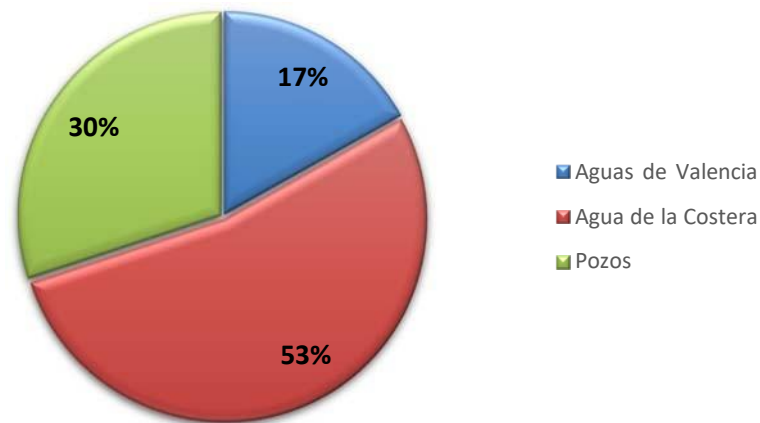


Figura 5. Fuentes de suministro de Los Monasterios.

2.3.2.1 Pozos propios

Los pozos subterráneos es un recurso de abastecimiento de agua propio de la urbanización. El agua que se obtiene de ellos cumple con los requisitos legales para que sea apta para el consumo humano y tiene la calidad suficiente para que se pueda mezclar en los depósitos con el agua obtenida de Aguas de Valencia y de la comunidad de regantes. La urbanización cuenta con los siguientes dos pozos:

- Pozo Campo de Golf

Los Monasterios cuenta con un pequeño pozo situado junta al campo de golf del club social que bombea agua a los depósitos Gemelos por una tubería de PVC de 110 mm de diámetro. El agua se bombea a los depósitos Gemelos mediante una bomba marca ATURIA de 75 CV de potencia.



Figura 6. Pozo del Campo de Golf.

- Pozo de la Columna

Este pozo se encuentra en una arboleda cerca de la entrada a la urbanización próximo a la Avenida Mare Nostrum. Igual que el pozo del Campo de Golf, éste también bombea el agua a los depósitos Gemelos y lo hace a través de una tubería de PVC de 80 mm de diámetro y una longitud de 723 m. Para suministrar el agua a los depósitos utiliza una bomba Euler de 100 CV de potencia.



Figura 7. Pozo de la Columna.

Estos pozos obtienen el agua del subálveo del pie de la Sierra Calderona, y que está relacionado con los barrancos del Puig y del Espartal que se encuentran en las cercanías de la urbanización. La cantidad que se suministra a los depósitos es mayor desde el pozo del Campo de Golf, siendo aproximadamente $2/3$ del total suministrado a los depósitos desde ambos pozos.

En los siguientes gráficos (Figura 8, Figura 9 y Figura 10) se muestra el volumen de agua aportado bimestralmente a los depósitos por los pozos del Campo de Golf, de la Columna y en total, a lo largo del año y desde el 2015 hasta el 2017:

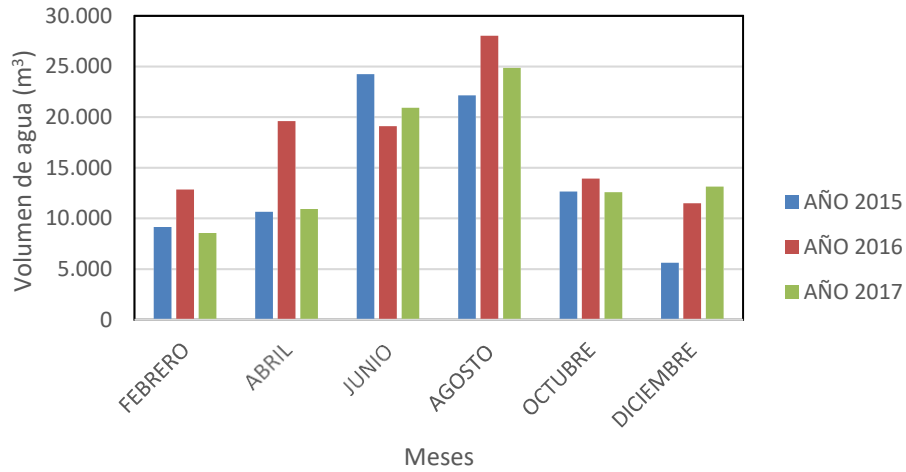


Figura 8. Evolución temporal del agua extraída del pozo del Campo de Golf (m³ cada 2 meses).

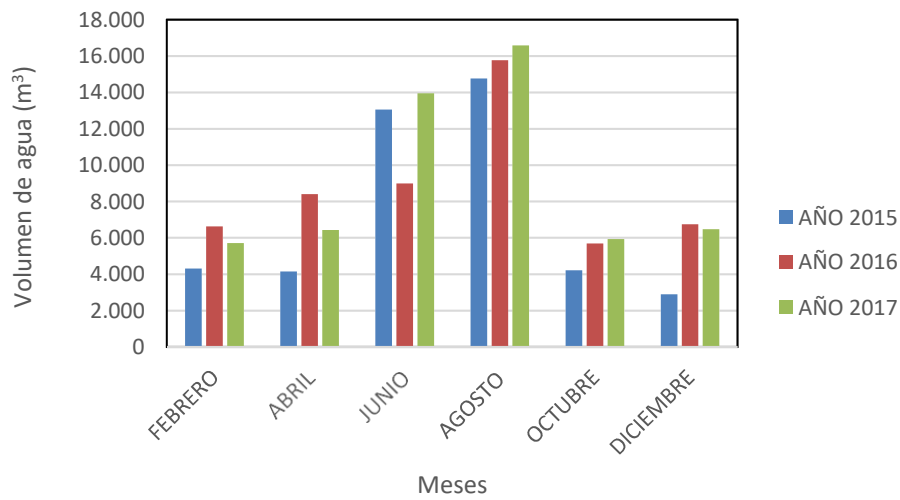


Figura 9. Evolución temporal del agua extraída del pozo de la Columna (m³ cada 2 meses).

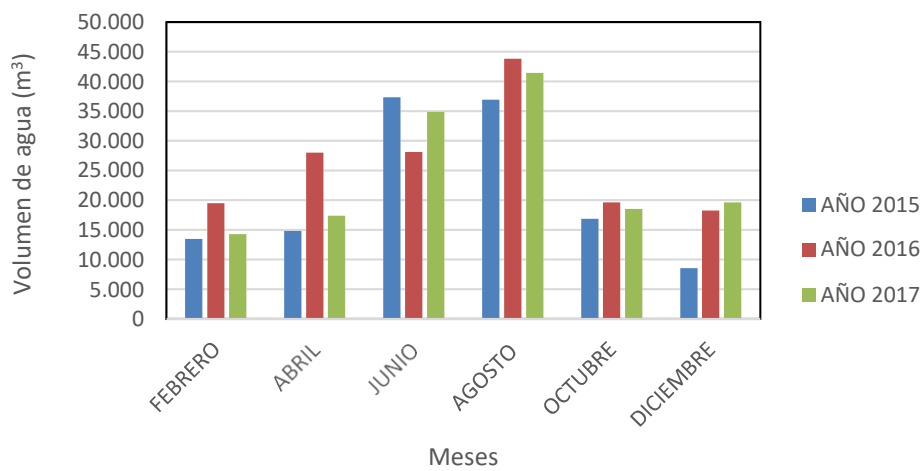


Figura 10. Evolución temporal del agua obtenida de los dos pozos propios (m³ cada 2 meses).

2.3.2.2 Comunidad de Regantes de la Costera

Los Monasterios también se abastece de la comunidad de regantes de la Costera, proporcionando el pozo de esta comunidad un mayor volumen de agua a su sistema de abastecimiento que el aportado por las otras fuentes. El volumen de agua se suministra a los depósitos Intermedio y Superior a través de una tubería de PVC que se bifurca en dos al llegar a los depósitos. A la entrada del depósito Intermedio hay una válvula de cierre automático para controlar el volumen de agua que se suministra a cada depósito. En la Figura 11 se muestra como varía el agua obtenida de la comunidad de regantes.

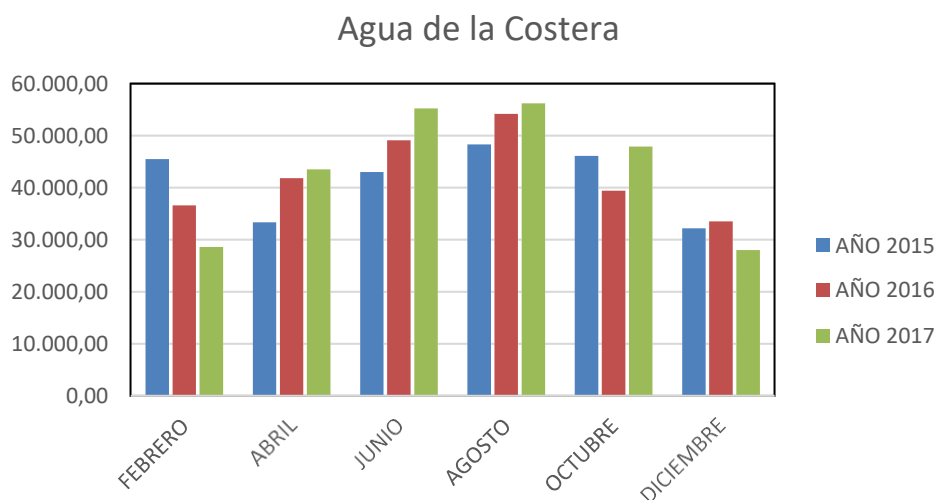


Figura 11. Evolución temporal del agua obtenida del pozo de la comunidad de regantes (m³ cada 2 meses).

2.3.2.3 Aguas de Valencia

El tercer elemento de abastecimiento de los depósitos es la compra directa de agua a la empresa Aguas de Valencia, no obstante es el que menor volumen de agua aporta al sistema. Esta agua se suministra directamente a los depósitos Gemelos y se caracteriza como “agua potable para uso doméstico”. En la siguiente figura se puede ver el volumen de agua a lo largo del año comprado a Aguas de Valencia de los últimos tres años.

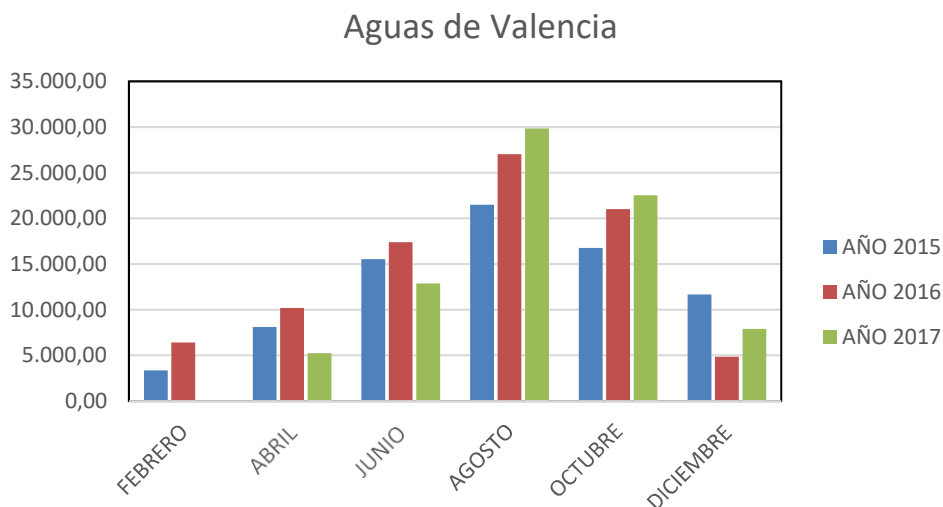


Figura 12. . Evolución temporal del agua obtenida de Aguas de Valencia (m³ cada 2 meses).

2.3.3 Depósitos

La red consta de cuatro depósitos (uno de ellos duplicado y que se denomina Gemelos) para almacenar y regular todo el agua que se suministra a las parcelas y están conectados entre si. Sin embargo, cada depósito suministra a un sector diferente. Inicialmente la urbanización contaba únicamente con tres depósitos: Superior y Gemelos. El cuarto depósito, denominado Intermedio, se construyó en el año 2007 durante la construcción de la fase nueva para abastecer a las nuevas parcelas. A continuación se describen de forma más detallada cada uno de los depósitos con los que cuenta la red de suministro.



Figura 13. Localización de los depósitos (fuente: Google Earth).

2.3.3.1 Depósitos Gemelos

Son dos depósitos enterrados, de sección rectangular y semejantes situados uno al lado del otro, que funcionan como si fueran uno solo. De todos los depósitos de la red, son los que se encuentra a menor cota, exactamente a 147 m sobre el nivel del mar. Se encargan de abastecer a la parte inferior de la urbanización. Las parcelas que pertenecen a este sector, 121 usuarios, se encuentran en la zona inferior de la urbanización y a cotas comprendidas entre 126 m y 103 m. El agua que se le suministra proviene de los pozos propios mayoritariamente, y de Aguas de Valencia. Este depósito está conectado con el depósito Superior (que se encuentra a mayor cota) y le bombea agua mediante dos bombas, una en cada depósito. Estas bombas funcionan cuando el nivel de los depósitos Gemelos alcanza el nivel máximo permitido, o bien cuando hay suficiente agua en este depósito y el nivel de agua en el depósito Superior está cerca del mínimo. En la Tabla 1 se detallan las características principales de estos depósitos Gemelos.

Características Depósitos Gemelos			
Cord. Norte	39°38,25'25,78''	Nivel Rebosadero (m)	4,86
Cord. Oeste	0°20'28,19''	Vol. Rebosadero (m3)	880
Cota solera (m)	147	Vol. Max. (m3)	870
Nivel Máximo (m)	5,5	Vol. Min. (m3)	50

Tabla 1. Características generales de los depósitos Gemelos.



Figura 14. Fotografía de las instalaciones exteriores de los depósitos Gemelos.

2.3.3.2 Depósito Intermedio

El depósito Intermedio es de sección circular, es el más grande y se encuentra a 193 m de altura respecto al nivel del mar. Suministra agua a 198 usuarios que se localizan en la zona intermedia de la urbanización. Este depósito recibe agua directamente de la comunidad de regantes de la Costera y tiene una válvula de cierre automático en la tubería de agua proveniente de la Costera que regula el agua que entra a él. Además, puede recibir agua del depósito Superior, que se encuentra a una cota mayor, cuando se necesita aumentar el nivel de agua para disponer de una mayor reserva. Las características generales del depósito Intermedio aparecen en la Tabla 2.

Características Depósito Intermedio			
Cord. Norte	39°38'33,44''	Nivel Rebosadero (m)	5,07
Cord. Oeste	0°20'26,86''	Vol. Rebosadero (m3)	1000
Cota solera (m)	193	Vol. Max. (m3)	900
Nivel Máximo (m)	5,07	Vol. Min. (m3)	75

Tabla 2. Características generales del depósito Intermedio.



Figura 15. Fotografía del depósito Intermedio.

2.3.3.3 Depósito Superior

Este depósito, también de sección circular, es el que se encuentra a una mayor cota: su emplazamiento está a 212 m sobre el nivel del mar. Suministra agua a las parcelas en la zona más elevada dentro de la urbanización, a cotas entre 182 y 144 m. Recibe agua de dos fuentes, siendo la principal fuente de suministro del depósito Superior la comunidad de regantes de la Costera, a través de una tubería de 150 mm de diámetro. También está conectado con los depósitos Gemelos mediante una tubería de diámetro 500 mm y longitud 284 m. Cuando este depósito tiene un bajo nivel de agua y los depósitos Gemelos tienen más agua de la que necesitan, se bombea agua desde los Gemelos hacia el Superior. Además, el depósito Superior e Intermedio están conectados por una tubería de 250 mm de diámetro y 55 m de longitud, cuando el Intermedio necesita agua y el Superior tiene un nivel de agua próximo al máximo le abastece del agua necesaria para que ambos puedan suministrar el agua que se les demanda.

Características Depósito Superior

Cord. Norte	39°38'35,39''	Altura Rebosadero (m)	4,96
Cord. Oeste	0°20'28,08''	Vol. Rebosadero (m3)	896
Cota (m)	212	Vol. Max. (m3)	870
Nivel Máximo (m)	5,54	Vol. Min. (m3)	400

Tabla 3. Características generales del depósito Superior.



Figura 16. Fotografía del depósito Superior.

2.3.4 Grupos de presión

La instalación de la urbanización cuenta con cuatro bombas: dos bombas en los depósitos Gemelos, una en el pozo del Campo de Golf y la cuarta en el pozo de la Columna. En los depósitos Gemelos hay una bomba por depósito que se emplean para llevar el agua al depósito Superior cuando sea necesario, las dos bombas no pueden funcionar a la vez ya que se encuentran en funcionamiento alterno. Cada pozo también bombea agua a los depósitos Gemelos por tuberías totalmente independientes.

En la elaboración del modelo de simulación no se implementan los grupos de bombeo, ya que como se ha comentado, no presurizan ninguna zona de suministro, sino que se utilizan para impulsar agua de un sector a otro en función de las necesidades de cada momento.

2.3.5 Tuberías

Las tuberías son los elementos encargados de transportar y distribuir el agua a lo largo de la red para que llegue a todos los usuarios. La red de tuberías de Los Monasterios está formada por 12,44 km de tuberías en total, de los cuales aproximadamente 3 km pertenecen al sector Superior, 6,2 km al sector Intermedio y 3,3 km al sector Gemelos.

Actualmente el sistema de abastecimiento está formado por tuberías de tres materiales diferentes: fibrocemento (FC), PVC y polietileno de alta densidad (PE). El material que más predomina en la red es el fibrocemento, en concreto un 67,41 %. El fibrocemento está compuesto de amianto, por lo que las tuberías de este material pueden llegar a ser perjudiciales para la salud a lo largo del tiempo. Por este motivo, la directiva europea 2003/18/CE y el Real Decreto 140/2003 prohíben la instalación de sistemas de distribución de agua potable para el consumo humano que pongan en riesgo la salud de los consumidores, en este caso el fibrocemento, pero no obliga a cambiarlas en el caso de que ya estén instaladas. Ésta es la razón por la cual hay tantos metros de tubería de fibrocemento, debido a que cuando se construyeron las fases 1 y 2 entre 1980 y 1990 se desconocía la peligrosidad de este material y la ley no había entrado en vigor.

El segundo tipo de tuberías más utilizado son las tuberías de PVC, con un 28,92%. Este material se utilizó para la construcción de la red de abastecimiento de las fases 3 y 4 en el año 2007, una vez ya había entrado en vigor las leyes citadas anteriormente. Por último, también se han utilizado tuberías de polietileno, pero en mucha menor medida ya que tan solo el 3,67% de las tuberías de todo el sistema son de este material. Estas tuberías se encuentran en dos tramos del sector Intermedio y sustituyeron a tuberías de fibrocemento que habían sido dañadas.

La Tabla 4 adjunta muestra las longitudes de tubería instaladas en cada uno de los sectores y en toda la urbanización en función del material.

Material	Sector Gemelos (m)	Sector Superior (m)	Sector Intermedio (m)	TOTAL (m)	Porcentaje Instalado (%)
FC	3.006	4.038	1.343	8.387	67,41
PVC	294	1.655	1.649	3.598	28,92
PE	0	457	0	457	3,67
TOTAL (m)	3.300	6.150	2.992	12.442	

Tabla 4. Longitud y porcentaje de cada material instalado en la red.

Para obtener los diámetros interiores de las tuberías de polietileno se ha utilizado la serie PE 100-Flexipol (MAS, 2009). En el caso de las tuberías de PVC se les ha designado los diámetros interiores que recoge la norma UNE-EN 145 (Martiriales FRANS BONHOMME, 2017).

En la Tabla 5 se detallan los distintos materiales y diámetros de todas las tuberías que forman parte del sistema de abastecimiento, además de los valores de rugosidad considerados. Si bien el coeficiente de rugosidad comúnmente utilizado en modelos suele ser de 0,1 mm, en el presente trabajo se han utilizado diferentes valores para atender a la mayor o menor influencia sobre las pérdidas de carga, y para conocer la disposición de los diferentes materiales en las diferentes zonas de la red.

Material	Diámetro Nominal (mm)	Diámetro Interior (mm)	Rugosidad (mm)
FC	100	100	0,10
FC	110	110	
FC	160	160	
FC	300	300	
FC	500	500	
PE	110	96,8	0,05
PE	160	130,8	
PE	200	176,2	
PVC	90	81,4	0,04
PVC	110	101,6	
PVC	160	147,6	

Tabla 5. Diámetros de las tuberías en función del material.

2.3.6 Válvulas

Las válvulas son elementos que permiten controlar el flujo de fluidos que circula por su interior, en nuestro caso, agua potable. En toda la red de suministro de la urbanización hay dos tipos de válvulas instaladas: válvulas de cierre (o sector) y válvulas reductoras de presión.

2.3.6.1 Válvulas Reductoras de Presión

La red de abastecimiento trabaja con altas presiones, concretamente con presiones entre 30 y 70 mca, y lo habitual es que se encontraran en el rango de 20-50 mca. Como se está trabajando con presiones más altas de lo normal, en la red se instalaron 2 válvulas reductoras de presión, pero aun así hay varios puntos, los cuales analizaremos más adelante de manera detallada, donde la presión sigue siendo alta.

2.3.6.2 Válvulas de sector

Como ya se ha comentado anteriormente, toda la red se divide en tres sectores y cada sector cuenta con su propia red de tuberías para suministrar agua potable a las parcelas correspondientes. No obstante, los tres sectores están comunicados entre sí en distintos puntos de la red. Las tuberías de los sectores diferentes se comunican entre ellas a través de válvulas de cierre colocadas en 6 puntos estratégicos, las cuales permiten que se siga suministrando agua las parcelas correspondientes a un sector del cual su depósito se encuentra fuera de funcionamiento. Estas válvulas están normalmente cerradas y tan solo se abren en el caso de que falle un depósito. Por tanto, estas válvulas en particular se pueden designar como válvulas de sector.

Dentro de este grupo también se incluirían también todas las válvulas que normalmente se encuentran abiertas, y que permiten interrumpir el suministro para tareas de mantenimiento. Para facilitar el manejo del modelo, estas válvulas no se han incluido en el modelo de simulación.

En la Figura 17 se pueden localizar las válvulas de sector y las válvulas reductoras de presión.

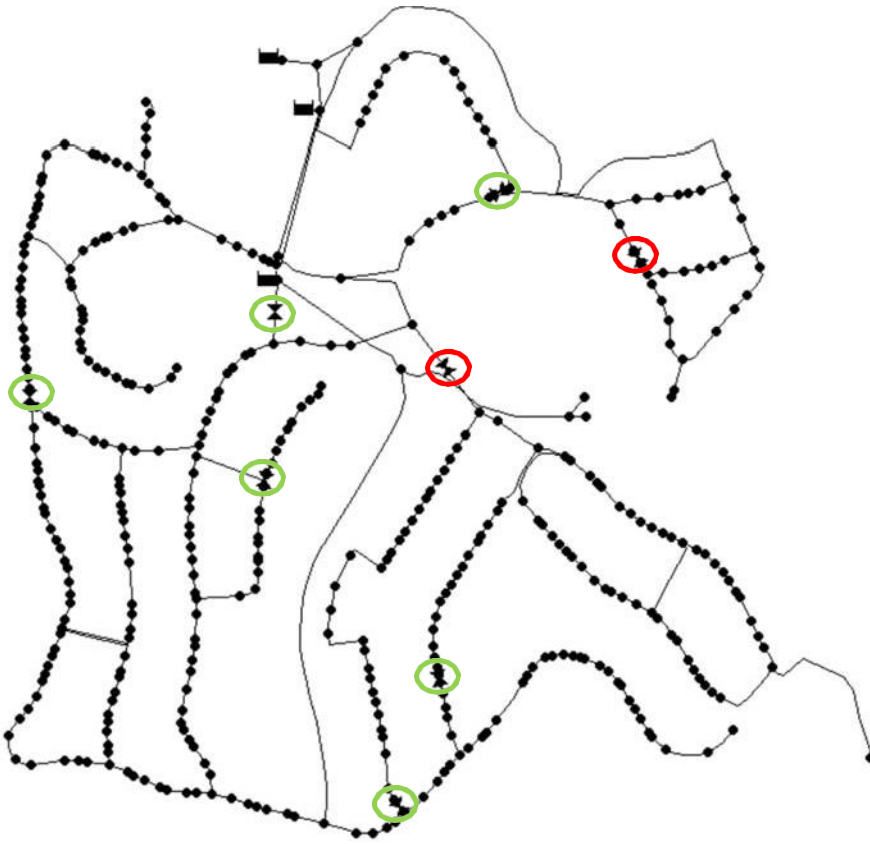


Figura 17. Localización de las válvulas existentes en la red: válvulas de sector (en verde) y las válvulas reductoras de presión (en rojo).

3. ELABORACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Para la simulación del modelo matemático de la red de suministro de agua potable de la urbanización Los Monasterios se ha utilizado el programa EPANET 2.0. Se trata de un software libre, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de EEUU desde los años 70 del siglo pasado. Este programa, entre otras posibilidades, permite diseñar modelos matemáticos para sistemas de distribución de agua con el fin de analizar su comportamiento y detectar posibles deficiencias en su funcionamiento que puedan ser modificadas o corregidas y mejorar su funcionamiento.

En este capítulo se va a describir el desarrollo paso a paso que se ha seguido para conseguir la elaboración del modelo de simulación.

3.1 Datos de partida

Como primer dato de partida se ha contado con el plano callejero de la urbanización en formato AutoCAD, como se muestra en la Figura 18. Dicho plano se ha obtenido al juntar los planos callejeros de los municipios de Puzol y Sagunto, ya que la urbanización pertenece a ambos municipios, como se ha visto anteriormente en el apartado 2.1. Dicho plano CAD no dispone de información sobre la red de suministro de agua potable.



Figura 18. Plano callejero de la urbanización de Los Monasterios.

Para la representación de la distribución de las tuberías de la red de suministro, se contó con la ayuda de un plano en papel, Figura 19, que se obtuvo de un estudio realizado por Aguas de Valencia en el año 2001. No obstante, en el citado plano se han realizado ciertas modificaciones que han sido tomadas en cuenta para la elaboración de la red, con el fin de conseguir un modelo más próximo a la red actual.

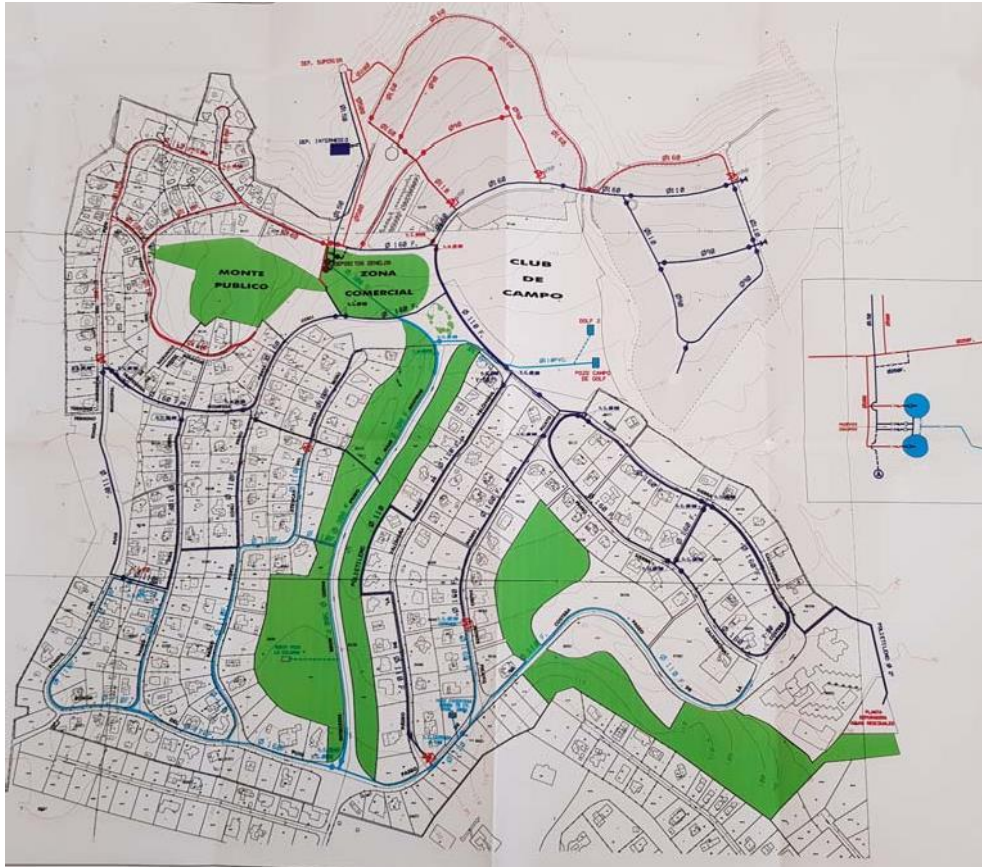


Figura 19. Plano del trazado de la red de tuberías de Los Monasterios (Fuente: Estudio de Aguas de Valencia. 2001).

3.2 Trazado de la Red

Con la ayuda de estos dos planos descritos anteriormente (Figura 18 y Figura 19), se consiguió obtener un trazado de la red digitalizado de todo el sistema en AUTOCAD. Para ello y en primer lugar, se han creado en AUTOCAD tres “capas” nuevas sobre el plano callejero de la urbanización, una por cada sector de la red, y en cada capa se ha realizado el trazado de la red de tuberías. Para diferenciar los sectores entre sí, se ha seguido la siguiente representación por colores: el sector perteneciente al depósito Superior corresponde con las tuberías trazadas en rojo, el sector del depósito Intermedio corresponde a las tuberías de color azul y el sector de los depósitos Gemelos corresponden con las tuberías representadas en cian.

Para el trazado de las tuberías se ha utilizado la herramienta “polilínea” para la realización del trazado, ya que ésta solo reconoce como nudos el nudo inicial y el nudo final de la línea. En el diseño del trazado se ha aplicado el criterio de añadir un nudo a cada parcela, por lo que al final

del diseño se obtuvo el mismo número de parcelas que de nudos. La excepción ha sido el bloque de apartamentos, a los cuales se les ha asignado un único nudo para todo el bloque ya que tienen un mismo comportamiento y, además, el consumo de cada apartamento es inferior al de una parcela.

Como ya se ha mencionado, se ha seguido el criterio de asignar un nudo a cada parcela y la razón por la cual se ha tomado esta decisión ha sido para luego en poder asignar una cota en función de su altura respecto al nivel del mar a cada nudo, debido a que Los Monasterios se encuentra en una zona de montaña que se caracteriza por su irregularidad en cuanto a la topografía. Además, estos nudos servirán para poder asignar las demandas base a cada nudo, ya sea la demanda individual de cada usuario o una demanda base común. Así mismo pueden servir de ayuda para ver la evolución de las presiones en cada uno de los usuarios de la urbanización. En la Figura 20 se muestra el plano obtenido del trazado de la red de tuberías de los Monasterios.

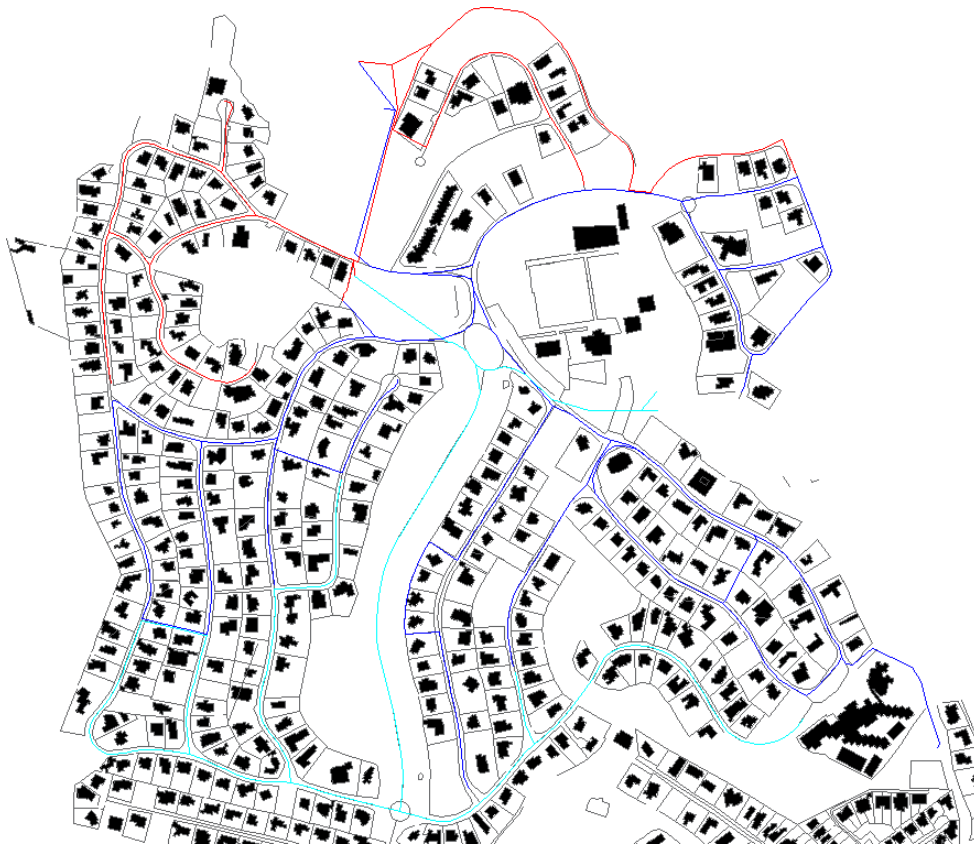


Figura 20. Trazado de la red de suministro en AutoCAD.

3.3 Importación del fichero a EPANET

El fichero de AutoCAD, con la representación del trazado de la red de tuberías y del plano callejero de Los Monasterios, es un fichero con formato *.dxf*, el cual no puede ser importado directamente a EPANET. Primero hay que realizar la conversión del archivo *.dxf* a un archivo con formato *.inp*. Para ello se utiliza el programa EpaCAD el cual convierte las líneas y puntos del fichero de AutoCAD en tuberías y nudos en EPANET. Dicho programa permite seleccionar qué

capas se desean importar a EPANET, en el caso de este proyecto se seleccionaron únicamente las capas del trazado de las tuberías, es decir las capas SECTOR DE PRESION DEP. SUPERIOR, SECTOR DE PRESION NUEVO DEP. INTERMEDIO y SECTOR DE PRESION DEP. GEMELOS.

Para realizar la conversión del fichero, el programa da dos opciones: *Vertex Mode* y *Nodes Mode*. El *Vertex Mode* asigna únicamente un nudo al punto inicial y final de la línea o polilínea representada, por lo que cuando dichas líneas cambien de dirección no se les asignara un nudo a dicho puntos. En cambio, el *Nodes Mode* asigna un nudo a cada punto en el trazado en el cual exista un cambio de dirección, lo que lleva que al final hayan mas nudos de los que son estrictamente necesarios.

EpaCAD también ofrece la herramienta *Connection tolerance* la cual permite corregir de forma automática los errores debidos a imprecisiones en la conectividad del trazado de las tuberías. En el diseño que se a importado a EPANET se ha seleccionado esta opción que nos ofrece el programa y se a utilizado una tolerancia de 0,1, lo que quiere decir que los nudos que esten a una distancia igual menor a 0,1 metros EpaCAD los unira en un mismo nudo. En la Figura 21 se muestra la herramienta utilizada para crear el fichero el cual pueda ser abierto por EPANET.

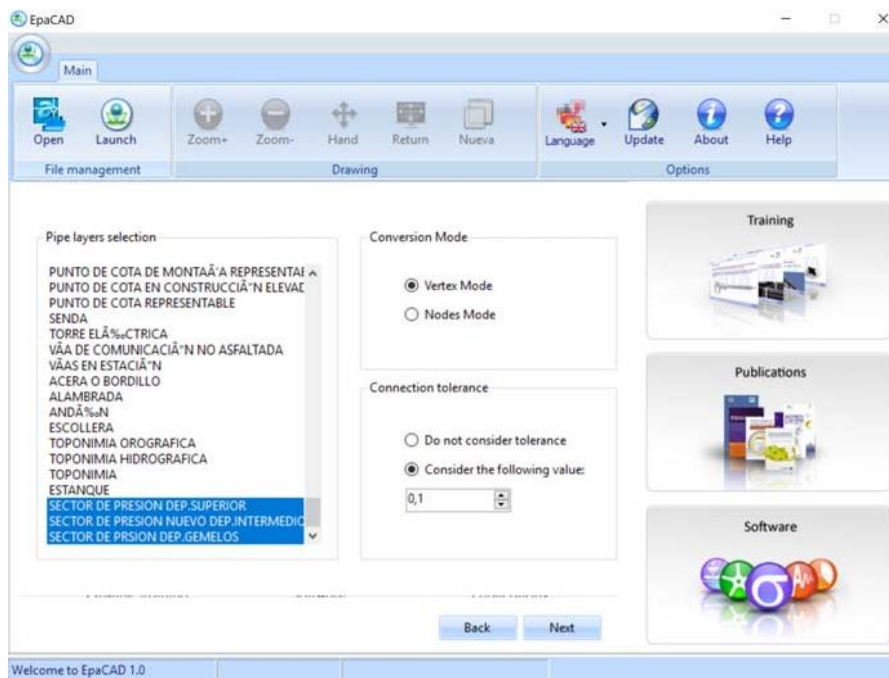


Figura 21. Campos seleccionados en EpaCAD.

Por último, se ha exportado el fichero a EPANET, el cual ha representado el trazado de la red de tuberías de Los Monasterios sin ningún error en cuanto a la conectividad de los nudos y se ha representado el mismo número de nudos que parcelas abonadas a la red de suministro de la urbanización. Además, para obtener una representación más visual de la red, se ha cargado un mapa de fondo del plano callejero de Los Monasterios (que se mostró en la Figura 18). En la Figura 22 se observa el resultado final al haber exportado el trazado de tuberías a EPANET.



Figura 22. Imagen del trazado de la red de tuberías en EPANET sin asignación de cotas.

3.4 Caracterización de los elementos de la red

Después de haber cargado el fichero en EPANET se ha obtenido una red con 414 nudos (uno por cada parcela) y 416 conexiones. Sin embargo, el modelo obtenido aún no se aproxima a la realidad debido a que todavía faltan por introducir las cotas de los nudos y los diámetros de las tuberías, así como otros parámetros y elementos que forman parte del sistema. En los siguientes puntos se muestran cómo se han introducido estos parámetros con el propósito de obtener el modelo real de la red de suministro de Los Monasterios.

3.4.1 Depósitos del modelo

Para introducir los depósitos en el modelo se ha optado por utilizar “embalses”, los cuales se caracterizan por ser fuentes de agua inagotables, es decir, su nivel de agua permanece constante durante toda la simulación. La razón por la cual se han utilizado embalses en vez de depósitos es porque a pesar de contar con datos geométricos de los depósitos, no se dispone de los datos necesarios para ver como varían los volúmenes dentro de los mismos ni sus reglas de operación o consignas concretas. Al utilizar embalses en lugar de depósitos se está simplificando el sistema ya que solo es necesario introducir la cota de la lámina de agua del mismo. Respecto a los resultados que se van a obtener en el modelo, se podría decir que este cambio no supone un factor determinante debido a que no afecta los valores que se obtengan en la simulación de los nudos y tuberías de la red.

3.4.2 Válvulas del modelo

Como se ha visto anteriormente, en la urbanización hay dos tipos de válvulas que se van a introducir en el modelo y que se localizan en la Figura 17.

En primer lugar, se introducen las dos válvulas reductoras de presión en sus respectivas localizaciones, las cuales tienen las mismas características. A ambas válvulas se les han introducido los siguientes parámetros: diámetro, tipo de válvula y consigna (que es el valor de la presión que habrá justo aguas abajo de la válvula cuando ésta se encuentra regulando). En la siguiente figura se muestran las propiedades básicas de una de las válvulas modeladas en EPANET.

Propiedad	Valor
*ID Válvula	11
*Nudo Aguas Arriba	n222
*Nudo Aguas Abajo	n223
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	110
*Tipo Válvula	Reductora
*Consigna	20
Coef. Pérdidas	0
Estado Forzado	Ninguno
Caudal	Sin Valor
Velocidad	Sin Valor
Pérdida	Sin Valor
Calidad	Sin Valor

Figura 23. Parámetros de una válvula reductora de presión.

El segundo tipo de válvulas del sistema son las denominadas válvulas de sector, que son 6, las cuales también aparecen en la Figura 17. A estas válvulas solamente se les ha introducido los parámetros de tipo de válvula y diámetro.

En la Figura 24, a modo de ejemplo, aparecen los campos introducidos para una de las válvulas de sector en el modelo de simulación de EPANET.

Propiedad	Valor
*ID Válvula	12
*Nudo Aguas Arriba	n381
*Nudo Aguas Abajo	n62
Descripción	
Etiqueta	
*Diámetro	200
*Tipo Válvula	Regulación
*Consigna	0
Coef. Pérdidas	0
Estado Forzado	Cerrada
Caudal	Sin Valor
Velocidad	Sin Valor
Pérdida	Sin Valor
Calidad	Sin Valor

Figura 24. Parámetros válvulas de seccionamiento.

3.4.3 Asignación de cotas

En cuanto a la asignación de cotas de los nudos, éstas se han introducido de manera muy meticulosa debido a las fuertes diferencias de cotas en la urbanización de Los Monasterios y a su influencia en los resultados de modelización. La máxima cota de la urbanización se encuentra a 212 metros respecto al nivel del mar, la cual corresponde al depósito Superior y la cota mínima se encuentra a 103 metros sobre el nivel del mar. Esto supone un desnivel máximo de 109 metros, el cual nos muestra la irregularidad del terreno analizado.

La ecuación de Bernoulli (1) nos da altura de energía total de un nudo, que se obtiene como la suma de los términos de cota, presión y velocidad en las unidades adecuadas.

$$H = z + \frac{P}{\rho \cdot g} + \frac{v^2}{2g} \quad [mca] \quad (1)$$

Teniendo en cuenta el orden de magnitud de los tres que aparecen en la ecuación (1), se puede despreciar el término que hace referencia a la velocidad del caudal en el nudo y únicamente se considera como altura total de un nudo a la suma de los factores de presión y cota del mismo como se observa en la ecuación (2). Por tanto, la cota es un término esencial para el cálculo de la altura total, por lo que un error en la determinación de este implica un error en la presión del nudo.

$$H = z + \frac{P}{\rho \cdot g} \quad [mca] \quad (2)$$

A efectos de este TFG, para la asignación de las cotas se ha optado por usar Google Earth, puesto que nos muestra con cierta precisión la cota de un punto arbitrario cualquiera. El modelo de Los Monasterios cuenta con 414 nudos, de los cuales no se han introducido la cota uno a uno ya que sería una tarea muy extensa, sino que en este TFG como simplificación se ha optado por agrupar 3 o 4 nudos y asignarles una misma cota. En la imagen de la Figura 25 se muestra cómo se ha empleado Google Earth para la obtención de las cotas. Por último, en la Figura 26 se observa cómo aparecen las cotas de los nudos, tal y como se han introducido en EPANET.

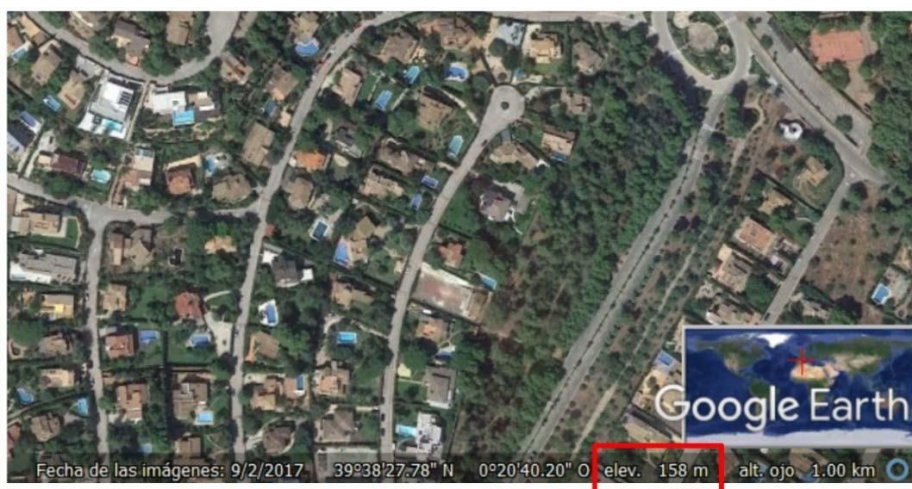


Figura 25. Asignación de cotas (Fuente: Google Earth).

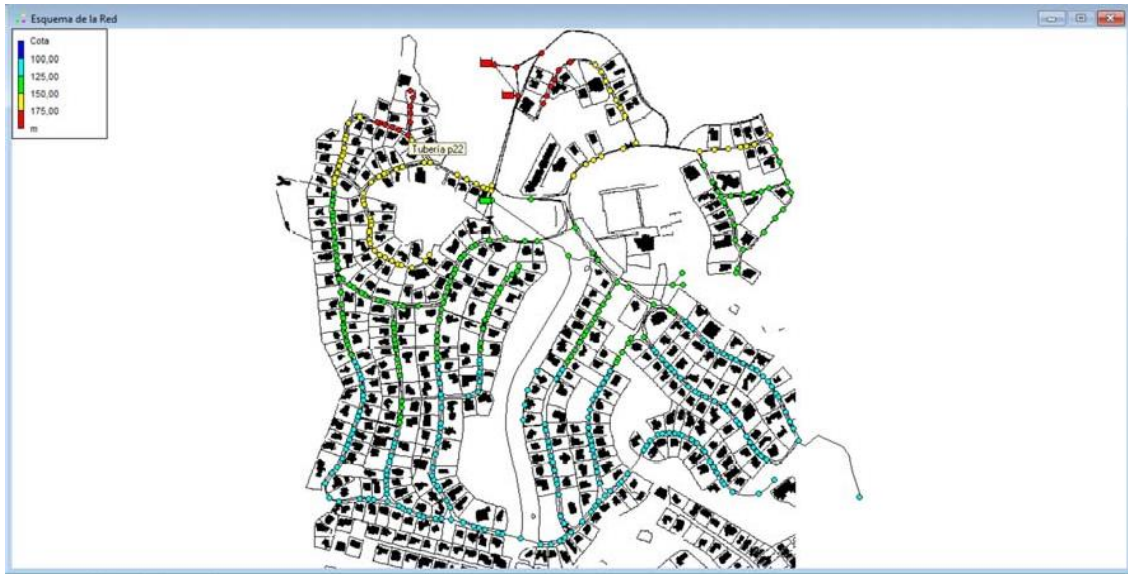


Figura 26. Cotas asignadas en EPANET.

3.4.4 Diámetros y rugosidades de las tuberías

El programa que se ha usado en el presente TFG para la simulación del modelo trabaja con flujo a presión, es decir, asume que las tuberías están llenas de agua en todo momento. Los diámetros de las tuberías juegan un papel muy importante en cómo afectan a la pérdida de carga, porque ésta depende de la fricción que se genera al circular el agua a presión a través de las tuberías. EPANET dispone de tres ecuaciones para calcular las pérdidas de carga: Chezy-Manning, Hazen-Williams y Darcy-Weisbach. En este trabajo se ha optado por utilizar la ecuación de Darcy-Weisbach (3):

$$I_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = \frac{8 \cdot f \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \quad (3)$$

donde:

f: es el factor de fricción [Adimensional]

L: Longitud de la tubería [m]

Q: Caudal [m³/s]

g: constante de gravedad (9,81 m/s²)

D: Diámetro interior de la tubería [m]

El diámetro de la tubería por la que circula el fluido está elevado a la quinta en la ecuación (3), lo que demuestra que afecta en gran medida a las pérdidas de carga, las cuales se ven reducidas al aumentar el diámetro de la tubería. No obstante, este aumento del diámetro hace que el precio de la tubería se incremente, por lo que la solución óptima para reducir las pérdidas de carga tiene que tener en cuenta el precio de la tubería.

La rugosidad es un parámetro que varía en función del material de la tubería en la ecuación de Darcy-Weisbach mediante el factor de fricción. No es un parámetro tan importante como el diámetro de las tuberías, pero si se ha de tener en cuenta ya que como se ha comentado depende del material de las tuberías y en la red de Los Monasterios existen tres tipos diferentes de materiales vistos en el apartado 2.3.5.

Esta información se ha introducido directamente en el modelo de EPANET. Para el caso de las tuberías se han introducido los diámetros proporcionados por parte de la gerencia de la urbanización a través del plano de la Figura 19, y en cuanto a las rugosidades se han introducido los valores que aparecen en la Tabla 5. Para la obtención de los materiales de cada tubería que aparecen en dicha tabla se ha utilizado el plano mencionado anteriormente.

En las siguientes figuras (Figura 27 y Figura 28) se muestra el trazado de la red de tuberías en función de sus diámetros y de su material, respectivamente:

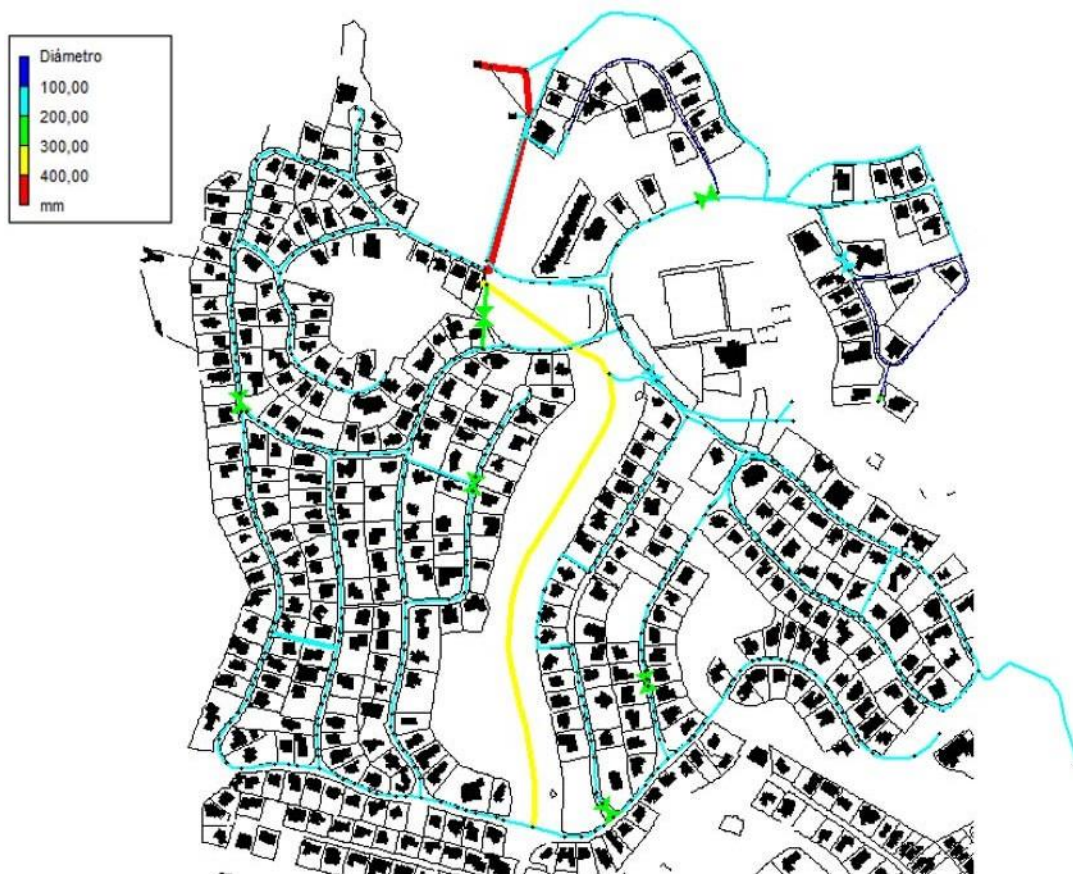


Figura 27. Diámetros de las tuberías de la red.

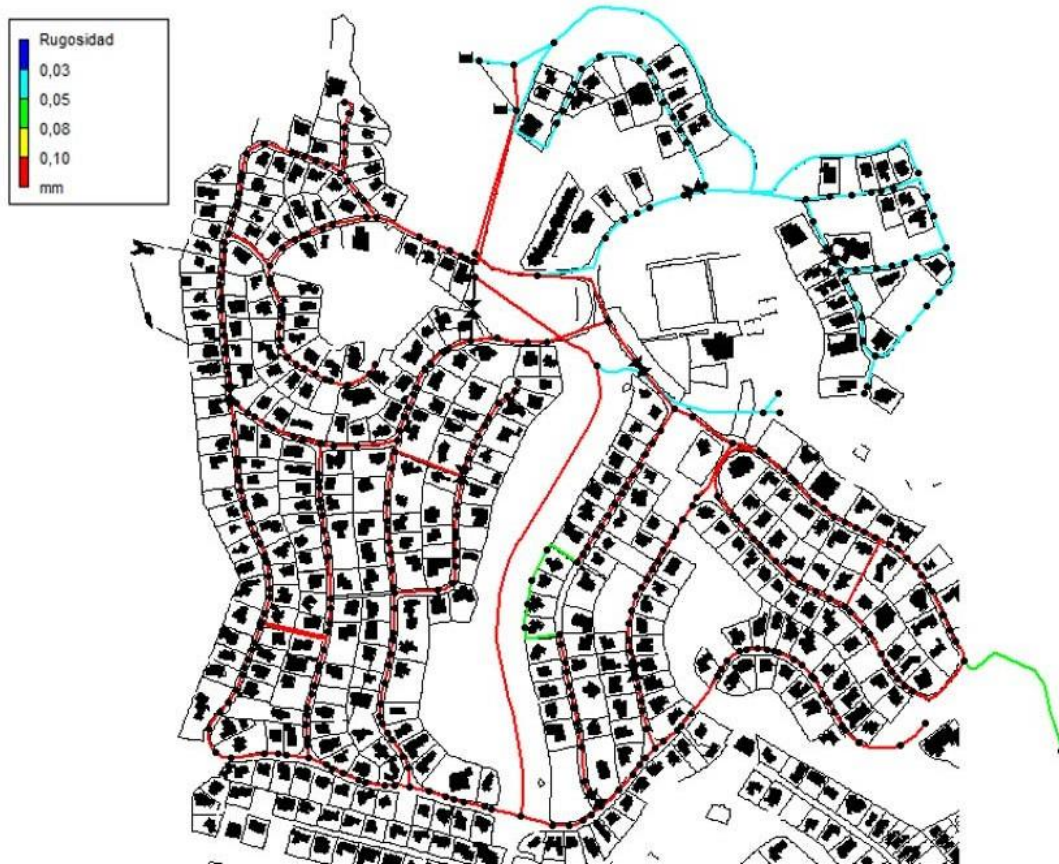


Figura 28. Rugosidades de las tuberías de la red.

3.5 Escenarios de demanda considerados

Para la realización del modelo de la urbanización, se van a plantear dos escenarios totalmente opuestos para ver como varía el comportamiento de la red de suministro en Los Monasterios. Estos dos escenarios suceden en las épocas de mayor y menor consumo, las cuales se corresponden durante las horas pico de verano y las horas valle de invierno.

Las horas de mayor consumo a lo largo del día se denominan horas pico. Durante esta hora periodo el caudal que se transporta a través de las tuberías es mayor, lo que produce que la presión se vea reducida en los nudos. Esto sucede debido a que la altura total (que es un término fijo) de un punto corresponde con la cota de ese punto (que es un parámetro fijo), la presión y las pérdidas, estos dos últimos se consideran términos variables:

$$H = z + \frac{p}{\gamma} + h_f \quad (6)$$

donde:

H : Altura energía total del nudo [mca]

z : Cota del nudo [mca]

p : Presión en el nudo [mca]

h_f : Pérdidas en la red [mca]

Dicho esto, las pérdidas, como se puede ver en la ecuación (7) que se deriva de la original (3), dependen únicamente de la geometría de la tubería y del caudal que circula por ella:

$$h_f = \frac{8 \cdot f \cdot L}{\pi^2 \cdot g \cdot D^5} \cdot Q^2 = R \cdot Q^2 \quad (7)$$

donde:

R : parámetros geométricos de la tubería [mca s²/l²]

Q : caudal del fluido [l/s]

Este caudal circulante es un término que está elevado al cuadrado, por lo que al aumentar dicho caudal aumentarían las pérdidas de manera exponencial en la red. Como se ha mencionado que la cota y la altura total de un punto son fijas, al aumentar las pérdidas en la red se reduce la presión en dicho punto.

Las horas valle son las horas en las cuales la demanda de agua de los usuarios de la red es menor, lo que resulta siguiendo estas mismas deducciones en un aumento de las presiones en los nudos del sistema.

Por tanto, los dos escenarios mencionados de invierno y verano los cuales se introducirán en la simulación del modelo de la red de suministro de la urbanización se presentan a continuación:

- El primer escenario ocurre en la hora pico de los meses de mayor consumo de la urbanización puesto que es cuando el trazado de tuberías está transportando un mayor volumen de agua. Como se verá en el próximo capítulo, este escenario de verano sucede en los meses de julio y agosto donde los valores registrados en la urbanización son máximos.
- El segundo escenario corresponde a la hora valle de la época de invierno donde los volúmenes de agua registrados por los usuarios abonados a la red son mínimos y sucede para los meses de enero y febrero. Al igual que en el anterior escenario esto se analizará con más detalle en el capítulo siguiente.

4. ANÁLISIS DE LA DEMANDA Y CARGA HIDRÁULICA DEL MODELO

Una vez elaborado el modelo de simulación de la red, se procede a la carga hidráulica del mismo, para lo que se requiere, en primer lugar, el análisis de los volúmenes de agua en el sistema y, en segundo lugar, un estudio de mayor detalle de las demandas de agua de los usuarios de la red.

4.1 Balance hídrico en la red

Para realizar un análisis detallado de la variación de volúmenes de agua dentro de la red de abastecimiento, hay que distinguir entre el volumen de agua inyectado a la red y el volumen de agua registrado por los contadores. La diferencia entre estos dos volúmenes es debida principalmente a las fugas que hay en la red y, también podría deberse a posibles fraudes por parte de los consumidores o inexactitudes en los aparatos de medida. Este volumen de agua diferencia entre el volumen registrado y el inyectado se denomina volumen no registrado, tal como se analizará en detalle a continuación.

4.1.1 Volumen de agua inyectado

Se considera volumen de agua inyectado a la cantidad de agua que sale directamente de los depósitos y llega a la red se suministró de agua. Este valor no contempla las posibles pérdidas que puedan surgir al transportar el agua a través de la red hasta que llegue a los consumidores.

En la Figura 29 se puede apreciar la variación del volumen de agua inyectado a la red a lo largo del año para los registros de los años 2015, 2016 y 2017. Este gráfico se ha obtenido por suma de las diferentes fuentes de agua utilizadas (pozos propios, comunidad de la Costera y Aguas de Valencia) ya vistas en el capítulo 2.

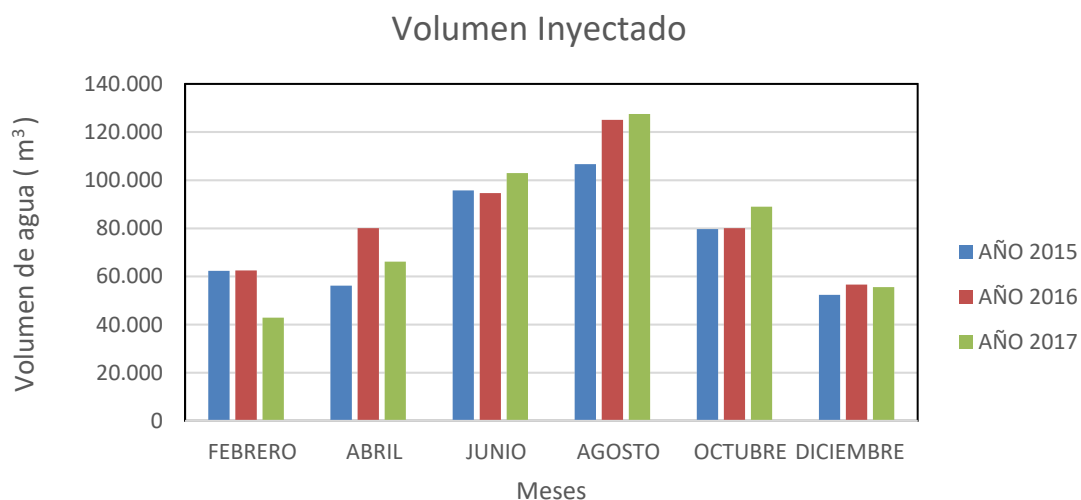


Figura 29. Variación temporal del volumen bimensual inyectado en la red (m³).

En este gráfico se puede ver como en estos últimos tres años, el volumen máximo de agua inyectada al sistema se originó en los meses de julio-agosto, siendo en el año 2017, para estos dos meses, donde se inyectó el máximo histórico con un volumen de 127.841 m³. No obstante, para los meses de menor consumo existe una discrepancia entre los años 2015 y 2016 y el año 2017, donde el mínimo anual en el 2015 y 2016 se registró en los meses de noviembre-diciembre con 52.354 m³ y 56.593 m³, y en el 2017 se registró en enero-febrero con un valor de 42.894 m³.

En la siguiente tabla se muestran los volúmenes anuales inyectados en el 2015, 2016 y 2017, así como sus valores bimensuales medios, sus valores máximos, mínimos y sus desviaciones:

Año	V _{Año} (m ³ /año)	V _{medio} (m ³ /60 días)	V _{máx.} (m ³ /60 días)	V _{mín.} (m ³ /60 días)	Desviación (m ³ /60 días)
2015	453.078	75.513	106.687	52.354	22.291
2016	498.678	83.113	125.013	56.593	24.641
2017	484.076	80.679	127.481	42.894	31.703

Tabla 6. Caracterización de los volúmenes inyectados en la red.

4.1.2 Volumen Registrado

Se denomina volumen registrado al volumen de agua que llega realmente a los consumidores, es decir, que es igual al volumen inyectado menos las pérdidas en la red. Esto significa que en una red de abastecimiento ideal, donde no existe ningún tipo de pérdidas, el volumen inyectado es igual al volumen registrado.

En el gráfico que aparece en la Figura 30 se detalla cómo ha variado el volumen registrado en la red de suministro de agua potable de Los Monasterios en los últimos tres años:

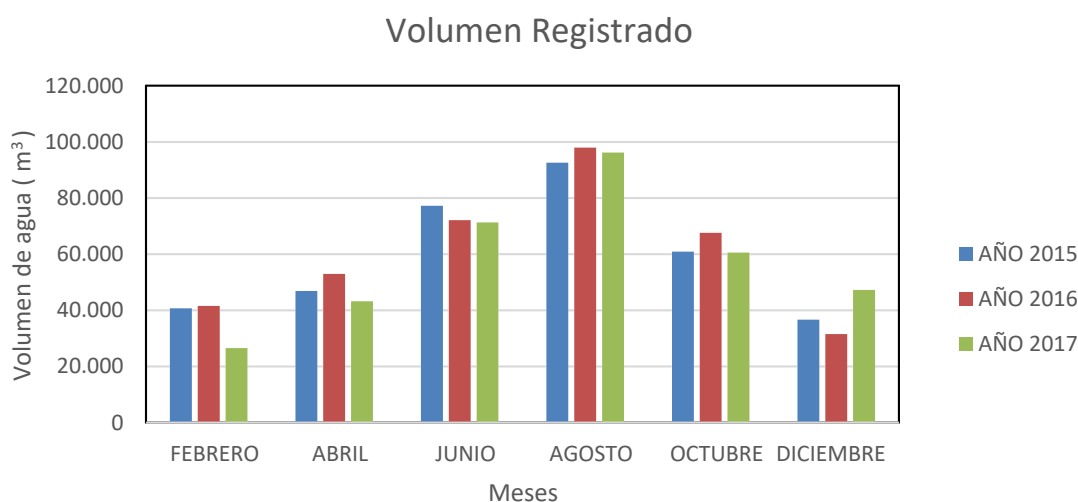


Figura 30. Variación temporal del volumen registrado bimensual en la red (m³).

El gráfico anterior nos muestra un comportamiento del volumen registrado a lo largo de los años 2015, 2016 y 2017 muy similar al gráfico de la Figura 29. Los meses donde se registraron los valores máximos en los tres años fueron, en julio-agosto, y los valores mínimos registrados en los años 2015 y 2016 fueron en noviembre-diciembre, y en el 2017 ocurrió en los meses de enero-febrero. Aunque para el volumen registrado su máximo histórico ocurrió en el 2016 en julio-agosto con un valor de 97.975 m³.

En la tabla siguiente se muestran los volúmenes anuales registrados en el 2015, 2016 y 2017, así como sus valores medios (bimensuales), sus máximos, mínimos y sus desviaciones.

Año	V_{Año} (m ³ /año)	V_{min.} (m ³ /60 días)	V_{máx.} (m ³ /60 días)	V_{medio.} (m ³ /60 días)	Desviación
2015	355.026	36.687	92.599	59.171	22.101
2016	363.848	31.554	97.975	60.641	23.844
2017	345.172	26.580	96.206	57.529	24.347

Tabla 7. Caracterización de los volúmenes registrados en la red.

4.1.3 Volumen de agua no registrado

El volumen no registrado del sistema de suministro de agua potable, al que también se puede definir como las pérdidas del sistema, es la diferencia entre el volumen inyectado en la red y el volumen registrado por los contadores. Como ya se ha mencionado anteriormente estas pérdidas son debidas principalmente a las fugas en las tuberías y demás elementos del sistema de abastecimiento, además de posibles fraudes por parte de los consumidores e inexactitudes en los aparatos de medida de los volúmenes registrados. Estos posibles fraudes mencionados ocurren cuando un consumidor intencionadamente desconecta o manipula su contador de manera provisional o permanente. Con los datos obtenidos para la realización de este TFG es imposible detectar este tipo de pérdidas, por lo que se asumirá que todas las pérdidas son debidas a fugas en la red de suministro.

Un aspecto muy interesante que se puede obtener de esta diferencia entre el volumen inyectado y el registrado es la eficiencia o rendimiento de la red de suministro. En la red de suministro de Los Monasterios las pérdidas que aparecen en el sistema varían en función del caudal o volumen de agua que se estén transportando a través de las tuberías.

El gráfico de la Figura 31 muestra cómo varían estas pérdidas a lo largo del año en valor porcentual. Tal como se puede observar, con el paso del tiempo ha aumentado las pérdidas mensuales en la red (el año 2017 es el año que mayores pérdidas presenta salvo para los últimos meses del año). Esto es usual en redes de abastecimiento en las que no se suele realizar programas de reducción de pérdidas, y un aumento de la edad de las tuberías deriva en un aumento de las pérdidas de agua.

Si se realiza un análisis mensual de los datos, se puede comprobar que los meses de menor consumo son los que mayores porcentajes de pérdidas tienen. Esto no es normal ya que aumenta de forma significativa el volumen registrado por aumentar la demanda de agua por ejemplo en periodos estivales, aunque según la información aportada por parte del gerente muchas de estas pérdidas son provocadas por fugas en los elementos de la red en especial en las uniones de las tuberías en las fases 3 y 4.

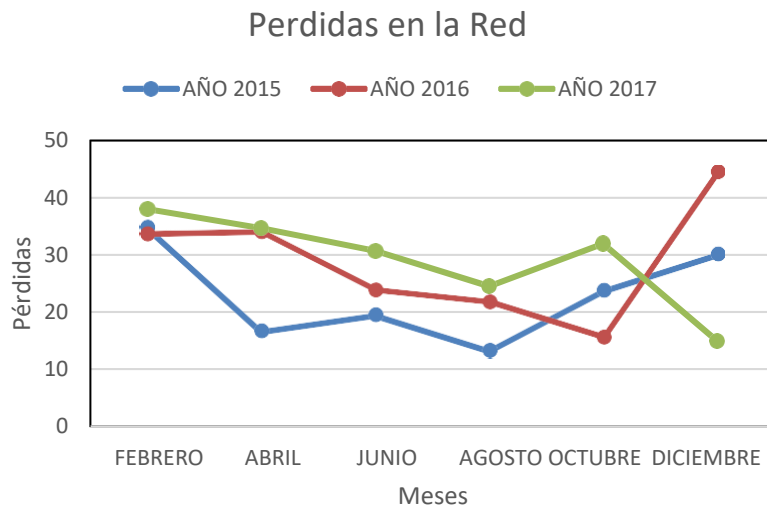


Figura 31. Variación de las pérdidas en la red a lo largo del año.

Cabe añadir que a pesar de las reparaciones debidas a las fugas en las tuberías y a las medidas tomadas en la urbanización en cuanto a la facturación del m³ de agua potable que se presentará en el siguiente punto, no se está consiguiendo mejorar la eficiencia del sistema ya que el porcentaje de pérdidas anuales en los años 2015, 2016 y 2017 son de 21,64%, 27,04% y 28,69% respectivamente. Esto demuestra que, al contrario de lo que se esperaba que era reducir este volumen de agua no registrado, las pérdidas han ido en aumento año a año. Este porcentaje de pérdidas en la red de la urbanización son elevadas en comparación a la media de a las pérdidas obtenidas en redes de abastecimiento de agua potable en España, las cuales se sitúan según un informe del Observatorio Español de Sostenibilidad (OES) en el año 2012 entorno al 17,5%. Es decir, las pérdidas obtenidas son más que significativas, ya que se sitúan alrededor de 10 puntos porcentuales (algo más de un 50%) por encima de la media de redes de abastecimiento en España.

Estas pérdidas elevadas pueden deberse a dos factores. En primer lugar, la red de Los Monasterios trabaja a presiones entre 40 y 70 mca, que son valores por encima de los valores típicos de presiones de funcionamiento de una red: del orden de 20 a 50 mca. Estas altas presiones en la red incrementan las pérdidas en las tuberías provocando mayores fugas en las uniones, juntas de las tuberías, accesorios, conexiones y otros elementos del sistema de abastecimiento. La segunda razón es la mala calidad en la construcción de la red de suministro de agua potable de las fases 3 y 4, es decir las que se construyeron en el 2007, ya que la mayor parte de las fugas provienen de esta zona de la urbanización perteneciente a los sectores de presiones de los depósitos Superior e Intermedio.

4.2 Análisis de las demandas de los usuarios

El análisis de la demanda se ha realizado a partir de los datos obtenidos de los volúmenes de agua registrados en los contadores de cada parcela abonada a la red. Estos registros se realizan de manera bimensual y varía a lo largo del año, ya que no todas las parcelas o viviendas están ocupadas durante todo el año debido al uso vacacional que le dan algunos propietarios, además de otros factores como el clima que hacen que varíen a lo largo del año, especialmente el consumo destinado al riego de jardines.

A día de hoy, hay 438 viviendas abonadas a la red en todo el año de las cuales 413 son parcelas individuales (chalets) y 25 son apartamentos. De estas viviendas no están todas ocupadas los 365 días del año, en invierno hay una media de 380 viviendas consumiendo agua y en la época de verano el número de parcelas asciende a 400. Por lo que en cuanto a número de viviendas abonadas a la red no varía mucho a lo largo del año, pero como se verá en los siguientes puntos con más detalle, sí que lo hace el consumo.

Según la facturación aportada por parte de la gerencia de la urbanización, en los dos meses de menor consumo en el año 2017, que fueron los meses de enero-febrero, se registró un volumen de agua de 26.580 m³ y en los meses de julio-agosto, que fue donde más agua se registró, fue de 96.206 m³.

Respecto al consumo de las parcelas también varía en función del tamaño de la parcela. La mayoría de las parcelas de la urbanización son de 1000 m² aproximadamente (tamaño mínimo), aunque existen viviendas que ocupan dos o incluso tres parcelas, es decir que sus superficies serían de unos 2000 m² y 3000 m² respectivamente. Lógicamente las viviendas que dispongan de una superficie suelen tener un mayor consumo, ya que al ser de mayor tamaño tienen más m² edificadas y de jardín por lo que necesitan un mayor volumen de agua para el uso doméstico y para el riego del jardín.

Desde la Junta Directiva de la urbanización de Los Monasterios se está intentando reducir el consumo de las parcelas, por lo que se han tomado unas medidas para incentivar a la gente a reducir su consumo. Una de estas medidas es la variación del coste del m³ de agua en función del consumo y el tamaño de la parcela (adoptando 1000 m² de parcela como estándar). En la tabla siguiente aparecen las tarifas para los volúmenes consumidos por una parcela de 1000 m², además del número de parcelas dentro de cada tarifa para los meses de mayor consumo.

V _{Bimensual} (m ³ /60días)*	Precio (€/m ³)	Numero de Parcelas
0-220	0,47	256
221-300	0,93	69
>300	1,70	75

Tabla 8. Tarifas aplicadas a los usuarios de la red (* para una parcela de 1.000 m²).

Como se puede apreciar, la mayoría de parcelas están dentro de la tarifa de menor consumo y son aproximadamente el 64% de los usuarios de la urbanización. Tan solo el 18,75% de los consumidores se les está aplicando la tarifa más cara, lo que muestra que estos usuarios están consumiendo un mayor volumen de agua del que recomienda la urbanización para sus metros cuadrados de parcela. El 17,25% restante de los consumidores se les está aplicando la tarifa intermedia que aparece en la tabla para la facturación del agua consumida.

4.2.1 Estratificación de los usuarios

En este apartado se van a clasificar a los usuarios de la red de suministro en función del volumen de agua que consuman, es decir aquel volumen que queda registrado en sus contadores, independientemente del tamaño de sus parcelas o de a que vayan a destinar dicha agua. Como simplificación para este TFG, se van a utilizar sólo los volúmenes registrado en el año 2017 de todos los usuarios abonados a la red de Los Monasterios. En los siguientes histogramas (Figura 32 y Figura 33) se ha analizado la representación de las distribuciones de frecuencias de dichos volúmenes para dos escenarios diferentes.

Como se ha visto anteriormente, la demanda mínima en la red se origina en los meses de enero-febrero (Figura 32), estos meses se caracterizan por tener un menor consumo en comparación con el resto del año. Como se puede observar, hay 114 usuarios en la red cuyos consumos en este periodo de tiempo es nulo por lo que el grado de desocupación es del 26,48%. También se muestra que la mayoría de usuarios consumen un volumen de agua entre 0 y 1.000 l/día y que tan solo 8 usuarios consumen más de 3.000 l/día, de los cuales se identificaran en el punto 4.2.3 como grandes consumidores aquellos cuyos consumos sean elevados a lo largo de todo el año.

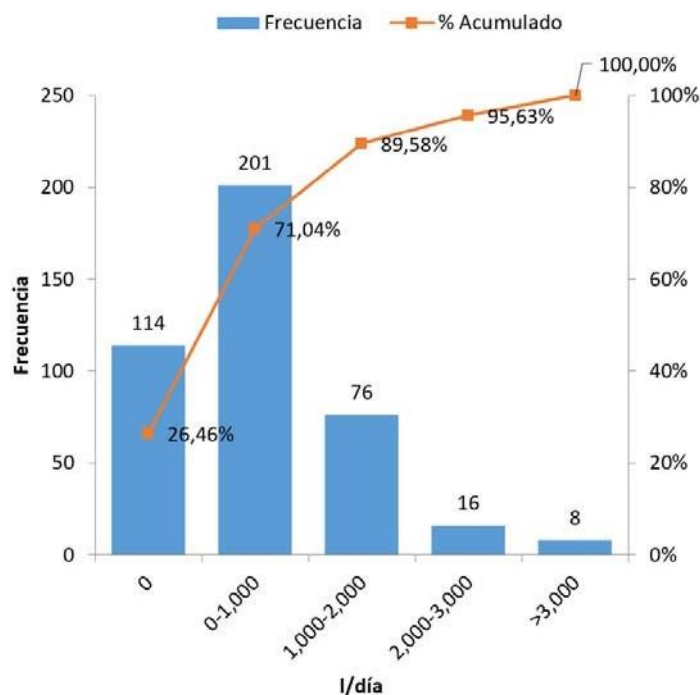


Figura 32. Histograma de los consumos de enero-febrero.

Por otro lado, el mayor consumo de agua se da en julio- agosto (Figura 33). También en estos meses coincide con la época del año donde en Los Monasterios hay un mayor número de viviendas ocupadas. Como se muestra en el histograma, el grado de desocupación es sólo ligeramente menor que en los meses de enero-febrero ya que en julio-agosto el 25,89% de los usuarios no están consumiendo ningún volumen de agua de la red. Esto refleja el hecho de que en Los Monasterios apenas varía el número de usuarios a lo largo del año, puesto a que se han comparado los meses de mayor y menor desocupación. Probablemente el principal motivo es que el consumo por riego de jardín se mantiene, aunque el uso de la residencia sea vacacional. Además, la mayoría de usuarios consumen entre 2.000 y 4.000 litros diarios, por lo que el volumen medio de agua consumida al día será mayor para este escenario. Dentro de los usuarios que consumen más de 6.000 l/día se encuentran los denominados grandes consumidores.

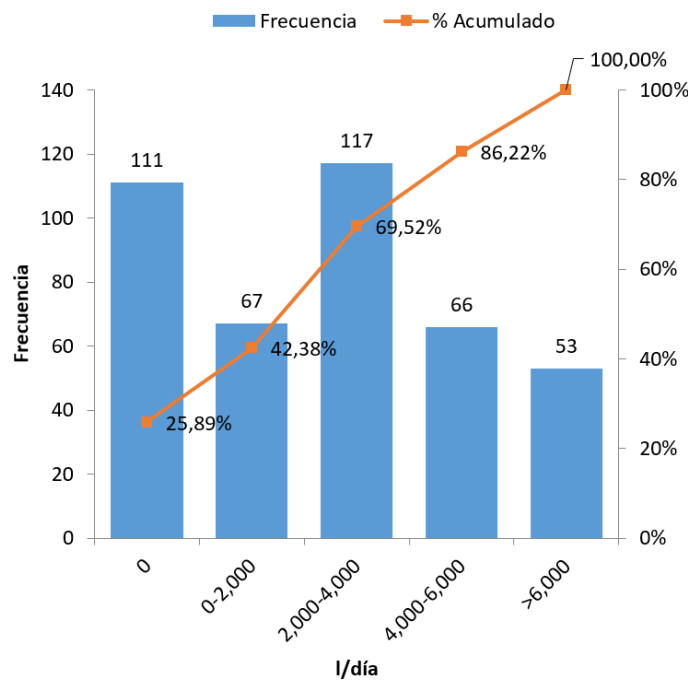


Figura 33. Histograma de consumos de julio-agosto.

En el gráfico de cajas y bigotes (Figura 34) se muestra una comparación entre ambos escenarios (sin considerar los consumos nulos). En esta figura se puede observar que en verano los grandes consumos se disparan y que la dispersión de consumos se incrementa notablemente. De hecho, el consumo extremo en los meses estivales puede incluso multiplicar por 10 el consumo medio en un mes de invierno. La explicación a este efecto se debe en gran medida a los consumos externos que se dan en las viviendas, tales como riego, reposición de agua evaporada de piscinas y usos relacionados con la limpieza en el exterior de la vivienda, entre otros.

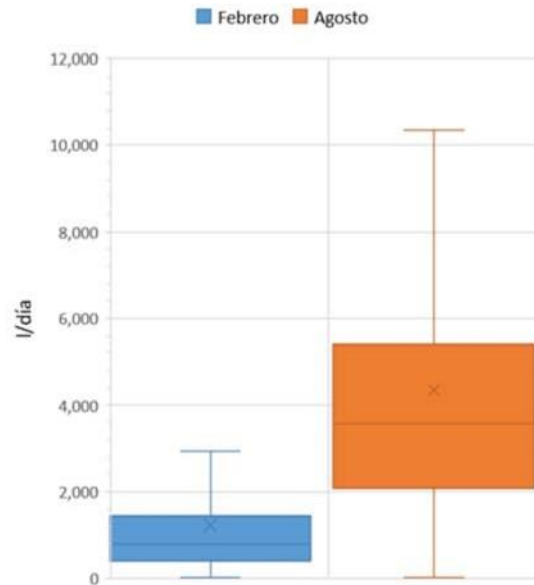


Figura 34. Diagrama de cajas y bigotes de los dos escenarios.

4.2.2 Usuarios mayoritarios de la red. Usuarios tipo chalet

Los Monasterios es una urbanización residencial donde la mayoría de la población vive en chalets, por lo que la gran mayoría de nudos del modelo de la red corresponden a parcelas con sus chalets con jardín. En el modelo de la red de suministro, de los 415 nudos 412 corresponden a parcelas, es decir que el 99,28% de los usuarios son parcelas (chalets tipo). Aunque dentro de este grupo de usuarios se han detectado ciertas parcelas con consumos muy elevados en comparación con los valores medios obtenidos, estos usuarios se tratarán de forma particularizada al considerarse como grandes consumidores (su consumo difiere del consumo medio en un chalet tipo).

Como ya se ha mencionado estas parcelas tienen una superficie media de aproximadamente 1.000 m² y cuentan con una edificación tipo chalet con jardín, por lo que habrá que diferenciar el volumen de agua consumido por estos usuarios entre el volumen de agua para uso interior correspondiente al uso residencial o doméstico y el volumen de agua exterior destinado al riego del jardín. El volumen de agua interior no varía mucho respecto al de una vivienda unifamiliar, simplemente será algo mayor debido al mayor tamaño del chalet ya que necesitará algo más agua para realizar las tareas domésticas. Sin embargo, el volumen de agua destinado para el riego, considerado como volumen exterior, hace que tanto el comportamiento como el volumen de agua consumida en un día cambie considerablemente respecto a una vivienda unifamiliar.

A continuación, dada la importancia de estos usuarios en nuestro modelo, se va a analizar con más detenimiento los valores registrados como consumos y el comportamiento de estos, los cuales serán introducidos para la carga hidráulica del modelo de EPANET.

Demanda Base de las parcelas

La demanda base que se introduce en el modelo de simulación obtenido en EPANET es igual al volumen de agua medio demandado por un nudo en un instante dado. De forma ideal, este volumen podría tratarse individualmente si se disponen de los consumos particularizados de cada usuario, así como la ubicación exacta del mismo. Desafortunadamente, debido a la ley de protección de datos, la urbanización no ha facilitado los consumos correspondientes a todas las parcelas ni su ubicación exacta (se dispone datos del número de parcela, pero no se especifica el número de policía). Por esta razón, no se han podido asignar a todos los nudos sus valores registrados por sus propios contadores.

Para el cálculo de la demanda base de las parcelas se ha decidido asignar a todos los nudos un consumo idéntico, igual al promedio de los valores consumidos por estos usuarios. Para la obtención de volumen medio se han tenido en cuenta las parcelas con valores registrados de consumo de agua nulos, porque estos usuarios también están abonados a la red. Si no se tuvieran en cuenta, el volumen medio introducido como demanda base en el modelo para estos usuarios sería mayor y se estaría sobrecargando el sistema. En el cálculo de este valor promedio se ha utilizado la siguiente ecuación (4).

$$Demanda\ Base = \frac{\sum V_{\text{registrado}}}{N} \quad [l/s] \quad (4)$$

donde:

$V_{\text{registrado}}$: es el volumen registrado en un periodo de dos meses [m^3]

N: es el número de parcelas conectadas a la red.

Cabe señalar que las unidades los datos obtenidos como volúmenes registrados por los usuarios de la red de suministro de Los Monasterios han tenido que ser convertidas de $m^3/60$ días a l/s para introducirlas en el modelo.

Como se ha comentado anteriormente, en el presente TFG se han simulado dos escenarios extremos: el escenario de invierno (mínimo consumo mensual) y el escenario de verano (máximo consumo mensual). Para estas dos situaciones, y partiendo de los resultados obtenidos del análisis de las demandas de los usuarios tipo parcela, las demandas bases consideradas son las que se muestran en la siguiente tabla.

	Invierno	Verano
Demanda base (l/s)	0,009	0,035

Tabla 9. Demandas base de las parcelas para los dos escenarios considerados en situación actual.

Curvas de modulación

La curva de modulación, también conocida como patrón de demanda, se define como la variación del consumo de valor medio durante un periodo de tiempo. Para la simulación del modelo del presente trabajo se ha optado por un periodo de tiempo de 24 h. Para cada intervalo de una hora se empleará un coeficiente de modulación en función del caudal consumido en dicho intervalo, $Q(t)$ y el caudal medio del día, Q_{med} . Para el cálculo de los coeficientes de modulación (CMD) se aplica la siguiente ecuación (5):

$$CMD(t) = \frac{Q(t)}{Q_{ned}} \quad (5)$$

El coeficiente de modulación variará dependiendo del momento del día; durante las horas de menor consumo, que serán correspondientes a las horas nocturnas, el coeficiente de modulación será menor. En general, si este coeficiente es bajo, se pueden producir elevadas presiones en la red. El coeficiente de modulación máximo sucederá a lo largo del día correspondiente a la hora de mayor consumo y éste será mayor a la unidad.

Para las parcelas, tal como muestra la tabla anterior, la demanda base varía notablemente de un escenario al otro. La razón principal como se ha dicho es el volumen de agua destinada al riego en los meses de verano. En cuanto al comportamiento a lo largo del año del volumen consumido en el interior de la vivienda apenas varía, debido a que el consumo para el uso residencial no aumenta tan drásticamente como el volumen de agua destinado al riego del jardín. Que la diferencia en cuanto a la demanda base entre ambos escenarios sea tan grande hace que sea necesario asignar una curva de modulación diferente para cada escenario.

- Escenario de invierno

Los coeficientes de modulación que se han empleado para la curva de demanda en esta época del año, correspondiente a los meses de enero-febrero, se han obtenido de un estudio que se realizó el Canal de Isabel II en la Comunidad de Madrid en el año 2008 sobre el consumo doméstico del agua (Canal de Isabel II, 2008). Este estudio se realizó para chalets que consumían de valor promedio 703 l/día (la razón de la diferencia en el menor consumo diario se debe a la reducida superficie de riego que tenían estos chalets, pero al no haber más información sobre el consumo en este tipo de residencias se decidió trabajar con sus datos de consumo característicos). Por otro lado, el valor registrado medio por las parcelas de la urbanización Los Monasterios es de 796 l/día en invierno (con menos riego), lo que justifica que se puedan usar los factores de modulación del estudio citado por tratarse de un volumen próximo al de los chalets del estudio.

En la siguiente tabla aparecen los coeficientes de modulación empleados en el modelo para el escenario de invierno:

Hora	CMD	Hora	CMD
1	0,65	13	1,45
2	0,6	14	1,4
3	0,55	15	1,3
4	0,55	16	1,25
5	0,55	17	1,15
6	0,55	18	1,05
7	0,7	19	1,05
8	0,85	20	1,15
9	1,1	21	1,3
10	1,2	22	1,2
11	1,3	23	0,9
12	1,45	24	0,75

Tabla 10. Curva de modulación para parcelas en el escenario de invierno.

▪ Escenario de verano

En cuanto al escenario de verano, se ha empleado una curva de modulación diferente a la utilizada en el anterior escenario. La razón por la cual no se ha empleado la curva de modulación del estudio de los chalets en Madrid es porque en los meses de julio y agosto el volumen registrado medio de una parcela en Los Monasterios es de 3034 l/día, por lo que se ha descartado emplear los coeficientes de dicho estudio. En su lugar, se ha optado por calcular unos valores razonables mediante un estudio específico de la demanda.

En primer lugar, se ha supuesto que el comportamiento a lo largo del día de la parte del consumo destinada al interior de la vivienda sea la misma que en el escenario de invierno del estudio de Madrid. Por ello se ha tomado un consumo interior de agua de 703 l/día, dejando un volumen de 2331 l/día para uso exterior (jardín principalmente).

En segundo lugar, se ha hecho una estimación del agua que se consume de media en Los Monasterios para el riego del jardín durante estos meses. Para ello se han tomado 10 parcelas aleatorias y mediante el uso de Google Earth se ha obtenido los m² de jardín:

Parcelas	Superficie de jardín (m ²)
1	546
2	554
3	503
4	571
5	585
6	536
7	455
8	527
9	529
10	620
Media	543

Tabla 11. Muestra aleatoria de superficies de jardín en parcelas.

Tomando como valor medio de riego en verano 4 l/m²/día se obtiene que en Los Monasterios se riega de media aproximadamente 2.172 l/día. Este volumen medio justifica el consumo obtenido de 2.331 l/día para el uso exterior del chalet. Según la información aportada por el gerente de la urbanización, hay dos franjas horarias para repartir el consumo del riego debido a que la mayor parte de los usuarios riegan en estos períodos (en cualquier caso, no es recomendable regar a mediodía ya que coincide con las horas de mayor calor y radiación y, sí se regara, una gran parte de esta agua se evaporaría):

- Riego por la mañana: se ha considerado un periodo desde las la 7:00 hasta las 10:00
- Riego por la tarde/noche: desde las 20:00 hasta las 23:00.

En el gráfico de la Figura 35 muestra como se ha repartido el volumen de agua para el uso interior y exterior a lo largo del día. En él, se puede observar que el consumo máximo de agua se produce a las 10:00 con un volumen total de 327 litros consumidos en la parcela.

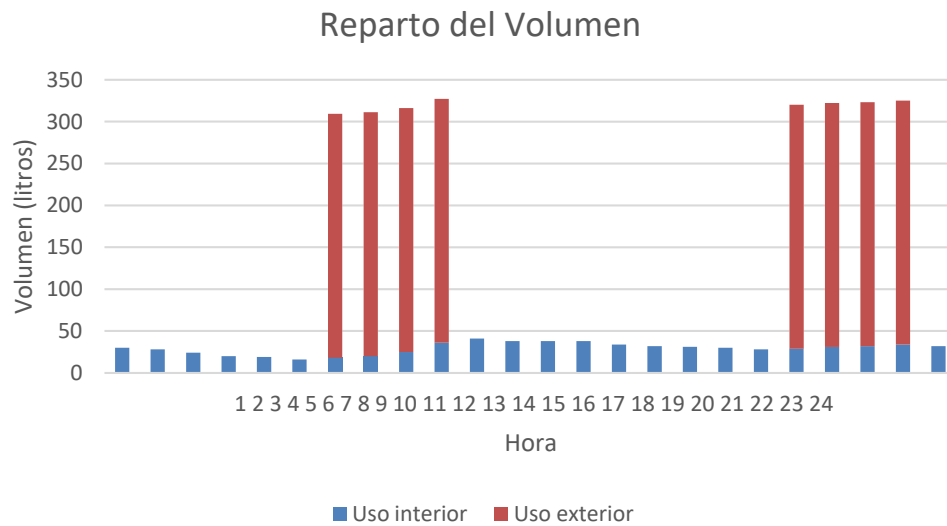


Figura 35. Obtención de la curva de demanda tipo de las parcelas en verano.

Con los volúmenes de agua consumidos en una parcela media a lo largo del día que aparecen la Tabla 12, se han obtenido los siguientes coeficientes de modulación (CMD) para este escenario.

Hora	CMD	Hora	CMD
1	0,24	13	0,30
2	0,22	14	0,30
3	0,19	15	0,27
4	0,16	16	0,25
5	0,15	17	0,25
6	0,13	18	0,24
7	2,45	19	0,22
8	2,46	20	2,53
9	2,50	21	2,55
10	2,59	22	2,56
11	0,32	23	2,57
12	0,30	24	0,25

Tabla 12. Curva de modulación para parcelas en el escenario de verano.

- Comparación entre ambos escenarios

Como se ha expuesto en este punto, se han asignado dos curvas de modulación (una para cada escenario) a los nudos que corresponden a parcelas en el modelo de simulación. La Figura 36 muestra la diferencia que se ha obtenido entre las curvas de ambos escenarios.

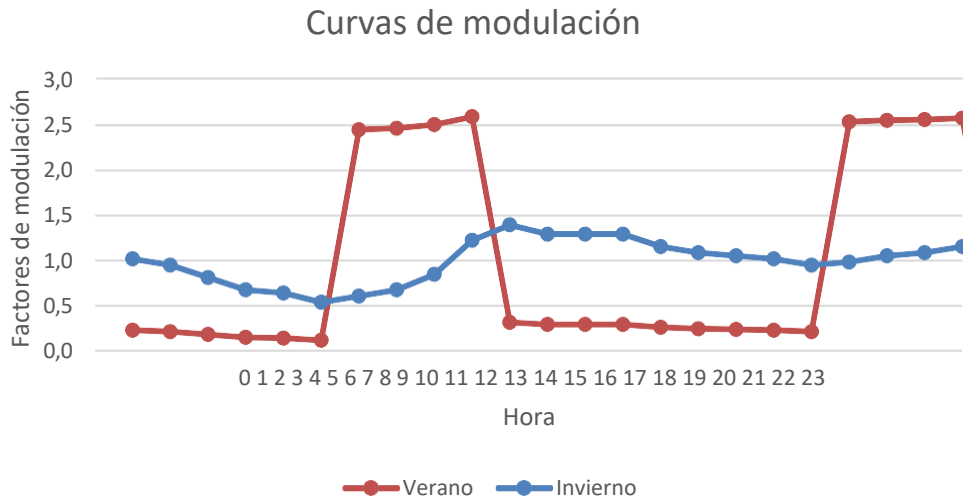


Figura 36. Curvas de modulación de la demanda de las parcelas para los dos escenarios.

Se ha optado por emplear dos curvas de modulación debido a la diferencia que existe entre la demanda base de invierno y verano para estos usuarios. En invierno se emplea un menor volumen de agua para el riego del jardín, por lo que el efecto que se produce en las horas de riego no afecta de forma significativa a la curva de modulación. Al ser menor esta agua destinada para el uso exterior, su efecto se ve suavizado en la curva de modulación. En cambio, en el escenario de verano, la curva de modulación está fuertemente afectada por los dos turnos de riego de jardín asumidos y en consecuencia genera estos picos en las horas asignadas para el riego.

4.2.3 Grandes consumidores

Los grandes consumidores de un sistema de suministro de agua potable son aquellos cuyos consumos registrados por los contadores sobrepasan en gran medida los consumos medios de dicho sistema. En cuanto a los usuarios de la red de suministro de la urbanización de Los Monasterios se podría decir que hay cuatro grandes consumidores: el club social, el colegio El Hispano, el bloque de 25 apartamentos y las parcelas cuyos contadores registran grandes volúmenes de agua consumidos.

Gracias al conocimiento obtenido de Los Monasterios, se ha podido asignar los consumos reales del club social, el colegio y los bloques de apartamentos correspondientes con los nudos 239, 265 y 204 respectivamente. Cabe destacar que para los bloques de apartamentos se ha optado por asignar un único nudo representativo para todo el bloque debido a que el consumo de un apartamento individual es bastante inferior al consumo del resto de usuarios de la red.

4.2.3.1 El Club Social

El Club Social tiene una superficie de 46.000 m², y cuentan con un restaurante, piscinas, campo de golf de entrenamiento, campo de fútbol de césped artificial y zonas de parque. Hay que destacar que el agua que se utiliza para el riego es agua reciclada, por lo que su impacto en el consumo es menor del esperado. El nudo n239 es el nudo correspondiente al club social en el modelo de EAPANET y dicho nudo pertenece al sector de presiones del depósito Intermedio.

En el año 2017 fue de los tres últimos años el año que consumió un mayor volumen, concretamente de 23.704 m³/año y en estos tres últimos años los meses de mayor consumo fueron julio y agosto que coinciden con la época vacacional de verano donde hay más gente en la urbanización. Todos los registros de los consumos de agua del Club Social en los últimos tres años quedan reflejados en la siguiente tabla.

Año	V _{Bimensual} (m ³ /60días)						V _{Año} (m ³ /año)
	Febrero	Abril	Junio	Agosto	Octubre	Diciembre	
2015	2439	1277	893	2136	1825	1927	10497
2016	1571	1642	2822	2931	2259	673	11898
2017	559	1536	3593	2946	2128	2277	13029

Tabla 13. Volúmenes registrados en el Club Social.

Demanda base considerada

En la siguiente tabla se muestra los valores asignados a la demanda base de este usuario para los escenarios de invierno y verano que se han introducido en el modelo de la red.

	Invierno	Verano
Demanda base (l/s)	0,107	0,568

Tabla 14. Demandas base del Club Social para los dos escenarios considerados en situación actual.

Curva de modulación

Para el comportamiento del consumo del club social se le ha asignado una curva de modulación tipo correspondiente a la de un polideportivo, porque cuenta con zonas deportivas como el campo de golf de entrenamiento, campo de fútbol, piscinas y pistas de pádel y tenis (Fabra Arbona, 2016).

Hora	CMD	Hora	CMD
1	0,4	13	0,75
2	0,2	14	1
3	0,2	15	1,2
4	0,1	16	1,75
5	0,2	17	2,2
6	0,4	18	2
7	0,75	19	2
8	1,2	20	1,75
9	1,5	21	0,75
10	1,75	22	0,5
11	2	23	0,4
12	1,75	24	0,3

Tabla 15. Curva de modulación para el Club Social.

4.2.3.2 Colegio El Hispano

En cuanto al Colegio El Hispano, que es el otro consumidor perteneciente a este grupo tiene una superficie de 23.000 m². El colegio pertenece al sector de presiones de los depósitos gemelos y en el modelo de EPANET corresponde al nudo n256.

En la Tabla 16 se muestran los registros de los contadores del Hispano, cabe destacar que en los meses de marzo y abril no hay registros ya que se cambiaron los contadores debido a un fallo. Al igual que el Club Social, el Hispano también registra sus valores máximos durante la época de verano. Aunque no se impartan clases regulares en este periodo, el colegio cuenta con una escuela de verano que hace que se consuma el mayor volumen de agua en comparación con el resto del año.

Año	V _{Bimensual} (m ³ /60días)						V _{Año} (m ³ /año)
	Febrero	Abril	Junio	Agosto	Octubre	Diciembre	
2015	2214	-	2921	2661	2635	1743	12174
2016	1757	1984	3332	3587	1950	1572	14182
2017	1558	2195	2951	2541	2109	1839	13193

Tabla 16. Volúmenes registrados en el Colegio El Hispano

Demanda Base

En la Tabla 17 se muestran las demandas bases introducidas en el modelo de EPANET para este usuario en ambos escenarios.

	Invierno	Verano
Demanda base (l/s)	0,300	0,490

Tabla 17. Demandas base del Colegio El Hispano para los dos escenarios considerados en situación actual.

Curva de modulación

Los factores de modulación asignados a este usuario se han obtenido a partir de unos valores típicos que de un colegio con características similares. Estos coeficientes aparecen en la tabla de a continuación (Fabra Arbona, 2016).

Hora	CMD	Hora	CMD
1	0,5	13	2
2	0,4	14	2,5
3	0,3	15	1,8
4	0,3	16	1,6
5	0,3	17	1,1
6	0,5	18	1,15
7	0,9	19	1,1
8	1,1	20	0,9
9	1,4	21	0,5
10	1,6	22	0,4
11	1,6	23	0,4
12	1,5	24	0,3

Tabla 18. Curva de modulación para el Colegio El Hispano.

4.2.3.3 Bloque de Apartamentos

Los Monasterios cuentan con un bloque de 25 apartamentos, lo cuales pertenecen al sector de presiones Intermedio. En el modelo de simulación de EPANET se les ha asignado el conjunto de todo el bloque al nudo n204. Estos apartamentos individualmente tienen un consumo menor que el de una parcela tipo de 1000 m², debido a que disponen de menos m² de vivienda y no tienen jardín, pero la suma de todos los valores registrados por los contadores de todos los apartamentos del bloque hace que pertenezcan a este grupo de grandes consumidores. Así mismo el comportamiento del consumo de dichos apartamentos también varía respecto al de las parcelas y su curva de modulación se asemeja más a una curva de modulación tipo para una vivienda unifamiliar.

En la Tabla 19 se puede apreciar como varía el consumo de agua medio al día de este bloque de apartamentos a lo largo del año. Como cabía de esperar los meses de mayor consumo medio al día del bloque de apartamentos, al igual que ocurre con la mayoría de usuarios, son los meses de julio-agosto, y fue en el 2016 el año que más agua consumieron dichos apartamentos con un consumo de 2.037 m³ anual.

Año	V _{medio} (l/día)						V _{Año} (m ³ /año)
	Febrero	Abril	Junio	Agosto	Octubre	Diciembre	
2015	3216	3716	4700	8950	6233	3350	1810
2016	4333	4866	6666	9333	5516	3233	2037
2017	3200	4553	6997	9523	5383	3350	1978

Tabla 19. Volúmenes registrados en el Bloque de Apartamentos.

Demanda Base

A este usuario se le ha asignado un único nudo el cual representa a todos los apartamentos del bloque, por lo que la demanda base corresponde con la suma de los volúmenes de agua consumidos por todo el bloque. Los valores introducidos en el modelo se detallan en la Tabla 20.

	Invierno	Verano
Demanda base (l/s)	0,037	0,110

Tabla 20. Demandas base del Bloque de Apartamentos para los dos escenarios considerados en situación actual.

Curva de modulación

Este usuario tiene un comportamiento muy similar al de una vivienda unifamiliar debido a que en ambos el agua se emplea exclusivamente para las tareas domésticas y no disponen de jardín. Como comparten características similares al de una vivienda unifamiliar se ha optado por introducir unos coeficientes de modulación tipo para este tipo de viviendas. La siguiente tabla muestra dichos coeficientes que se ha optado por introducir en el modelo para este usuario.

Hora	CMD	Hora	CMD
1	0,65	13	1,45
2	0,6	14	1,4
3	0,55	15	1,3
4	0,55	16	1,25
5	0,55	17	1,15
6	0,55	18	1,05
7	0,7	19	1,05
8	0,85	20	1,15
9	1,1	21	1,3
10	1,2	22	1,2
11	1,3	23	0,9
12	1,45	24	0,75

Tabla 21. Curva de modulación para el Bloque de Apartamentos.

4.2.3.4 Parcelas con gran consumo

Por último, existen varias parcelas, concretamente 6 en invierno y 7 en verano, cuyos consumos de agua potable son considerablemente superiores respecto al resto de parcelas de la urbanización. En dichas parcelas se ha observado que para los escenarios en los cuales se va realizar la simulación, se consume un volumen de agua notoriamente elevado el cual podría considerarse como valores anómalos.

La razón por la cual se podrían considerar estos valores como anómalos es porque su consumo considerado como demanda base es mayor al valor promedio de las parcelas (cuyos consumos han sido no nulos) y sumándole tres veces la desviación estándar (ecuación 8). Como se ve en la

siguiente tabla las parcelas que consuman volúmenes de agua por encima de 4470 l/día y 13043 l/día en invierno y verano respectivamente, serán consideradas como grandes consumidores.

$$V_{\text{aceptable}} = V_{\text{medio}} + 3 \cdot \text{Desviación} \quad (8)$$

	$V_{\text{medio}}(\text{l/día})$	Desviación (l/día)	$V_{\text{aceptable}}(\text{l/día})$
Invierno	1.079	1.133	4470
Verano	4.100	2.981	13043

Tabla 22. Rango de consumos aceptables para parcelas.

En la siguiente Tabla 23, se identifican con su número de parcela, las parcelas consideradas como grandes consumidores debido a sus elevados consumos. En este caso al tratarse de varias parcelas tan solo analizaremos los volúmenes registrados por los contadores en el año 2017 para los escenarios de invierno y verano debido a que las posteriores simulaciones se realizarán a partir de los datos obtenidos para estas épocas del año

Invierno	$V_{\text{medio}}(\text{l/día})$	Verano	$V_{\text{medio}}(\text{l/día})$
P.418-419-420	11.416	P.308	24.066
P.182	8.316	P.77	19.333
P.3079	6.000	P.182	14.966
P.408-409	5.950	P.408-409	13.433
P.341-340	4.966	P.91-92	13.317
		P.250-251	13.166

Tabla 23. Parcelas consideradas como grandes consumidores.

Estos consumos son valores muy elevados en comparación con el resto de contadores de las parcelas de la urbanización y se pueden deber a varios factores. Uno de estos factores es que haya habido un algún tipo de fallo en la lectura de los contadores debido a la inexactitud de los mismos, de ser así estas parcelas deberían considerarse puntos anómalos y no se tendrían en cuenta en la resolución del proyecto. Otra razón por la cual es que los propietarios no sean conscientes o no le importe estas cantidades de agua consumidas. Una tercera explicación para estos valores registrados es que algunos chalets de estos usuarios, como el caso de la parcela P.408-409, ocupan dos o más parcelas por lo que es razonable que tengan un mayor consumo.

No obstante, al tratarse de tan pocas parcelas en comparación con el número total de parcelas, se ha decidido tenerlas en cuenta para la obtención de los valores medios correspondientes a la demanda base de las parcelas que se obtuvieron en el punto 4.2.2.

5. ANÁLISIS DINÁMICO DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED

Una vez obtenido el modelo en EPANET y haber realizado el análisis de la demanda, se va a proceder a realizar un profundo estudio del comportamiento de la red de suministro. En este capítulo se analizarán los resultados obtenidos de las siguientes simulaciones y se compararán los comportamientos en las tuberías y nudos en los dos escenarios.

Como ya se ha mencionado anteriormente, se ha realizado la simulación de dos escenarios diferentes: invierno y verano. Para el escenario de verano se ha simulado durante la hora punta del sistema, en cambio el escenario de invierno se ha simulado para la hora valle de la urbanización donde la demanda sea mínima. En la Tabla 24 se muestran las demandas asignadas a cada nudo para cada escenario con sus respectivos coeficientes de modulación (CDM).

Usuario	Escenario	Caudal medio (l/s/nudo)	CDM	Caudal (l/s/nudo)
Parcelas	Invierno	0,009	0,55	0,005
	Verano	0,035	2,59	0,091
Apartamentos	Invierno	0,037	0,55	0,020
	Verano	0,110	1,2	0,132
Hispano	Invierno	0,300	0,3	0,090
	Verano	0,490	1,6	0,784
Ciudad Social	Invierno	0,107	0,2	0,021
	Verano	0,568	1,75	0,994

Tabla 24. Demandas base introducidas en el modelo.

5.1 Tuberías

Para estudiar el comportamiento de las tuberías de la red de suministro de la urbanización se ha realizado un análisis del caudal, velocidad y pérdidas unitarias de las mismas. Se han obtenido los siguientes resultados para los escenarios de invierno y verano que se muestran en los puntos de a continuación.

5.1.1 Caudales

En cuanto a la distribución de los caudales se han empleado las siguientes figuras (Figura 37 y Figura 38) de ambos escenarios para localizar las principales tuberías del trazado, es decir por las cuales circula un mayor caudal de agua. Lógicamente tanto en invierno como en verano las principales tuberías de la red son las mismas, pero en el escenario de verano como cabía de esperar los resultados muestran que circula un mayor caudal por ellas al haber una mayor demanda base en todos los nudos de la red.

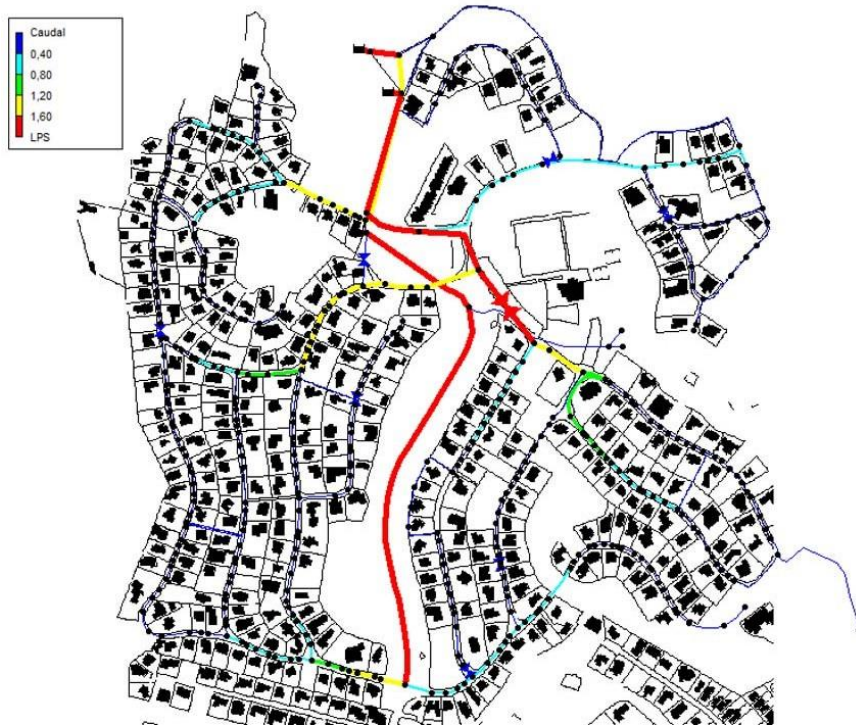


Figura 37. Distribución de caudales en invierno (hora valle).

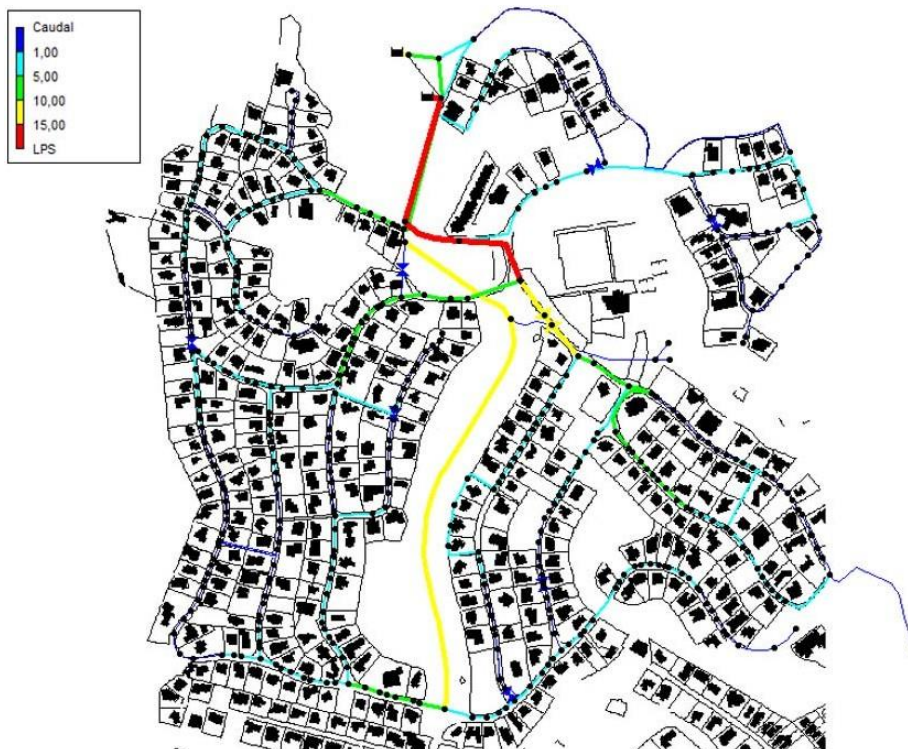


Figura 38. Distribución de caudales en verano (horapunta).

Como muestran ambas figuras, las tuberías principales se encuentran a la salida de los depósitos y a media que se alejan de ellos, las tuberías van transportando el agua a los diferentes usuarios de la red por lo que va circulando cada vez menos caudal por ellas. Es decir, que en la red de suministro de Los Monasterios el caudal transportado por las tuberías va disminuyendo a medida que se va alejando de los depósitos siguiendo la dirección del agua que circula por las mismas.

5.1.2 Velocidades

La velocidad del caudal que circula por las tuberías afecta directamente a las pérdidas de carga y al desgaste de ésta. Cuanto mayor sea la velocidad del fluido circulante mayor serán las pérdidas de carga en las tuberías de la red y éstas tendrán un mayor desgaste, ya que, como se vio anteriormente, el caudal está elevado al cuadrado en la ecuación de Darcy-Weisbach (ecuación 3). Es decir, existe un efecto multiplicador en la influencia de la velocidad en las pérdidas. Además, a mayor velocidad las tuberías tendrán un mayor desgaste a largo plazo.

El rango de valores dentro el cual es aconsejable que se situó la velocidad del fluido que circula por la tubería corresponde a velocidades entre 0,5 y 2,5 m/s. En la Tabla 25 se detallan las velocidades máximas y mínimas y la velocidad media obtenidas para ambos escenarios.

	V_{\max} (m/s)	Media (m/s)
Invierno	0,1	0,01
Verano	1,49	0,16

Tabla 25. Velocidades en tuberías.

Como se observa en esta tabla, no hay ninguna tubería en todo el trazado en la cual el fluido circule a una velocidad mayor a 2,5 m/s por lo que las pérdidas debidas a la velocidad no resultarían excesivas. Además, se muestra que en el escenario de invierno la velocidad máxima es de 0,1 m/s y la media es de 0,01 m/s, lo que refleja que en la hora valle en la cual se ha realizado la simulación en invierno la velocidad del es muy reducida, lo que favorece la deposición de materiales, empeorando la calidad del agua. En cualquier caso, ésta es una situación usual en modelos de simulación, ya que al utilizar el caudal medio consumido en un periodo para realizar la carga hidráulica, los valores medios obtenidos suelen laminar de forma significativa la demanda de los nudos, y con ella, la velocidad en las diferentes tuberías.

En la siguiente figura se representa la distribución velocidades en el plano del trazado de la red para el caso más desfavorable (hora punta en verano).

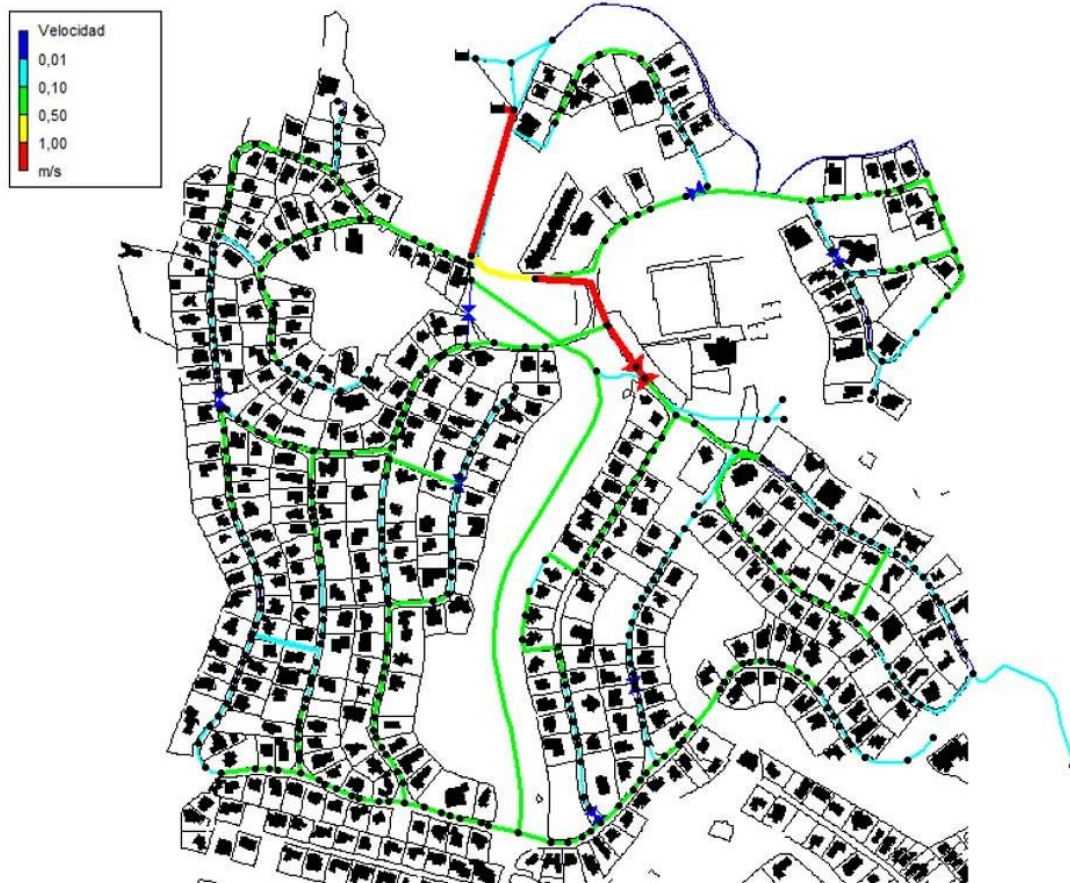


Figura 39. Distribución de velocidades en tuberías para verano (hora punta).

5.1.3 Pérdidas unitarias

Se denominan pérdidas unitarias a las pérdidas de presión de una tubería por la longitud que ha recorrido el fluido a través de ella. Estas pérdidas son consecuencia de la fricción que existe en las paredes de la tubería y el fluido y también de la fricción del fluido consigo mismo en su movimiento. En la siguiente figura se reflejan las pérdidas unitarias en la red de tuberías de Los Monasterios para el escenario de verano en hora punta, es decir, el caso más desfavorable.

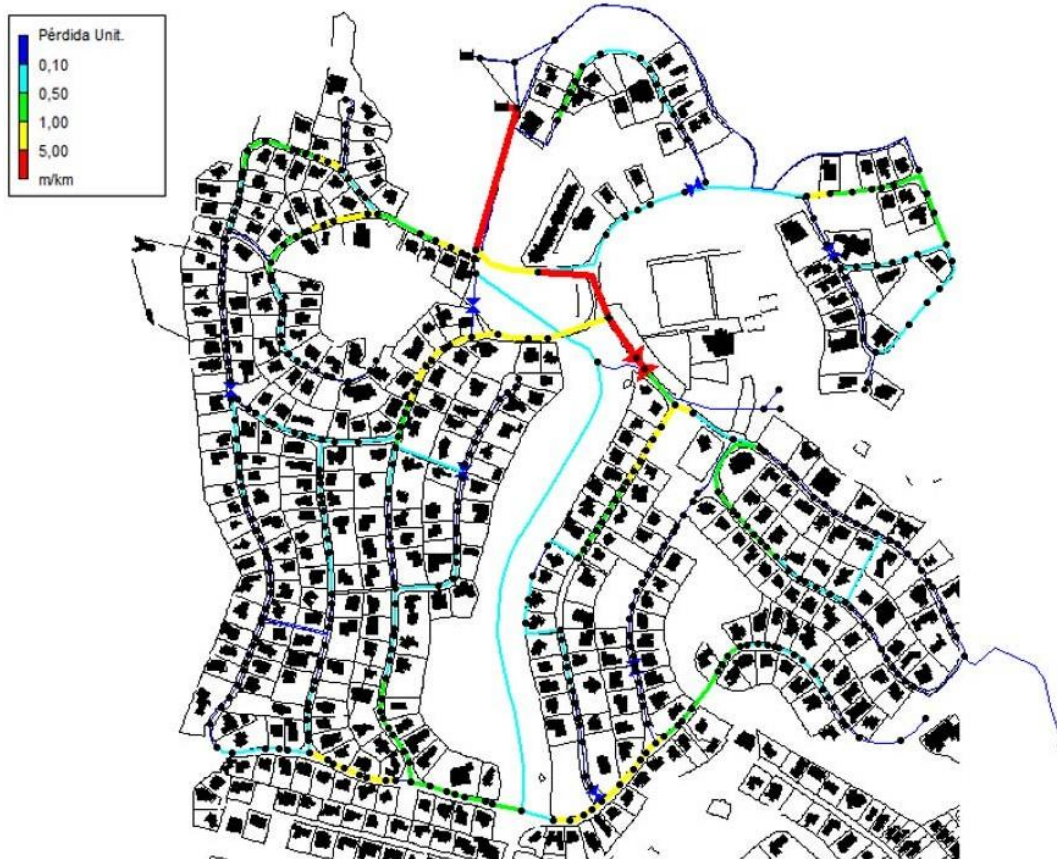


Figura 40. Distribución de pérdidas unitarias en tuberías para verano (hora punta).

La Figura 40 muestra que las mayores pérdidas unitarias aparecen a la salida del depósito Intermedio y en el tramo de tubería aguas arriba de la válvula reductora de presión del sector perteneciente a este mismo depósito. Quitando estos dos tramos no se localizan en la red más tuberías en las cuales las pérdidas unitarias se sitúen por encima de 5m/km.

En la Tabla 26 se muestran las pérdidas unitarias máximas y mínimas para ambos escenarios así como la media calculada de éstas. Las pérdidas máximas que se observan en ambos escenarios corresponden con la válvula reductora de presión mencionada y que la media de las pérdidas unitarias de toda la red está por debajo de la unidad por lo que éstas solo son elevadas en tramos concretos y no representan un problema para la red en términos generales.

	J_{\max} (m/km)	Media (m/km)
Invierno	35,95	0,09
Verano	28,88	0,554

Tabla 26. Pérdidas unitarias en tuberías.

Los gráficos que aparecen en las siguientes figuras (Figura 41 y Figura 42), representan la distribución de las pérdidas unitarias para los escenarios de invierno y verano.

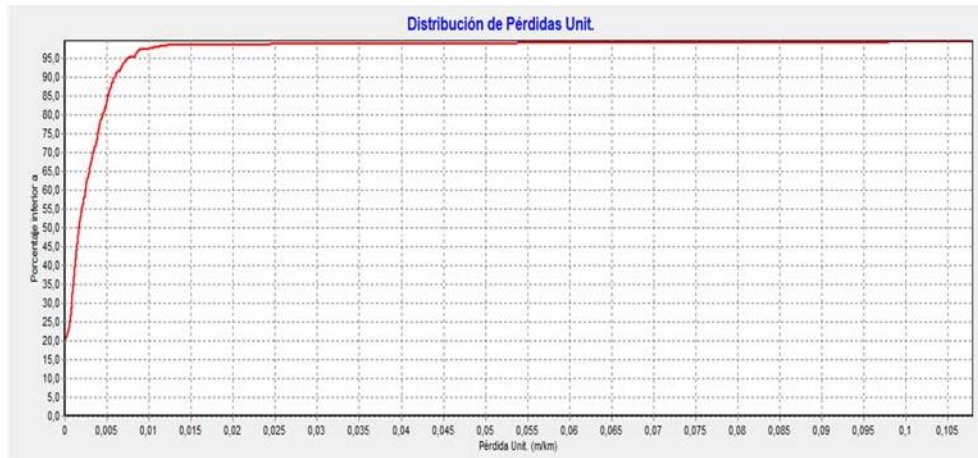


Figura 41. Curva de distribución de pérdidas unitarias en invierno.

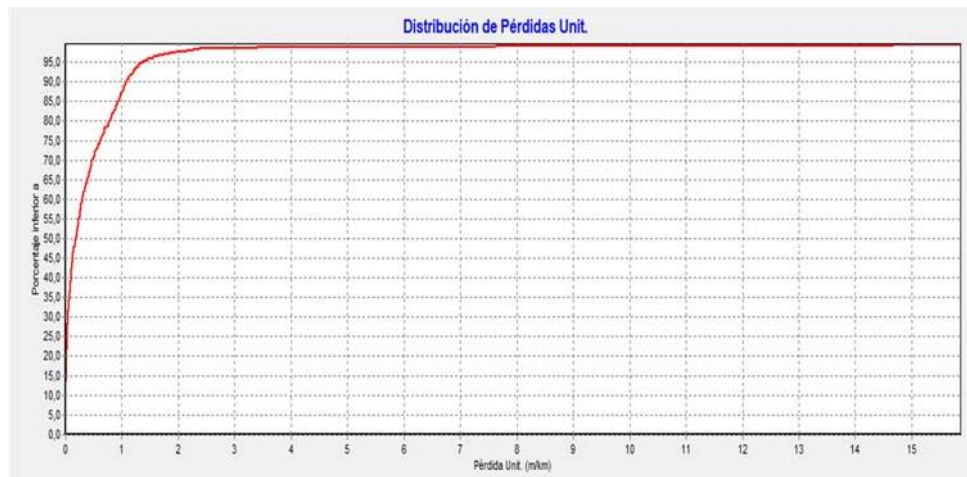


Figura 42. Curva de distribución de pérdidas unitarias en verano.

El escenario de invierno (Figura 41) representa las pérdidas unitarias durante la hora valle, es decir, durante la franja horaria de menor consumo. Se puede observar que el 50% de las pérdidas unitarias en el trazado de la red se sitúan en torno a 0,02 m/km y que tan solo hay un 2,5% de las tuberías con pérdidas por encima del 0,01 m/km.

En cuanto al escenario de verano (Figura 42), muestra una distribución de pérdidas unitarias mayores que en invierno. Esto se debe a que se ha simulado durante la hora punta por lo que el caudal circulante es mayor que en invierno lo que produce que aumenten las pérdidas. Aun así, el 50% de las pérdidas unitarias de la red son menores a 0,25 m/km y el 85% de estas se sitúan por debajo de la unidad. Todo esto refleja que las pérdidas unitarias en la red de Los Monasterios no generan ninguna deficiencia en términos hidráulicos y que tan solo son elevadas en los dos tramos que aparecen en la Figura 40, esto indica se podría valorar la posibilidad de renovar estos tramos.

5.2 Presiones en nudos

Una variable principal que afecta directamente a los usuarios de la red es la presión de los nudos, ya que dependiendo de esta presión el agua llegará a los usuarios en mejores o peores condiciones de presión influyendo en la calidad del servicio. Además, con presiones mayores, las fugas en juntas serán mayores y las roturas en juntas, tuberías y otros elementos de una red serán más frecuentes: la presión adecuada en los nudos de un sistema de suministro de agua potable ha de estar entre los 20 mca y los 50 mca para evitar este tipo de problemas.

Sin embargo, la red de Los Monasterios es una red que trabaja a presiones más altas de lo normal. La red analizada en el presente TFG trabaja con valores de presión en los nudos entre 30 y 70 mca debido a la irregularidad del terreno y a la diferencia de cotas respecto los depósitos y los nudos.

5.2.1 Presiones de servicio a usuarios

La Figura 43 para el escenario de invierno y la Figura 44 para el escenario de verano, representan las isolíneas de presión para el escenario correspondiente. En un primer análisis se puede observar que hay una gran similitud en cuanto a las presiones en los nudos entre los escenarios de invierno y de verano.

En lo que respecta a las presiones menores en la red, prácticamente todos los nudos del sistema están por encima de la mínima presión requerida para garantizar un servicio adecuado. Los puntos de menor presión se encuentran localizados en los nudos próximos a los depósitos, los cuales no tienen consumo.

Sin embargo, hay varias zonas en la red donde la presión se sitúa por encima de los 50 mca. El área que representa a los nudos con presiones por encima de 50 mca (rojo) es ligeramente mayor en el escenario de invierno que en el de verano. Esto indica que en invierno hay más nudos con valores de presión por encima de la máxima recomendada. Los nudos mencionados se encuentran localizados en el sector del depósito Intermedio y en el sector del depósito Superior. Estos depósitos se encuentran a elevadas cotas, lo que hace que la diferencia de altura con estos nudos sea mayor, produciendo elevadas presiones en los nudos que se encuentran a menor cota en cada sector. En cuanto a los nudos pertenecientes al sector de los depósitos Gemelos, se puede observar que la presión en los nudos se encuentra entre 50 y 20 mca, lo cual garantiza que se está dando un servicio adecuado a estos usuarios.

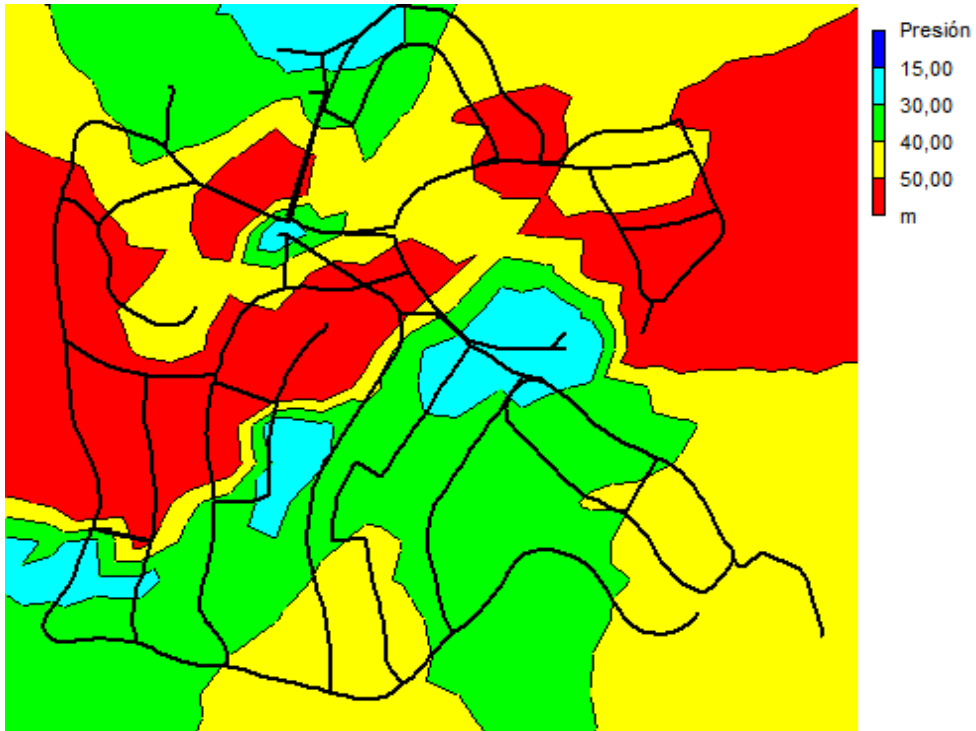


Figura 43. Mapa de contorno de presiones en invierno (hora valle).

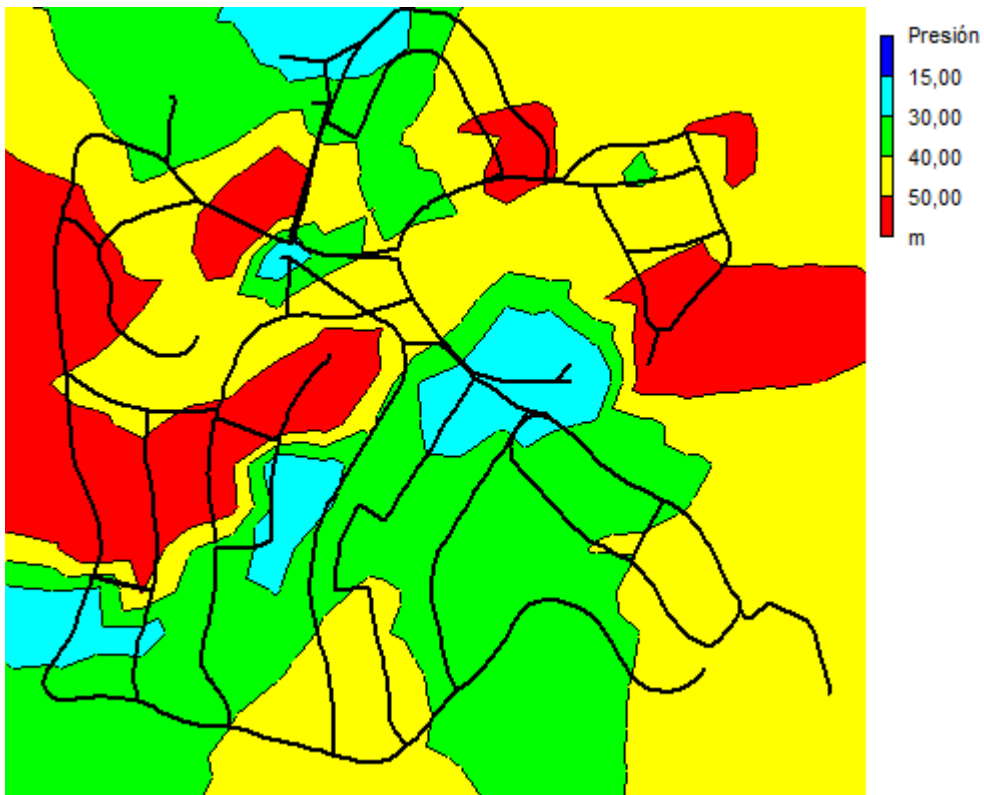


Figura 44. Mapa de contorno de presiones en verano (hora punta).

5.2.2 Presiones en los nudos

En la siguiente tabla se muestra las presiones máximas, mínimas, media y desviación típica en los nudos del sistema para ambos escenarios. Se puede ver claramente en la tabla anterior que en el escenario de invierno la presión en términos generales sea mayor y también indica que en invierno hay más nudos cuyas presiones se sitúan por encima de 50 mca (corroborando de esta forma lo visto en los mapas de isolíneas de las figuras Figura 43 y Figura 44).

	P_{min} (mca)	P_{max} (mca)	P_{MED} (mca)	Desviación (mca)
Invierno	1	76,96	43,49	13,14
Verano	0,99	71	42,71	11,76

Tabla 27. Presiones en los nudos de la red.

En las siguientes figuras se muestran la distribución de pérdidas obtenidas para cada uno de los escenarios simulados.

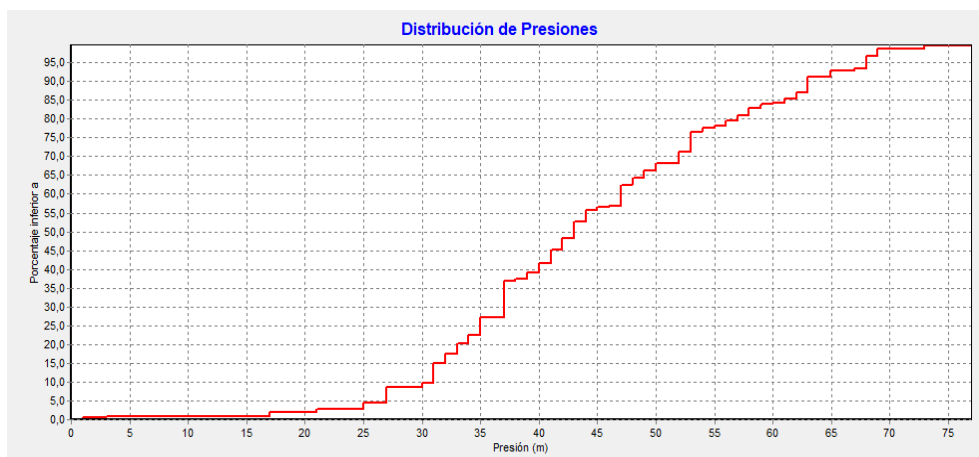


Figura 45. Curva de distribución de presiones en invierno (hora valle).

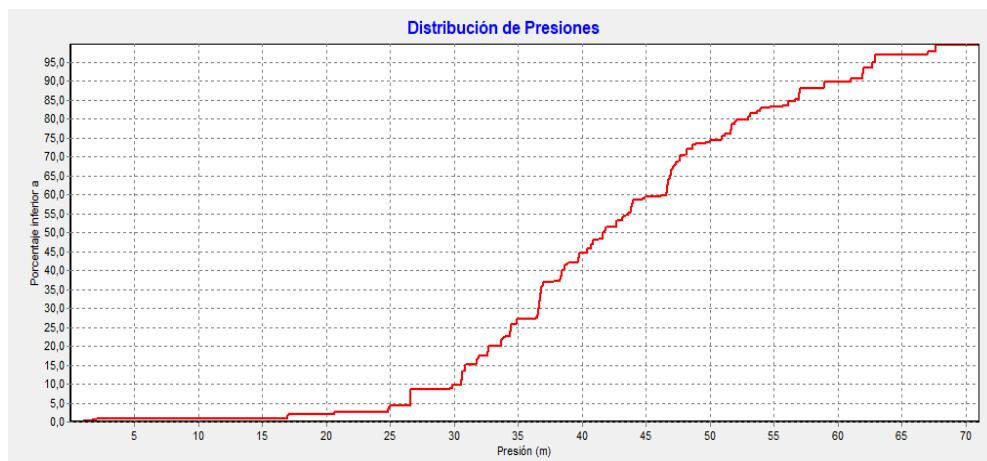


Figura 46. Distribución de presiones en verano (hora punta).

Entrando en más detalle, la curva de distribución de presiones del escenario de invierno (Figura 45) muestra que el 50% de los nudos de la red tienen una presión inferior a 44 mca y que el 32 % de los nudos registran un valor de presión superior a 50 mca. En cambio, estos porcentajes varían si se analiza la curva de distribución de presiones para verano (Figura 46): en ella se puede observar que el 50% de los nudos tienen una presión inferior a 42 mca y que el 25% de los nudos registran valores superiores a 50 mca. Comparando ambos escenarios, se observa que cuando menor es la demanda aumenta la presión en los nudos del sistema, lo que era de esperar.

La Figura 47 representa el plano de la red de suministro mostrando las presiones en los nudos en la hora de menor consumo (hora valle) en invierno, ya que se trata del caso más desfavorable para diagnosticar las máximas presiones. Como se aprecia en dicha figura, aparecen varios nudos en el sistema con elevadas presiones.

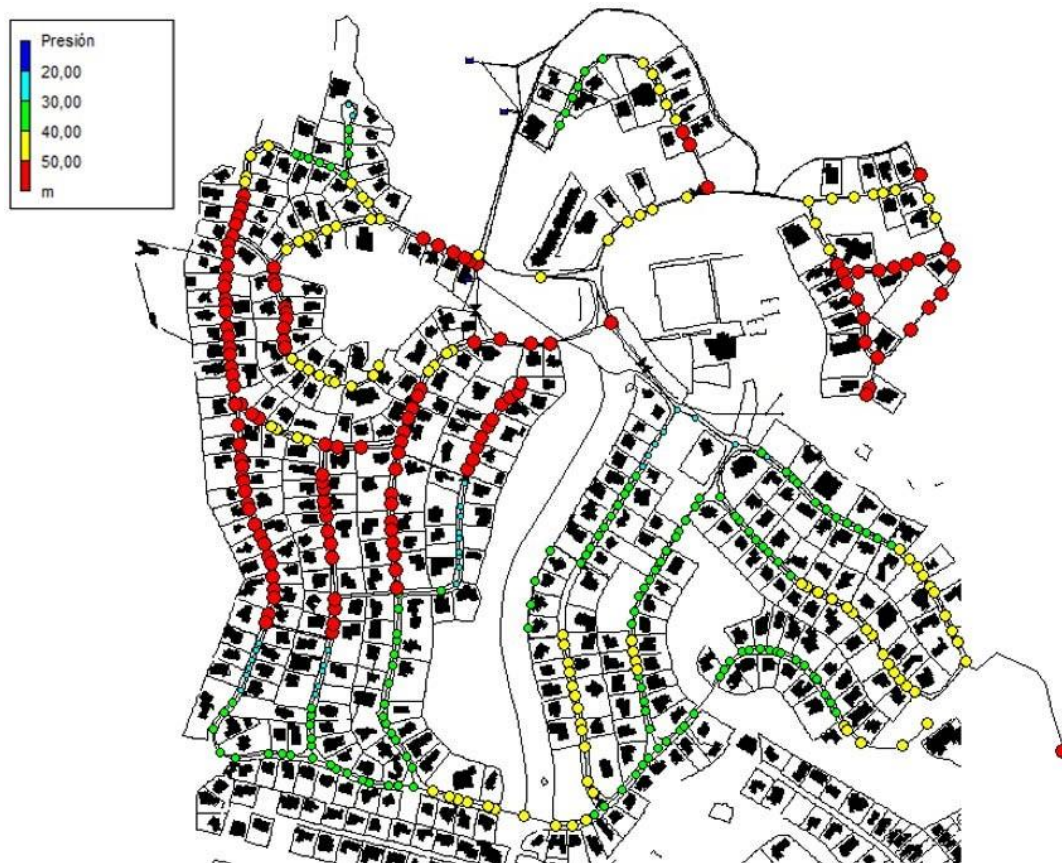


Figura 47. Presiones en los nudos de la red en invierno

Por otra parte, en la Figura 48 se muestran las presiones para cada uno de los nudos de la red de la urbanización para la hora de máxima demanda (hora punta) en verano. Se puede observar en la figura que todos en todos los nudos se cumple con la mínima presión recomendada de 20 mca, pero para este escenario las presiones siguen siendo elevadas al igual que sucede en invierno



Figura 48. Presiones en los nudos de la red en verano

Las altas presiones en el sistema provocan que las fugas de caudal sean excesivas, lo que justifica que las pérdidas del sistema vistas en el punto 4.1.3 produzcan una diferencia entre el volumen registrado y el inyectado del 27,04 %. Cabe añadir que estas presiones elevadas puedan llegar a provocar la rotura de las tuberías debido a que están sometidas a grandes esfuerzos. En conclusión, se ha observado a partir de los resultados obtenidos que hay nudos en la red con presiones superiores a 70 mca y, por tanto, una de las medidas correctoras tendrá que ser introducir elementos para reducir la presión en los nudos de la red.

6. ACCIONES DE MEJORA

En este capítulo se van a proponer acciones correctoras las cuales mejoran la calidad de servicio de la red. En primer lugar, se van a introducir válvulas reductoras (VRP) para conseguir poder reducir la presión en el mayor número de nudos posibles para que la presión no supere los 50 mca. Además, se realizará un plan para cambiar las tuberías de fibrocemento que, como se ha mencionado anteriormente, contienen amianto y pueden ser perjudiciales para la salud.

6.1 Instalación de válvulas reductoras de presión (VRP)

Como se ha podido concluir en el capítulo anterior, la presión en muchos nudos de la red de suministro es superior a 50 mca, lo cual es negativo para el sistema ya que esto aumente las pérdidas debido a las fugas. Por esta razón se ha propuesto instalar una serie de válvulas reductoras de presión en varios puntos de la red. Se han calculado dos soluciones que consiguen reducir la presión a valores razonables por debajo de 50 mca.

La primera solución, consiste en la introducción de dos válvulas VRP situadas en dos puntos estratégicos con el fin de reducir la presión en el máximo número de nudos posibles. Gracias a la instalación de la válvula VRP1 en la posición de la tubería p14 (FC) con un valor de consigna de 49 mca, se ha conseguido reducir la presión en una gran parte de nudos del sector del depósito superior. También se ha introducido la válvula VRP2 en la posición de la tubería p340 (FC) con un valor de consigna de 25 mca. Las nuevas presiones obtenidas en la red con esta disposición se muestran en la siguiente tabla.

	P_{\min} (mca)	P_{\max} (mca)	P_{MED} (mca)	Desviación (mca)
Invierno	1	62	35,47	9,09
Verano	0,99	58,88	34,57	8,64

Tabla 28. Presiones obtenidas con las válvulas VRP1 y VRP2.

Si se comparan estas presiones con las presiones obtenidas en la Tabla 27 del apartado 0, se puede ver que se ha conseguido reducir tanto la presión media de la red de 43,49 a 35,47 mca en invierno, como la presión máxima de la red, la cual ha pasado de 76,96 a 62 mca también en invierno. Esta presión máxima de 62 mca obtenida corresponde con el nudo n61.

Con la solución de 2 VRPs sigue habiendo algunos puntos cuyas presiones se sitúan por encima de 50 mca, por lo que se ha propuesto una segunda solución donde se propone instalar una tercera válvula VRP3 en la posición de la tubería p52 con una consigna de 25 mca. Esta solución tiene un coste mayor debido a que se necesita instalar una válvula adicional, pero se consigue reducir la presión en los nudos del sector del depósito Superior, los cuales seguían teniendo presiones superiores a 50 mca en la solución anterior.

En la siguiente tabla se muestran las presiones obtenidas en la red para la solución con las tres válvulas reductoras de presión vistas. La Tabla 29 muestra que en esta solución se ha conseguido reducir la presión media de la red, así como la presión máxima que ahora pasa a ser de 59 mca, pero corresponde al nudo n100.

	P_{min} (mca)	P_{max} (mca)	P_{MED} (mca)	Desviación (mca)
Invierno	1	59	34,82	8,73
Verano	0,99	56,82	31,07	7,32

Tabla 29. Presiones obtenidas con las válvulas VRP1, VRP2 y VRP3.

Hay que añadir que en ambas soluciones propuestas se ha decidido cerrar la tubería p210 para mejorar el rendimiento de la una de las válvulas VRP ya instaladas (Figura 17) y reducir la presión de los nudos próximos a ella.

En la Figura 49 se muestran las localizaciones de las válvulas reductoras de presión propuestas, además del tramo de tubería que se ha tenido que cerrar.

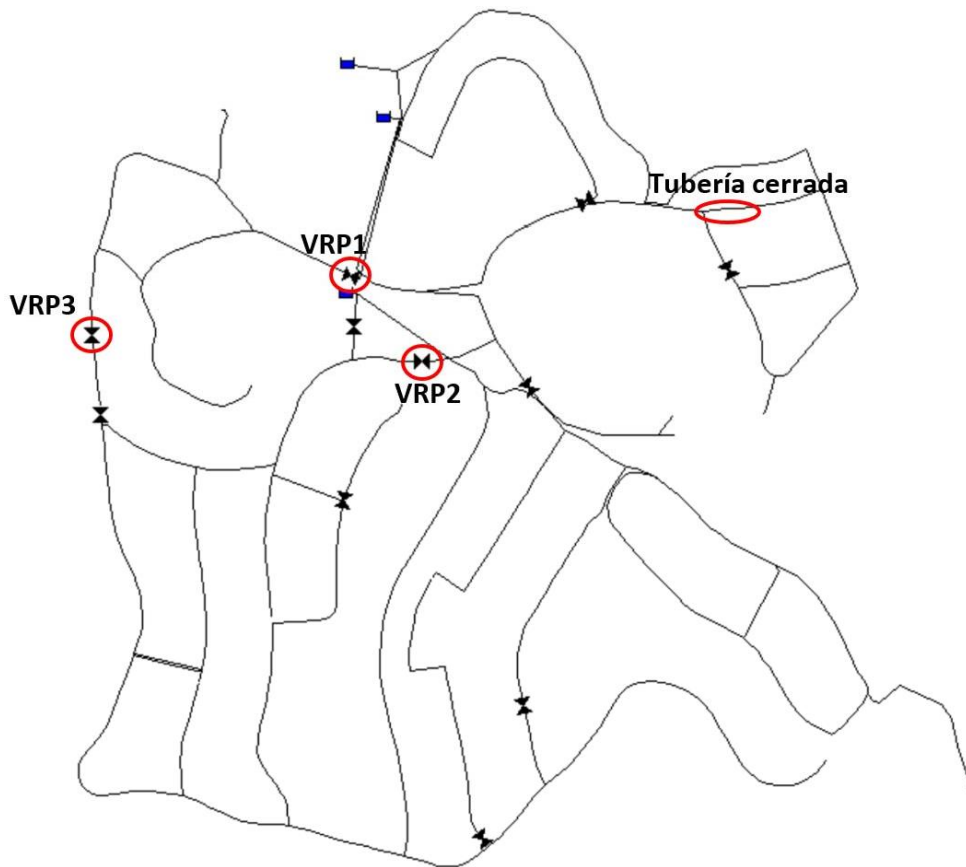


Figura 49. Localización de las nuevas válvulas reductoras de presión.

En las siguientes figuras se muestran en detalle las válvulas reductoras de presión instaladas para mejorar el funcionamiento de la red y las presiones de entrada y salida de éstas:

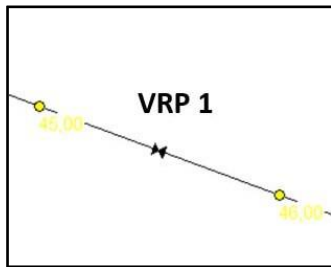


Figura 50. Detalle VRP1.

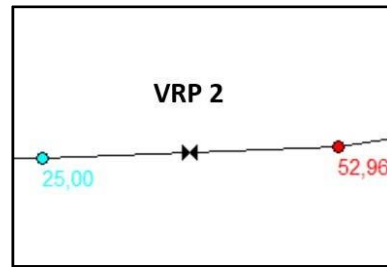


Figura 51. Detalle VRP2.

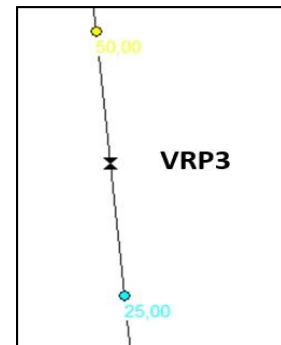


Figura 52. Detalle VRP3.

En las figuras de a continuación se representan los mapas de contorno de presiones de las dos soluciones propuestas y del estado original de presiones de la red.

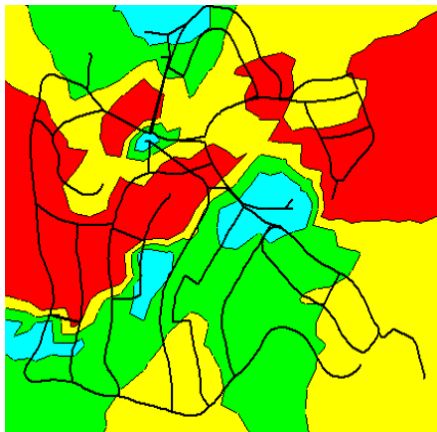


Figura 53. Mapa de contorno de presiones sin VRP.

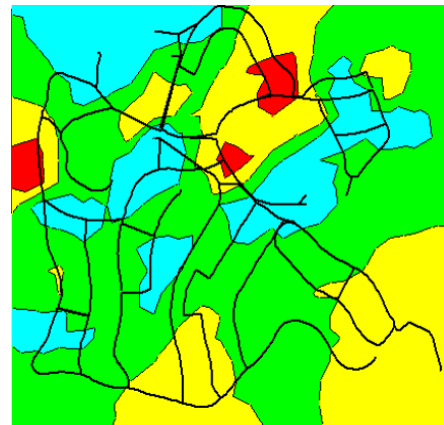


Figura 54. Mapa de contorno de presiones con VRP1 y VRP2.

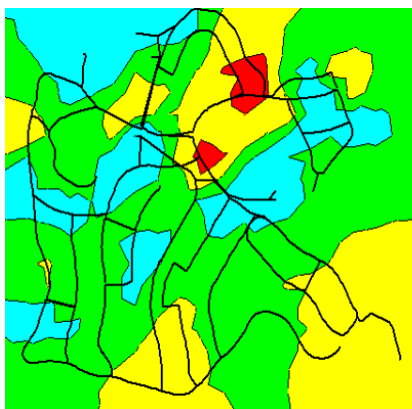
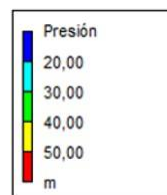


Figura 55. Mapa de contorno de presiones con VRP1, VRP2 y VRP3.



La Figura 56 muestra el resultado final de las presiones en todos los nudos de la red con las tres nuevas válvulas VRP instaladas.

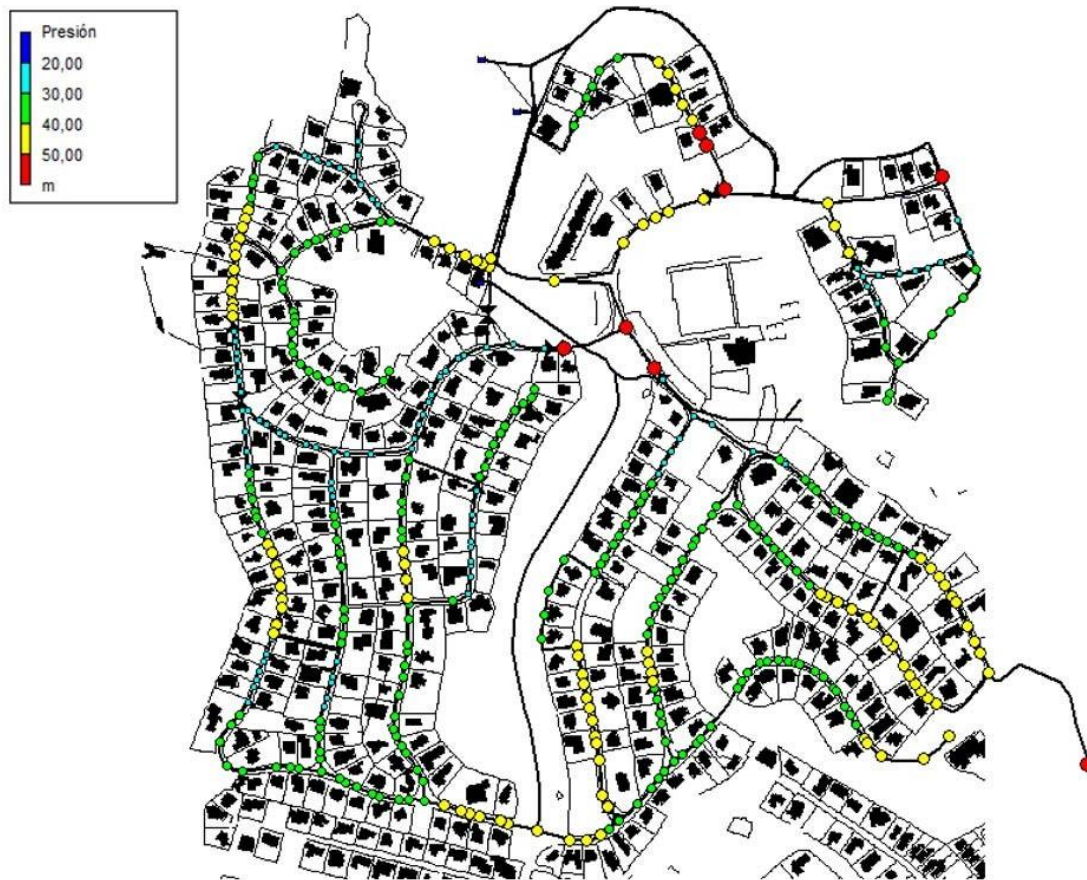


Figura 56. Presiones en los nudos de la red con las válvulas VRP1, VRP2 y VRP3

Finalmente, se considera como solución final para reducir las presiones en los nudos de la red, la instalación de tres válvulas reductoras de presión. De esta forma se consigue reducir la presión en un número mayor de nudos disminuyendo la presión media de la red a 34,82 mca. Además, con esta solución hay un mayor número de usuarios con presiones en sus nudos por debajo de 50 mca. Aun así, sigue habiendo unos pocos nudos con presiones por encima de 50 mca pero las presiones en estos nudos no llegan a los 70 o 80 mca como sucedía anteriormente en la red.

6.2 Plan de sustitución de tuberías de fibrocemento (FC)

Otra acción propuesta para mejorar la calidad del agua que reciben los consumidores en Los Monasterios es la sustitución de las tuberías de fibrocemento por tuberías de polietileno serie PE 100 con presión nominal PN 10 atm. Como ya se ha expuesto en el capítulo dos, la gran mayoría de las tuberías de la red de la urbanización son de este material (67,41 %) y dado su alto contenido en amianto se propone retirar los 8.387 m de tuberías de fibrocemento y remplazarlas por las tuberías de PE en un plazo de 5 años.

Tras realizar el análisis de los resultados obtenidos se considera que el diámetro de las tuberías instaladas es suficiente, por lo que se utilizará un diámetro similar para las nuevas tuberías de PE. En la Tabla 30 se muestra el diámetro de las tuberías nuevas tuberías de PE a instalar para que sustituyan a las de fibrocemento, además se detallan las longitudes y los porcentajes de cada una.

DN FC (mm)	DN PE 100 (mm)	DI PE 100 (mm)	Longitud (m)	Porcentaje (%)
100	110	99,4	170	2,02
110	110	99,4	4143	49,40
160	160	144,6	2865	34,16
300	315	285	934	11,14
500	500	452,2	275	3,28

Tabla 30. Relación de diámetros de tuberías de FC a remplazar por tuberías de PE

Para la sustitución de las tuberías se han priorizado las tuberías las cuales salen directamente de los depósitos porque un fallo en estas por avería dejaría a un mayor número de usuarios incomunicados de la red de suministro, por ejemplo, la tubería a la salida del depósito de superior dejaría incomunicados a 110 nudos en caso de que se produjese una avería por lo que está tubería se considera como prioritaria. Una vez sustituidas las tuberías principales, se han ido sustituyendo el resto de tuberías por zonas intentando que se remplazaran una cantidad similar de metros de tuberías todos los años. En la siguiente tabla se detallan las longitudes de cada diámetro de tuberías mostrando en que año se sustituirán.

PLAN	Longitud (m) PE Ø110 mm	Longitud (m) PE Ø160 mm	Longitud (m) PE Ø315 mm	Longitud (m) PE Ø500 mm	Longitud total (m)	% Realizado del plan
AÑO 1	-	465	935	275	1674	19,96
AÑO 2	900	704	-	-	1604	39,08
AÑO 3	507	1159	-	-	2066	63,72
AÑO 4	1482	137	-	-	1619	83,02
AÑO 5	1424	-	-	-	1424	100

Tabla 31. Longitud de cada diámetro de tuberías de PE a instalar.

Finalmente la Figura 57 se muestra el plan de sustitución de tuberías a seguir para poder reemplazar todas las tuberías de fibrocemento en un periodo de 5 años:

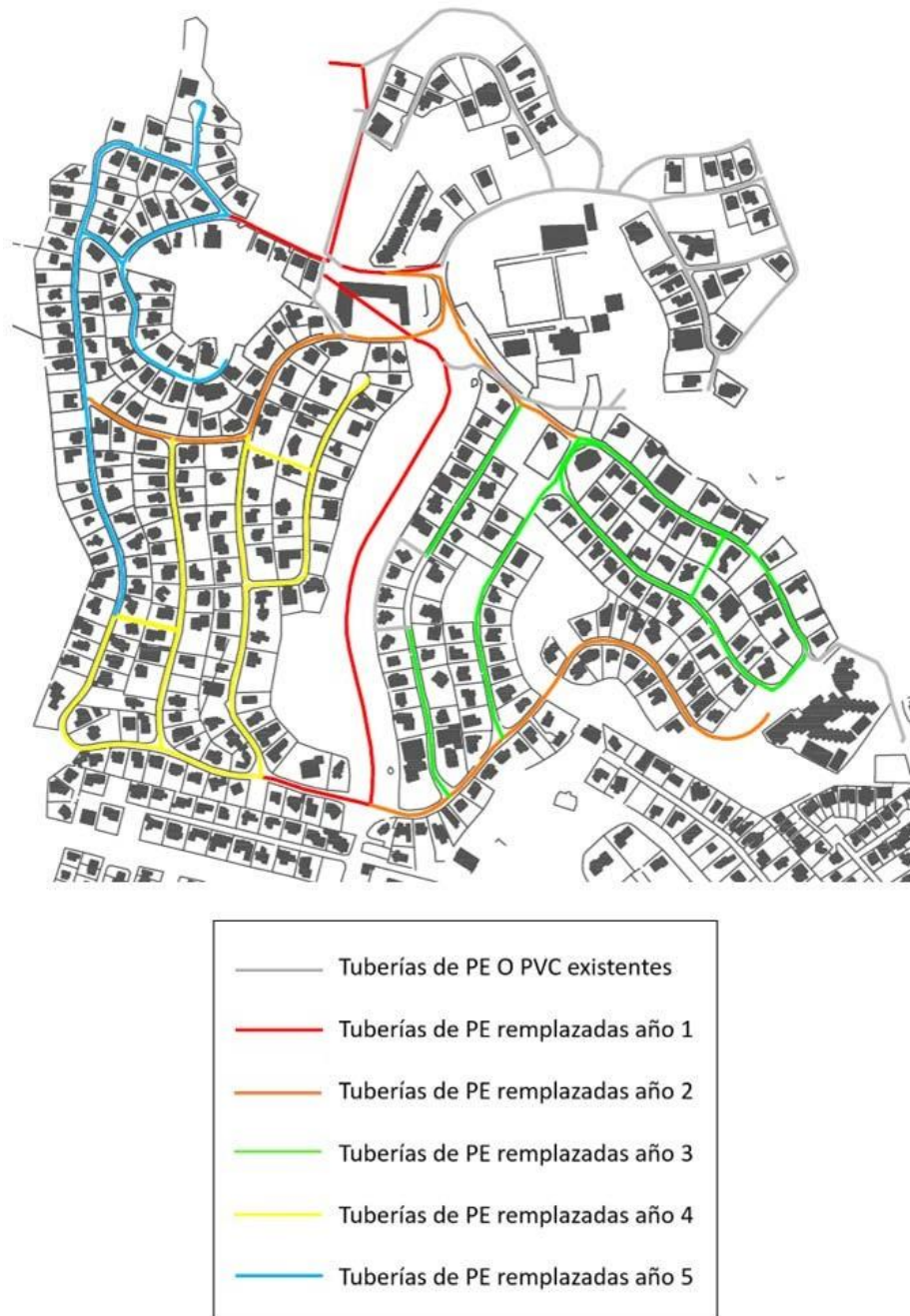


Figura 57. Plan de sustitución de tuberías de FC.

6.3 Presupuesto del proyecto

En este apartado se a muestra de manera resumida el coste total de la inversión para llevar a cabo las dos acciones de mejora propuestas: instalación de las tres válvulas reductoras de presión y la sustitución de las tuberías de fibrocemento por tuberías de polietileno. En el documento de presupuestos aparecen con más detalle los costes desglosados de cada partida.

La mayor parte de los costes, concretamente el 43%, para la realización de las medidas de mejora se destinan a la partida de demoliciones, recomposiciones y arquetas. Engloba los costes de las demoliciones del pavimento de las calzadas y aceras, las recomposiciones de las mismas y la realización de las arquetas necesarias para la instalación de las tres válvulas reductoras de presión, incluyendo además la mano de obra, material y maquinaria necesaria.

La segunda partida más costosa es la que representa el coste del movimiento de tierras, la cual representa un 25,22% del coste total de la inversión. Dicha partida abarca los costes de la excavación de las zanjas y tapado de las mismas, aparte de la mano de obra y maquinaria que se empleará para esta partida. Las partidas C03 y C024, representan los costes de las válvulas y tuberías que se instalaran en la red de la urbanización y su montaje, y constituyen el 18,15% y el 10,05 %, respectivamente, del presupuesto total del proyecto. Los costes de los materiales aparecen en la partida 3, y en la partida cuatro se detalla los costes de la mano de obra y maquinaria para la instalación de los elementos mencionados.

Por último, a parte restante del presupuesto se le dedica a la gestión de residuos, plan de seguridad y formación de operarios. También se emplea una pequeña parte del presupuesto destinada a mano de obra y maquinaria extra que será necesaria en momentos puntuales durante la realización de las obras para la instalación de las válvulas reductoras y sustitución de las tuberías. Estos costes aparecen en las partidas C05, C06 y C07 y representan el 1,97%, 1,57% y el 0,6%, respectivamente de la inversión necesaria.

Por tanto, la inversión necesaria para realizar las medidas propuestas con el fin de mejorar la calidad del servicio del suministro de agua potable en la urbanización Los Monasterios es de 653.059,22 euros. En la siguiente tabla aparecen los costes de las partidas necesarias:

Código	Resumen	Cant.	Precio unitario (€)	Importe (€)
C01	DEMOLICIONES, RECOMPOSICIONES Y ARQUETAS	1	280.921,27	280.921,27
C02	MOVIEMEINTO DE TIERRAS	1	164.722,43	164.722,43
C03	VÁLVULAS, TUBERÍAS Y PIEZAS ESPECIALES	1	118.554,13	118.554,13
C04	MONTAJE	1	65.649,46	65.649,46
C05	GESTIÓN DE RESIDUOS	1	12.551,52	12.551,52
C06	VARIOS	1	10.266,79	10.266,79
C07	SEGURIDAD Y SALUD – FORMACIÓN DE LOS OPERARIOS	1	393,62	393,62
TOTAL PRESUPUESTO (€)			653.059,22	653.059,22

Tabla 32. Presupuesto total del proyecto.

7. CONCLUSIONES

Este TFG se ha centrado en el análisis de la situación actual de funcionamiento de la de la red de suministro de agua potable de la urbanización de Los Monasterios, situada mayoritariamente en el término municipal de Puzol (Valencia), y el planteamiento de posibles actuaciones para mejorar su eficiencia y poder minimizar los fallos y pérdidas que se puedan estar generando actualmente. Para la consecución de estos dos objetivos principales, ha sido necesaria la implementación de un modelo matemático de simulación de la red de distribución de agua potable de la urbanización de Los Monasterios, utilizando el software EPANET 2.0. La implementación de este modelo requiere obtener la información suficiente sobre la red de suministro y de las demandas existentes, para lo que se ha contado fundamentalmente de la colaboración de la gerencia de la urbanización y con la realización de trabajo de campo adicional.

La urbanización de Los Monasterios es de tipo residencial con viviendas unifamiliares y tiene dos características que hacen que su red de suministro de agua potable sea especialmente interesante. En primer lugar, la urbanización presenta fuertes diferencias de cotas, lo que a priori puede suponer que existan deficiencias en las presiones reales de suministro que expliquen la frecuencia excesiva de averías en el sistema. En segundo lugar, el consumo mayoritario es para el riego de jardines particulares, que en verano pueden concentrar en pocas horas fuertes demandas de caudales y sobre el que existen muy pocos estudios previos en España. Además, es suficientemente antigua para que tenga una buena parte de las tuberías de fibrocemento.

La red de suministro de esta urbanización se caracteriza por disponer de tres fuentes posibles de suministro (2 pozos propios, la comunidad de regantes de la Costera y Aguas de Valencia), 4 depósitos en la red, 4 bombas, 12,44 km de tuberías (de las cuales el 67 % siguen siendo de fibrocemento y el resto de PVC y PE), 6 válvulas de sector y 2 válvulas reductoras de presión. Para la carga de esa información en EPANET se han utilizado los programas AutoCAD y EpaCAD. Se ha asumido que los depósitos funcionan a nivel constante.

En los últimos tres años el agua producida en total por las fuentes de suministro ha sido de aproximadamente 480 mil m³/año. Sin embargo, el consumo es sensiblemente inferior, debido a unas pérdidas en el sistema del orden del 26%. Este porcentaje de pérdidas en la red de la urbanización son elevadas en comparación a la media de a las pérdidas obtenidas en redes de abastecimiento de agua potable en España, las cuales se sitúan según un informe del Observatorio Español de Sostenibilidad (OES) en el año 2012 entorno al 17,5%.

La mayor parte de los usuarios (413) son viviendas unifamiliares con parcelas de 1.000 m² y un fuerte consumo para riego de jardín. El grado de desocupación es del 26%. La estacionalidad del consumo es muy fuerte, siendo el consumo mínimo de invierno de unos 1.000 l/día y en verano de 4.000 l/día, es decir, cuatro veces más en verano que en invierno. La variabilidad entre estos usuarios es muy alta. Para el cálculo de la demanda base de las parcelas se decidió asignar a todos los nudos un consumo idéntico, igual al promedio de los valores consumidos por estos usuarios. Además, existen otros grandes usuarios, como son el Colegio El Hispano, el Club Social y un bloque de Apartamentos.

Se plantearon 2 escenarios de demandas correspondientes con la hora valle de invierno (meses de enero-febrero) y la hora punta de verano (meses de julio-agosto) para poder realizar las simulaciones correspondientes con el modelo en EPANET. La curva de modulación de las parcelas en invierno se basó en un estudio sobre consumo de viviendas unifamiliares que realizó el Canal de Isabel II en la Comunidad de Madrid (Canal de Isabel II, 2008). Para el escenario de invierno se tuvo en cuenta las condiciones habituales del riego de jardines que se concentra en unas pocas horas de la mañana o de la noche. Las curvas de modulación de los grandes usuarios se obtuvieron de forma estándar.

Como resultado de las simulaciones, se obtuvo que los caudales se distribuyen de forma similar en ambos escenarios, siendo mayores lógicamente en el de verano. Las velocidades máximas son aceptables, pero las velocidades en la hora valle de invierno son relativamente bajas. Las pérdidas unitarias en general son aceptables, salvo en las tuberías más cercanas a los depósitos, donde superan de forma significativa los 5mca/km. Sin embargo, la red trabaja a presiones más altas de lo normal, con valores de presión en los nudos entre 30 y 70 mca debido a la irregularidad del terreno y a la diferencia de cotas respecto los depósitos y los nudos.

Se han propuesto una serie de medidas para mejorar la eficiencia de la red logrando reducir las presiones hasta alcanzar valores razonables para que los usuarios puedan recibir un mejor servicio. En primer lugar, se han introducido tres válvulas reductoras de presión situadas estratégicamente en la red para reducir la presión en los nudos a valores por debajo de los 50 mca. Además, se ha mejorado la calidad del agua que circula por la red al reemplazar los algo más de 8 km de tuberías de fibrocemento, las cuales contienen amianto que es perjudicial a largo plazo para la salud de los usuarios, por tuberías de PE.

Por último, se ha confeccionado un presupuesto con el que se ha valorado el coste de la inversión total necesaria para llevar a cabo estas dos actuaciones, y que asciende a 653.059,22 euros.

8. BIBLIOGRAFÍA

AGUAS DE VALENCIA. (s.f.). Detalles constructivos para planos. (s.f.).

Arregui De La Cruz, F., Cabrera Rochera, E., Cobacho Jordán, R., Soriano Olivares, J., & Gómez Sellés, E. (2017). *Apuntes de mecánica de fluidos*. Universidad Politécnica de Valencia.

Artículo sobre tuberías de fibrocemento. La vanguardia. (08 de 03 de 2017). Obtenido de <http://www.lavanguardia.com/vida/20170308/42675330945/el-congreso-acuerda-sustituir-tuberias-de-fibrocemento-por-contener-amianto.html>

CONSEJO, D. 2. (s.f.). Obtenido de https://www.subsport.eu/wp-content/uploads/2011/01/asbestos-dir_es.pdf

EPANET 2 Manual de Usuario (Español) Versión 2.0 vE. (s.f.). Versión traducida por el Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos de la Universidad Politécnica de Valencia. (U. E. Agency, Editor) Recuperado el 20 de junio de 2017, de EPANET.info: http://epanet.info/wp-content/uploads/2012/10/EPANET_Manual_Usuario.pdf

EPANET., E. (. (s.f.).

EPANET.info. (4 de abril de 2012). *Cómo cargar un mapa de fondo de AUTOCAD en EPANET*. Recuperado el 29 de abril de 2017, de EPANET.info: <http://epanet.info/como-cargar-un-mapa-de-fondo-en-epanet-de-autocad/>

EPANET.info. (22 de octubre de 2012). *Cómo convertir un fichero de Autocad a Epanet*. Recuperado el 28 de abril de 2017, de EPANET.info: <http://epanet.info/como-convertir-un-fichero-de-autocad-a-epanet/>

(2001). *Estudio de la res de suministro de agua potable de Los Monasterios. Aguas de Valencia*. Puzol.

Fabra Arbona, L. (2016). ANÁLISIS Y PROYECTO DE SECTORIZACIÓN DE LA RED DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE DE LAS URBANIZACIONES DEL PLANTIO Y LA CAÑADA. SECTOR SUR.

Gonzalez, F. C. (2008). *Microcomponentes y factores explicativos del consumo doméstico de agua en la Comunidad de Madrid. Canal Isabel II*. Madrid.

Infojardin. (s.f.). Obtenido de <http://archivo.infojardin.com/tema/riego-por-goteo-dosis-y-tiempo-de-riego.1322/>

Materiales FRANS BONHOMME. (Mayo de 2017). CONDUCCIÓN DE AGUA POTABLE Y ACOMETIDAS. Tubos de PVC. Recuperado el 10 de mayo de 2017

Real Decreto 140/2003, d. 7. (s.f.). Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-3596>

DOCUMENTO II

PRESUPUESTO

MODELADO DE LA RED DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE DE LA URBANIZACIÓN DE LOS MONASTERIO!

Presupuesto

Código	NatC	Ud	Resumen	CanPres	Pres	ImpPres
C01	Capitulo		DEMOLICIONES, RECOMPOSICIONES Y ARQUETAS	1	280.921,27	280.921,27
DA02010	Partida	M2	DEMOLICION ACERAS (alojamiento 3 VRPs)	9,00	78,10	702,90
			DEMOLICIÓN DE ACERAS (DE BALDOSA HIDRÁULICA, HORMIGÓN, ASFALTO...), CON CORTE LIMPIO Y RECTO DE LOS BORDES DE ZANJA, INCLUSO BASE DE HORMIGÓN Y RETIRADA DE ESCOMBROS A VERTEDERO.			
MQPP002_A	Material	H	COMPRESOR DIÉSEL 4M3	2,0000	5,26	10,52
MMM036	Material	H	MARTILLO PICADOR NEUMÁTICO	2,1000	1,11	2,33
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN	3,5000	14,63	51,21
			PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.			
PAPP001_A	Material	m3	CARGA Y TRANSPORTE A LUGAR DE EM	2,3000	5,02	11,55
			CARGA Y TRANSPORTE A LUGAR DE EMPLEO O VERTEDERO.			
MMM005	Material	H	CAMIÓN BASCULANTE 12 TN	0,0495	21,80	1,08
			CAMIÓN BASCULANTE DE 12 TM.			
MMM044	Material	H	RETRO NEUMÁTICO 130CV 1M3	0,0148	65,28	0,97
			RETROEXCAVADORA DE NEUMÁTICOS DE POTENCIA 130 CV, CAPACIDAD DE LA CUCHARA RETROEXCAVADORA ESTÁNDAR 1 M3.			
%M.AUX	Otros	%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,1103	4,00	0,44
			Total DA02010	9,00	78,10	702,90
DA02075	Partida	ML	ARRANCADO DE BORDILLO	7,00	11,73	82,11
			ARRANCADO DE BORDILLO, INCLUSO BASE DE HORMIGÓN Y RETIRADA DE ESCOMBROS A VERTEDERO.			
MQPP002_A	Material	H	COMPRESOR DIÉSEL 4M3	0,0800	5,26	0,42
MMM036	Material	H	MARTILLO PICADOR NEUMÁTICO	0,0800	1,11	0,09
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN	0,2648	14,63	3,87
			PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.			
PAPP001_A	Material	m3	CARGA Y TRANSPORTE A LUGAR DE EM	1,0200	5,02	5,12
			CARGA Y TRANSPORTE A LUGAR DE EMPLEO O VERTEDERO.			
MMM005	Material	H	CAMIÓN BASCULANTE 12 TN	0,0495	21,80	1,08
			CAMIÓN BASCULANTE DE 12 TM.			
MMM044	Material	H	RETRO NEUMÁTICO 130CV 1M3	0,0148	65,28	0,97
			RETROEXCAVADORA DE NEUMÁTICOS DE POTENCIA 130 CV, CAPACIDAD DE LA CUCHARA RETROEXCAVADORA ESTÁNDAR 1 M3.			
%M.AUX	Otros	%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,0459	4,00	0,18
			Total DA02075	7,00	11,73	82,11
DA02660	Partida	M2	DEMOLICION PAVIMENTO ASF. O BASE HORM. 10 CM. PARA ZANJA DE 0.6 M PARA RENOVACIÓN TUBERÍAS 8387 ML	5.032,20	14,31	72.010,78
			DEMOLICIÓN BASE DE PAVIMENTO, DE HORMIGÓN DE 10 CM. DE ESPESOR, INCLUSO RETIRADA DE ESCOMBROS A VERTEDERO.			
MQPP002_A	Material	H	COMPRESOR DIÉSEL 4M3	0,1500	5,26	0,79
MMM036	Material	H	MARTILLO PICADOR NEUMÁTICO	0,1500	1,11	0,17
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN	0,6043	14,63	8,84
			PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.			
PAPP001_A	Material	m3	CARGA Y TRANSPORTE A LUGAR DE EM	1,0000	2,05	2,05
			CARGA Y TRANSPORTE A LUGAR DE EMPLEO O VERTEDERO.			
MMM005	Material	H	CAMIÓN BASCULANTE 12 TN	0,0495	21,80	1,08
			CAMIÓN BASCULANTE DE 12 TM.			
MMM044	Material	H	RETRO NEUMÁTICO 130CV 1M3	0,0148	65,28	0,97
			RETROEXCAVADORA DE NEUMÁTICOS DE POTENCIA 130 CV, CAPACIDAD DE LA CUCHARA RETROEXCAVADORA ESTÁNDAR 1 M3.			
%M.AUX	Otros	%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,1015	4,00	0,41
			Total DA02660	5.032,20	14,31	72.010,78
DA11010	Partida	M2	RECOMPOSICION DE ACERAS	9,00	107,94	971,46
			RECOMPOSICIÓN DE ACERAS (DE BALDOSA HIDRÁULICA, CEMENTO, ASFALTO...) INCLUSO BASE DE HORMIGÓN Y MORTERO DE AGARRE. BALDOSA 25X25 CM.			
MTPP1003_A	Material	m2		1,0000	9,57	9,57
MO003	Material	H	OFICIAL 1ª CONSTRUCCIÓN	0,0730	17,70	1,29
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN	0,1235	14,63	1,81
			PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.			
PAPP002_A	Material	m3	MORTERO CEM. PORTLAND+ARENA 250KG/M3,1:6,HORM.165L	0,2000	79,39	15,88
			MORTERO DE CEMENTO PORTLAND Y ARENA CON 250 KG/M3 DE CEMENTO, CON UNA PROPORCION EN VOLUMEN 1:6, ELABORADO EN LA OBRA CON HORMIGONERA DE 165 L			
MTA22300	Material	m3	AGUA	0,2000	1,12	0,22
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN	1,3476	14,63	19,72
			PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.			
MTPP1004	Material	T	ARENA PIEDRA GRANIT. P/MORTE.	1,6300	19,33	31,51
			ARENA DE CANTERA DE PIEDRA GRANÍTICA PARA MORTERO.			
MTPP1001_A	Material	t	CEMENTO PORT.ESCOR. CEM II/B-S/32,5,SACOS	0,2500	106,32	26,58
MMM033	Material	H	HORMIGONERA 165L	0,6708	2,03	1,36
			HORMIGONERA DE 165 L			
			Total PAPP002_A	9,0000	107,94	971,46

DA11075	Partida	ML	COLOCACION DE BORDILLO	7,00	115,52	808,64
			COLOCACIÓN DE BORDILLO, INCLUSO LECHO DE HORMIGÓN Y REJUNTADO CON MORTERO DE CEMENTO.			
MTPP1009_A	Material	m	BORDILLO PREF HORM., 20X25 CM.	1,0500	4,99	5,24
			BORDILLO PREFABRICADO DE HORMIGÓN, 20X25 CM.			
MO003	Material	H	OFICIAL 1ª CONSTRUCCIÓN	0,1165	17,70	2,06
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN	0,2470	14,63	3,61
			PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.			
PAPP002_A	Material	m3	MORTERO CEM. PORTLAND+ARENA 250KG/M3,1:6,HORM.165L	0,2500	83,69	20,92
			MORTERO DE CEMENTO PORTLAND Y ARENA CON 250 KG/M3 DE CEMENTO, CON UNA PROPORCION EN VOLUMEN 1:6, ELABORADO EN LA OBRA CON HORMIGONERA DE 165 L			
MTA22300	Material	m3	AGUA	0,2000	2,25	0,45
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN	1,3476	15,32	20,65
			PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.			
MTPP1004	Material	T	ARENA PIEDRA GRANIT. P/MORTE.	1,6300	21,26	34,65
			ARENA DE CANTERA DE PIEDRA GRANÍTICA PARA MORTERO.			
MTPP1001_A	Material	t	CEMENTO PORT.ESCOR. CEM II/B-S/32,5,SACOS	0,2500	106,32	26,58
MMM033	Material	H	HORMIGONERA 165L	0,6708	2,03	1,36
			HORMIGONERA DE 165 L			
			Total PAPP002_A	7,0000	115,52	808,64
DA11130	Partida	M2	RECOMP. PAVTº AGLOM. ASF. 10 FONO.	5.032,20	40,08	201.690,58
			RECOMPOSICIÓN DE PAVIMENTO CON AGLOMERADO FONOABSORBENTE DE 10 CM DE ESPESOR			
MTPP1010B	Material	m2	RIEGO DE IMPRIMACIÓN	1,0000	0,41	0,41
			RIEGO DE IMPRIMACIÓN			
MTPP1011B	Material	m2	RIEGO DE ADHERENCIA	1,0000	0,22	0,22
			RIEGO DE ADHERENCIA			
MTPP1008B	Material	m2	MEZCLA BITUM. CALIENTE S-12, ÁRIDO CALIZO, BETÚN ASF. 6 CM.	1,0000	24,14	24,14
			MEZCLA BITUM. CALIENTE S-12, ÁRIDO CALIZO, BETÚN ASF. 6 CM.			
MTPP1009B	Material	m2	M.BITUM. CALIENTE SMA-11, ÁRIDO PORFIDICO, FONOABSORBENTE 3 CM.	1,0000	13,77	13,77
			M.BITUM. CALIENTE SMA-11, ÁRIDO PORFIDICO, FONOABSORBENTE 3 CM.			
%M.AUX	Otros	%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,3854	4,00	1,54
			Total DA11130	5.032,20	40,08	201.690,58
PSF310	Material	UD	ARQUETA VALV 150-200 (1.50x1.10)	3,0000	1.551,60	4.654,80
			Arqueta para válvula diámetro 100-200 mm., de unas dimensiones interiores de 1.50x1.10 m. y profundidad (según perfil); formada por solera de hormigón de 25 cm. de espesor, muros de 20 cm. de espesor, y losa de cubrición de 30 cm. de espesor, todo en hormigón armado HA-25/P/20/IIa, incluyendo 4 tapas rectangulares de fundición de 110x0.30 m.			
MTPP1071	Material	ud	Marco y trapa de fundición de 110 x 30 mm.	1,0000	99,82	99,82
			Marco y trapa de fundición de 110 x 30 mm.			
MTPP1102	Material	m3	Hormigón HA-25/P/20/IIa	1,2100	70,51	85,32
			Hormigón armado tipo HA-25/P/20/IIa, incluyendo suministro.			
MTPP1047	Material	kg	Acero corrú AEH-500NØ16 (1.580)	6,1500	0,72	4,43
			Acero redondo corrugado AEH-500N, de 16 (1.580) mm. de diámetro, homologado (1.580 Kg/m.).			
MOPP001	Mano de	h	Oficial de 1ª.	5,3690	17,70	95,03
			Oficial de 1ª.			
MOPP003	Mano de	h	Peón ordinario.	5,8000	25,07	145,41
			Peón ordinario.			
DA31310	Partida	M2	ENCOFRADO MUROS Y LOSAS	32,0200	31,03	993,58
			Encofrado y desencofrado mediante tablas o paneles metálicos, en muros y losas.			
%M.AUX	Otros	%	4% (3% Medios Auxiliares + 1% Control Calidad)	19,2523	4,00	77,01
AP01	Material		Sin descomposición.	0,0000	0,00	0,00
			Total PSF310	1,0000	1.500,60	1.500,60
MO003	Material	H	OFICIAL 1ª CONSTRUCCIÓN	1,5170	17,70	26,85
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN	1,5170	14,63	22,19
			PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.			
%M.AUX	Otros	%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,4904	4,00	1,96
			Total DA21080	3,00	1.551,60	4.654,80
			Total C01	1	280.921,27	280.921,27
C02	Capítulo		MOVIMIENTO DE TIERRAS	1	164.722,43	164.722,43
DA21025	Partida	M3	EXCAV. MAQUINA ZANJA EN TIERRA PARA RENOVACIÓN TUBERÍA 8387 ML Y 3 ARQUETAS VRP	5.535,40	9,85	54.523,69
			EXCAVACIÓN CON MEDIOS MECÁNICOS DE ZANJA EN TIERRA, CON UNA TOLERANCIA DE RASANTEO DE +/- 5 CM.			
MMM044	Material	H	RETRO NEUMÁTICO 130CV 1M3	0,0790	65,28	5,16
			RETROEXCAVADORA DE NEUMÁTICOS DE POTENCIA 130 CV, CAPACIDAD DE LA CUCHARA RETROEXCAVADORA ESTÁNDAR 1 M3.			
MO003	Material	H	OFICIAL 1ª CONSTRUCCIÓN	0,1128	17,70	2,00
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN	0,1578	14,63	2,31

			PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.			
%M.AUX	Otros	%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,0947	4,00	0,38
REDON_A	Partida		REDONDEO	0,0000	0,01	0,00
			Total DA21025	5.535,40	9,85	54.523,69
DA21420	Partida	M3	TAPADO ZANJA CON ARENA PARA RENOVACIÓN TUBERÍA 8387 ML	3.874,78	16,36	63.391,40
MTPP1041_A	Material	t	TAPADO Y REGADO DE ZANJA CON APORTACIÓN DE ARENA O ÁRIDO FINO, EN LECHO, LATERALES Y LOMO DE TUBERÍA (RECUBRIENDO ARENA AMARILLA.	0,5000	6,75	3,38
			ARENA AMARILLA.			
MMM044	Material	H	RETRO NEUMÁTICO 130CV 1M3	0,1000	65,28	6,53
MMM054	Material	H	RETROEXCAVADORA DE NEUMÁTICOS DE POTENCIA 130 CV, CAPACIDAD DE LA CUCHARA RETROEXCAVADORA ESTÁNDAR 1 M3. RODILLO VIBRATORIO AUTPRO 4TM	0,0200	55,41	1,11
			RODILLO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO DE 4 TM.			
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN	0,3218	14,63	4,71
%M.AUX	Otros	%	PEON ORDINARIO CONSTRUCCION. 4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,1573	4,00	0,63
			Total DA21420	3.874,78	16,36	63.391,40
DA21450	Partida	M3	TAPADO ZANJA CON ZAHORRAS	1.107,08	22,93	25.385,34
MTPP1034_A	Material	Tn	TAPADO Y COMPACTADO DE ZANJA CON APORTACIÓN DE ZAHORRAS LIMPIAS, PROCEDENTES DE MACHAQUEO, EXTENDIDAS ZAHORRA ARTIFICIAL 0/80	1,5000	6,92	10,38
			ZAHORRA ARTIFICIAL 0/80, LAVADA, A PIE DE OBRA, CONSIDERANDO TRANSPORTE CON CAMIÓN DE 25 T.			
MMM044	Material	H	RETRO NEUMÁTICO 130CV 1M3	0,0599	65,28	3,91
MMM054	Material	H	RETROEXCAVADORA DE NEUMÁTICOS DE POTENCIA 130 CV, CAPACIDAD DE LA CUCHARA RETROEXCAVADORA ESTÁNDAR 1 M3. RODILLO VIBRATORIO AUTPRO 4TM	0,0300	55,41	1,66
			RODILLO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO DE 4 TM.			
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN	0,4168	14,63	6,10
%M.AUX	Otros	%	PEON ORDINARIO CONSTRUCCION. 4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,2205	4,00	0,88
			Total DA21450	1.107,08	22,93	25.385,34
DA21621	Partida	M3	CARGA Y TRANSPORTE PRODUCT. EXCAV. VERT.	5.535,40	3,87	21.422,00
			CARGA Y TRANSPORTE DE PRODUCTOS PROCEDENTES DE LA EXCAVACIÓN, A VERTEDERO A CUALQUIER DISTANCIA INCLUYENDO CANON DE VERTIDO.			
MMM044	Material	H	RETRO NEUMÁTICO 130CV 1M3	0,0454	65,28	2,96
MMM005	Material	H	RETROEXCAVADORA DE NEUMÁTICOS DE POTENCIA 130 CV, CAPACIDAD DE LA CUCHARA RETROEXCAVADORA ESTÁNDAR 1 M3. CAMIÓN BASCULANTE 12 TN	0,0350	21,80	0,76
			CAMIÓN BASCULANTE DE 12 TM.			
%M.AUX	Otros	%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,0372	4,00	0,15
			Total DA21621	5.535,40	3,87	21.422,00
			Total C02	1	164.722,43	164.722,43
C03	Capitulo		VALVULAS, TUBERIAS Y PIEZAS ESPECIALES	1	118.554,13	118.554,13
DB51205	Partida	ML	TUBERIA P.E. ø 110, 10 ATM. (AD. PE-100)	4.313,0000	5,39	23.247,07
			TUBERIA DE POLIETILENO (ALTA DENSIDAD. PE-100) DIAMETRO EXTERIOR 110 MM. DE 10 ATM.			
MTB51205	Material	ML	TUBERIA P.E. ø 110, 10 ATM. (AD. PE-100)	1,0000	4,57	4,57
			TUBERIA DE POLIETILENO (ALTA DENSIDAD) DIAMETRO EXTERIOR 110 MM., DE 10 ATM.			
%T7	Otros	H	TRANSPORTE	0,1174	7,00	0,82
			Total DB51205	4.313,0000	5,39	23.247,07
DB51206	Partida	ML	TUBERIA P.E. ø 160, 10 ATM. (AD. PE-100)	2.865,0000	10,38	29.738,70
			TUBERIA DE POLIETILENO (ALTA DENSIDAD. PE-100) DIAMETRO EXTERIOR 160 MM. (ESPESOR 9.50 MM.), DE 10 ATM.			
MTB51206	Material	ML	TUBERIA P.E. ø 160, 10 ATM. (AD. PE-100)	1,0000	9,56	9,56
			TUBERIA DE POLIETILENO (ALTA DENSIDAD) DIAMETRO EXTERIOR 160 MM. (ESPESOR 9.5 MM.), DE 10 ATM.			
%T7	Otros	H	TRANSPORTE	0,1174	7,00	0,82
			Total DB51206	2.865,0000	10,38	29.738,70

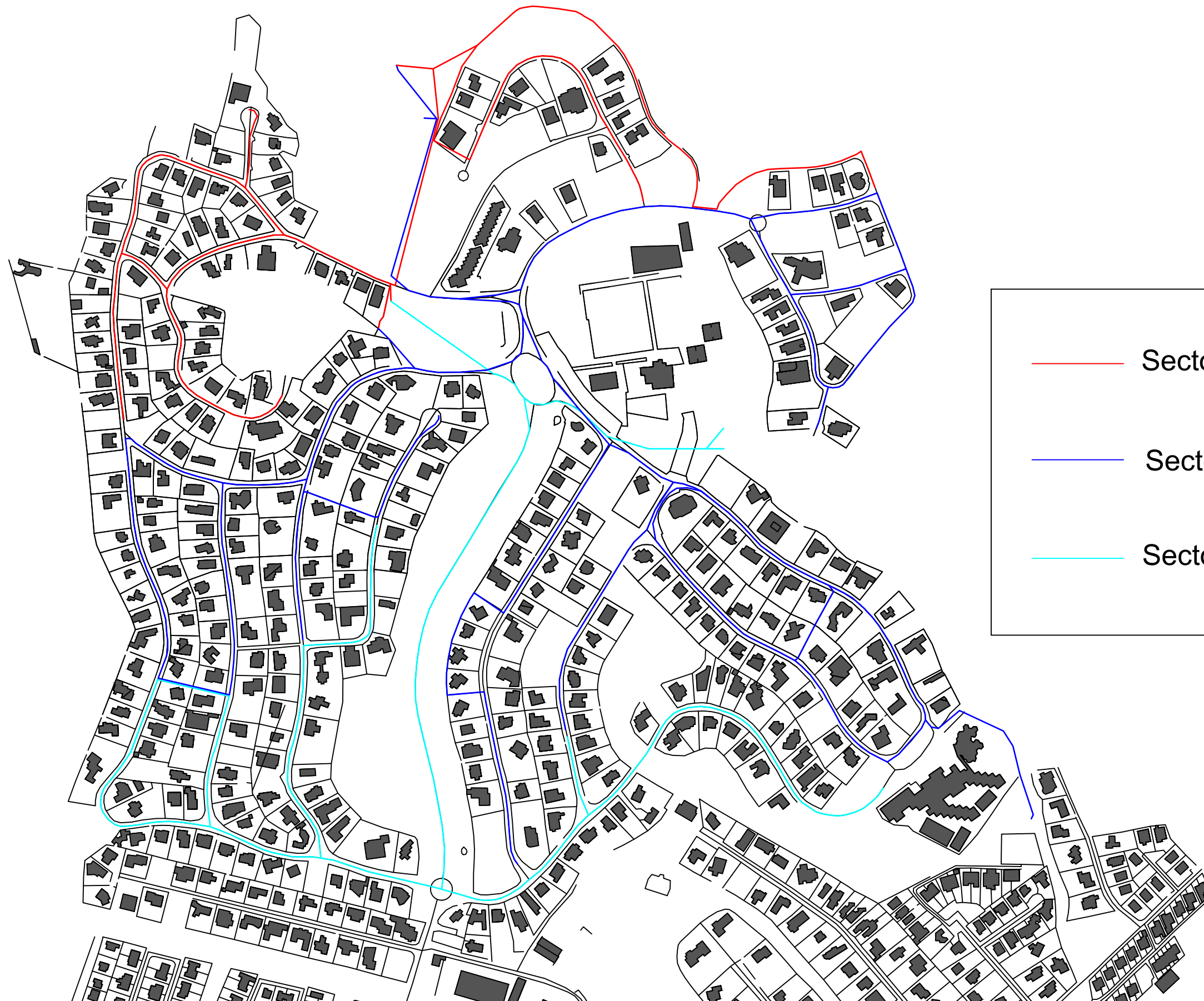
DB51207	Partida	ML	TUBERIA P.E. ø 315, 10 ATM. (AD. PE-100)	934,0000	37,76	35.267,84
			TUBERIA DE POLIETILENO (ALTA DENSIDAD. PE-100) DIAMETRO EXTERIOR 315 MM., DE 10 ATM.			
MTB51207	Material	ML	TUBERIA P.E. ø 315 10 ATM. (AD. PE-100)	1,0000	36,94	36,94
			TUBERIA DE POLIETILENO (ALTA DENSIDAD) DIAMETRO EXTERIOR 315 MM. DE 10 ATM.			
%T7	Otros	H	TRANSPORTE	0,1174	7,00	0,82
			Total DB51207	934,0000	37,76	35.267,84
<hr/>						
DB51208	Partida	ML	TUBERIA P.E. ø 500 10 ATM. (AD. PE-100)	275,0000	93,84	25.806,00
			TUBERIA DE POLIETILENO (ALTA DENSIDAD. PE-100) DIAMETRO EXTERIOR 500 MM., DE 10 ATM.			
MTB51208	Material	ML	TUBERIA P.E. ø 500 10 ATM. (AD. PE-100)	1,0000	93,02	93,02
			TUBERIA DE POLIETILENO (ALTA DENSIDAD) DIAMETRO EXTERIOR 500 MM. DE 10 ATM.			
%T7	Otros	H	TRANSPORTE	0,1174	7,00	0,82
			Total DB51208	275,0000	93,84	25.806,00
<hr/>						
PZ0594	Material	UD	VÁLVULA AUTOMÁTICA REDUCTORA DE Ø100 MM. VÁLVULA AUT. PILOTO DE Ø100 MM.	1,00	1.092,84	1.092,84
MTPP718	Material		VÁLVULA AUT. PILOTO DE Ø100 MM. VÁLVULA AUT. PILOTO DE Ø100 MM.	1,0000	1.086,00	1.086,00
%M_AUX	Otros	%	6% (5% Medios Auxiliares + 1% Control Calidad)	1,1403	6,00	6,84
			Total PZ0594	1,00	1.092,84	1.092,84
<hr/>						
PZ0595	Material	UD	VÁLVULA AUTOMÁTICA REDUCTORA DE Ø150 MM. VÁLVULA AUT. PILOTO DE Ø150 MM.	2,00	1.700,84	3.401,68
MTPP718	Material		VÁLVULA AUT. PILOTO DE Ø150 MM. VÁLVULA AUT. PILOTO DE Ø150 MM.	1,0000	1.694,00	1.694,00
%M_AUX	Otros	%	6% (5% Medios Auxiliares + 1% Control Calidad)	1,1403	6,00	6,84
			Total PZ0595	2,00	1.700,84	3.401,68
<hr/>						
			Total C03	1	118.554,13	118.554,13
<hr/>						
C04	Capítulo		MONTAJE	1	65.649,46	65.649,46
DE11459	Partida	UD	MONTAJE VALV. AUYO MÁTICA Ø 100 MONTAJE VÁLVULA DIÁMETRO 100 MM.	1,00	221,10	221,10
MO003	Material	H	OFICIAL 1ª CONSTRUCCIÓN	7,1000	17,70	125,67
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.	6,4000	14,63	93,63
%M.AUX	Otros	%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,4489	4,00	1,80
			Total DE11459	1,00	221,10	221,10
<hr/>						
DE11421	Partida	UD	MONTAJE VALV. AUT Ø 150 MONTAJE VÁLVULA DIÁMETRO 150 MM.	2,00	235,27	470,54
MO003	Material	H	OFICIAL 1ª CONSTRUCCIÓN	7,1780	17,70	127,05
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.	6,9880	14,63	102,23
%M.AUX	Otros	%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	1,4964	4,00	5,99
			Total DE11421	2,00	235,27	470,54
<hr/>						
DE02210	Partida	ML	MONTAJE TUB. PE Ø 100-500 DESCARGA, ACARREO, COLOCACIÓN Y MONTAJE DE TUBERÍA PE, DIÁMETRO 100-500 MM. CAMIÓN GRÚA 10 TN	8.387,00	7,72	64.747,64
MMM010	Material	h	OFICIAL 1ª CONSTRUCCIÓN	0,0179	34,56	0,62
MO003	Material	H	OFICIAL 1ª CONSTRUCCIÓN	0,1800	17,70	3,19
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.	0,2470	14,63	3,61
%M.AUX	Otros	%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,0742	4,00	0,30
			Total DE02210	8.387,00	7,72	64.747,64




DE22270	Partida	UD	MONTAJE PIEZAS ESPECIALES Ø 100-500	6,00	35,03	210,18
MO003	Material	H	MONTAJE DE PIEZAS ESPECIALES, DIÁMETRO 100-500 MM. OFICIAL 1ª CONSTRUCCIÓN	0,8820	17,70	15,61
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN	1,2348	14,63	18,07
%M.AUX	Otros	%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,3368	4,00	1,35
Total DE22270				6,00	35,03	210,18
Total C04				1	65.649,46	65.649,46
C05	Capítulo	GESTIÓN DE RESIDUOS		1	12.551,52	12.551,52
DA64002	Partida	M3	GESTION RESIDUOS INERTES TIPO TIERRAS CON RESTOS DE ZAHORRA	4.151,55	1,38	5.729,14
MO017	Material	h	GESTIÓN DE LOS RESIDUOS INERTES TIPO TIERRAS (LER 17 05 04), PROCEDENTES DE LA EXCAVACIÓN SIN INCLUIR RECOGIDA, CARGA, PEÓN ESPECIALISTA CONSTRUCCIÓN	0,0050	14,63	0,07
GR10001_1	Partida	M3	CANON RESIDUOS TIPO TIERRAS	1,0000	1,26	1,26
%M.AUX	Otros	%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,0133	4,00	0,05
Total DA64002				4.151,55	1,38	5.729,14
DA64004	Partida	M3	GESTION RESIDUOS INERTES TIPO HORMIGÓN/FIBROCEMENTO	1.107,08	4,93	5.457,90
MO017	Material	h	GESTIÓN DE LOS RESIDUOS INERTES TIPO HORMIGÓN (LER 17 01 01), PROCEDENTES DE LA DEMOLICIÓN, SIN INCLUIR RECOGIDA, CARGA, TRANSPORTE Y VERTIDO, SÓLO INCLUYE VALORIZACIÓN EN SU CASO INCLUYENDO ELIMINACIÓN EN VERTEDERO DE INERTES AUTORIZADO POR LA CONSELLERÍA DE MEDIO AMBIENTE, AGUA, URBANISMO Y TERRITORIO. POR MEDIO DE GESTOR AUTORIZADO. PEÓN ESPECIALISTA CONSTRUCCIÓN	0,0600	14,63	0,88
GR30001_1	Partida	M3	CANON RESIDUOS TIPO HORMIGÓN	1,0000	3,86	3,86
%M.AUX	Otros	%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,0474	4,00	0,19
Total DA64004				1.107,08	4,93	5.457,90
DA64005	Partida	M3	GESTION RESIDUOS INERTES TIPO AGLOMERADO	276,77	4,93	1.364,48
MO017	Material	h	GESTIÓN DE LOS RESIDUOS INERTES TIPO AGLOMERADO (LER 17 03 02), PROCEDENTES DE LA DEMOLICIÓN DE PAVIMENTO ASFÁLTICO. PEÓN ESPECIALISTA CONSTRUCCIÓN	0,0600	14,63	0,88
GR40001_1	Partida	M3	CANON RESIDUOS TIPO AGLOMERADO	1,0000	3,86	3,86
%M.AUX	Otros	%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,0474	4,00	0,19
Total DA64005				276,77	4,93	1.364,48
Total C05				1	12.551,52	12.551,52
C06	Capítulo	VARIOS		1	10.266,79	10.266,79
DO02110	Partida	PA	AVISO Y CERRADA	3,00	676,28	2.028,84
VA0012	Partida	UD	AVISO Y CERRADA DEL SERVICIO, MANIOBRANDO LAS VALVULAS NECESARIAS PARA AISLAR Y AFECTAR LA MENOR ZONA POSIBLE. VACIADO DE TUBERÍAS EN ZONA CERRADA	3,00	2.167,42	6.502,26
MQPP046	Material	h	VACIADO DE TUBERIA EN ZONA DE CERRADA	2,0000	7,93	15,86
MOPP045_D	Material	h	Bomba de achique.	0,6500	32,42	21,07
MOPP047_D	Material	h	OFICIAL AYUDANTE	2,0000	28,81	57,62
%M.AUX6	Otros	%	PEÓN.	7,3375	6,00	44,03
Total VA0012				3,00	2.167,42	6.502,26
DA04066	Partida	UD	CATA DE 1X1X1 PARA LOCALIZACIÓN DE SERVICIOS	2,00	379,53	759,06
MQPP002_A	Material	H	TRABAJOS PREVIOS Y CONFECCION DE CALAS PARA LOCALIZACION DE SERVICIOS DE UNAS DIMENSIONES DE 1X1X1.	2,0000	5,26	10,52
MMM036	Material	H	COMPRESOR DIÉSEL 4M3	1,5000	1,11	1,67
MO003	Material	H	MARTILLO PICADOR NEUMÁTICO	1,8200	17,70	32,21
MO023	Material	h	OFICIAL 1ª CONSTRUCCIÓN	2,0000	14,63	29,26
			PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN			

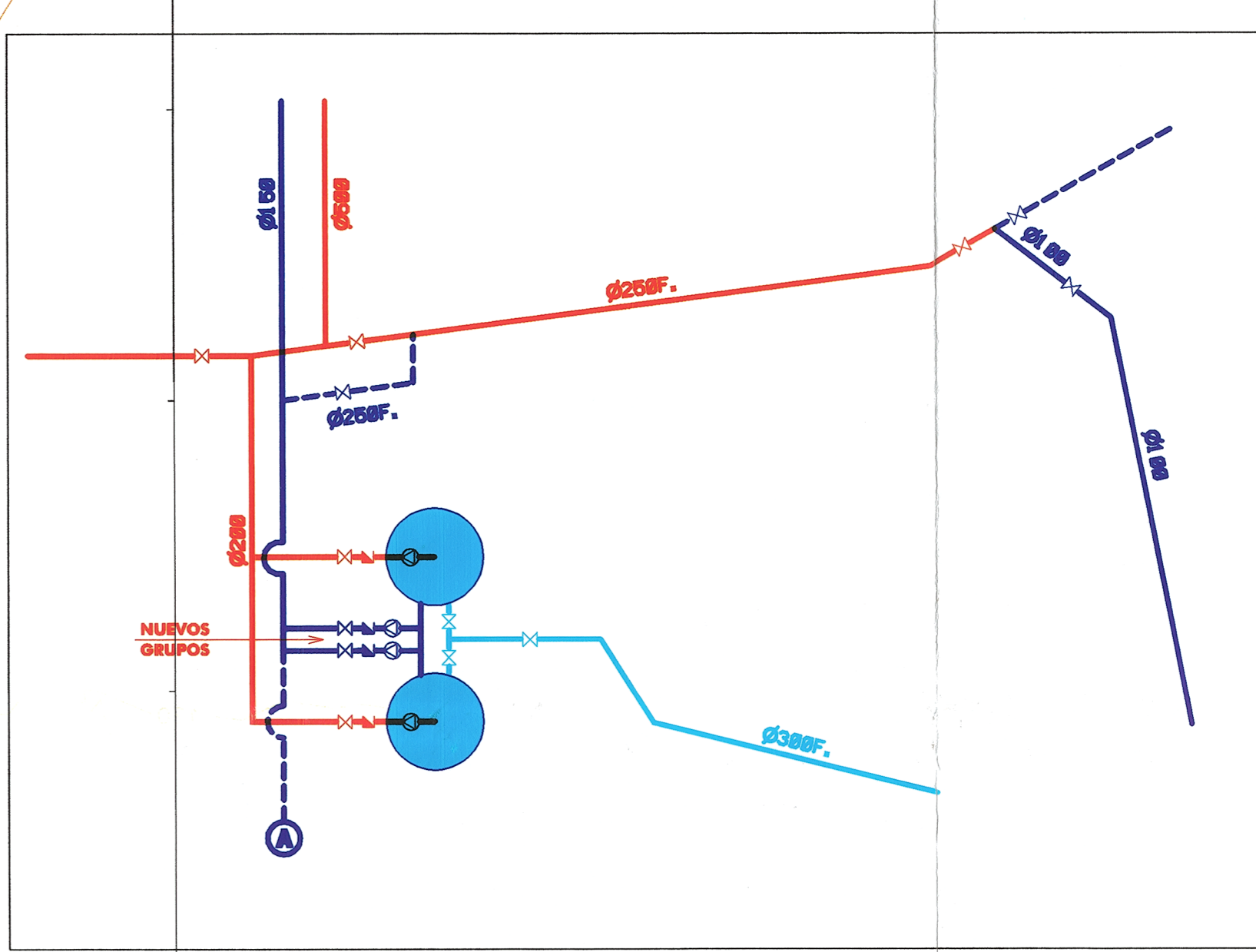
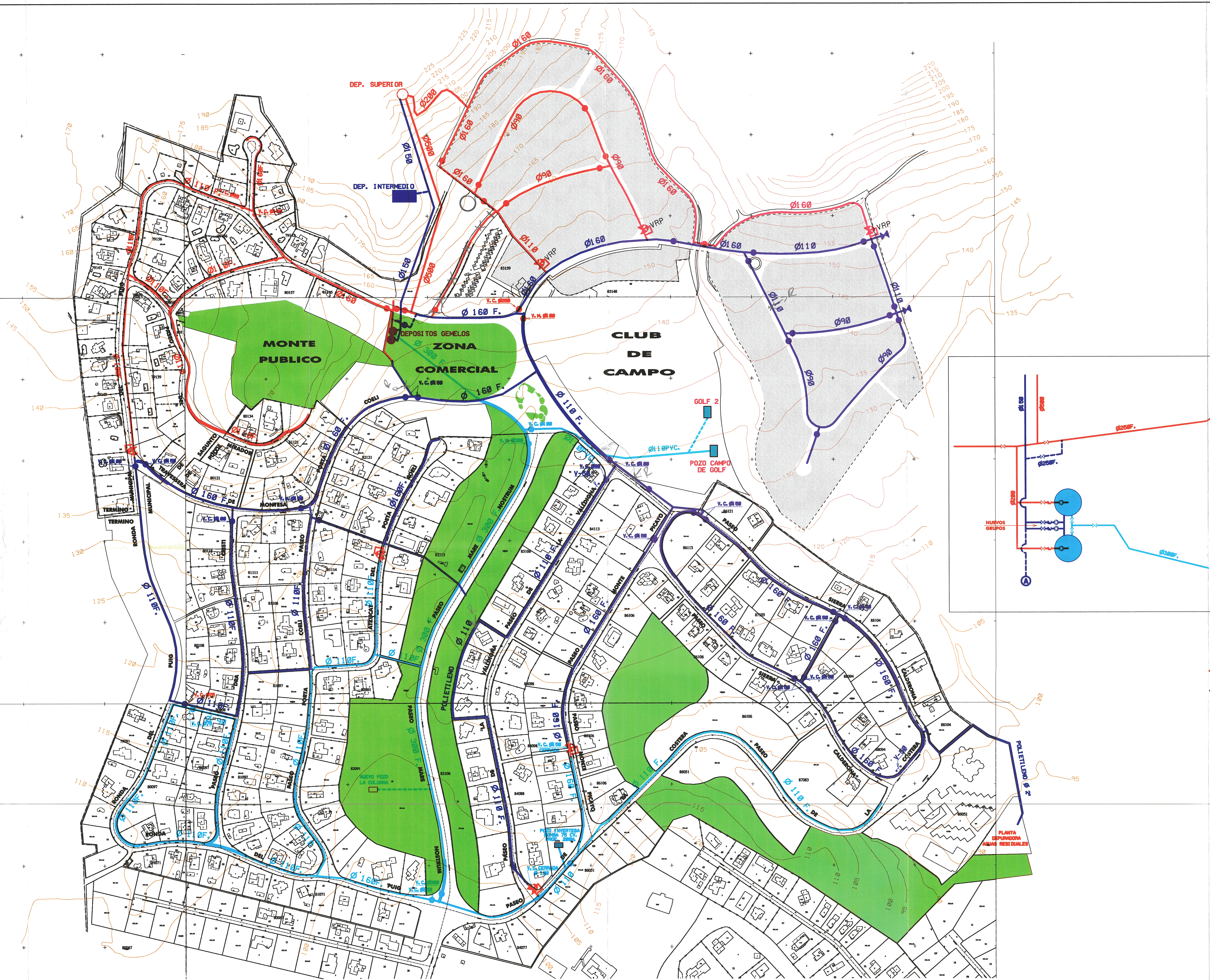
				PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.		
PAPP001_A	Material	m3	CARGA Y TRANSPORTE A LUGAR DE EM	2,0000	75,71	151,42
MMM005	Material	H	CARGA Y TRANSPORTE A LUGAR DE EMPLEO O VERTEDERO. CAMIÓN BASCULANTE 12 TN	0,0495	21,80	1,08
MMM044	Material	H	CAMIÓN BASCULANTE DE 12 TM. RETRO NEUMÁTICO 130CV 1M3 RETROEXCAVADORA DE NEUMÁTICOS DE POTENCIA 130 CV, CAPACIDAD DE LA CUCHARA RETROEXCAVADORA ESTÁNDAR 1 M3.	0,0148	65,28	0,97
			Total PAPP001_A	2,0000	75,71	151,42
%M.AUX	Otros	%	4% (3% MEDIOS AUXILIARES + 1% CONTROL CALIDAD)	0,7571	4,00	3,03
			Total DA04066	2,00	379,53	759,06
MJ0003	Maquinaria	UD	CONEXIÓN A RED EXISTENTE IGUAL O INFERIOR A Ø 100 MM.	1,00	313,95	313,95
MTPP812	Material	ud	CONEXIÓN A RED EXISTENTE DE DIÁMETRO IGUAL O INFERIOR A Ø 100 MM. Piezas para conexión a red existente de diámetro igual o inferior	1,0000	231,77	231,77
MOPP045	Material	h	CONEXIÓN A RED EXISTENTE DE DIÁMETRO IGUAL O INFERIOR A Ø 100 MM. Oficial Ayudante	0,5000	32,42	16,21
MOPP047	Material	h	OFICIAL AYUDANTE Peón.	1,5000	28,81	43,22
			PEÓN.			
%M_AUX	Otros	%	6% (5% Medios Auxiliares + 1% Control Calidad)	3,7910	6,00	22,75
			Total MJ0003	1,00	313,95	313,95
DN02210	Partida	UD	VALLA RIGIDA P/METALICOS 2.40 M. VALLA DE PIES METALICOS, DE 2.40 M.	6,00	5,08	30,48
MTN01210	Material	UD	VALLA P/METALICOS 2.40 M. VALLA DE PIES METALICOS, DE 2.40 M., PARA CUATRO USOS.	0,1500	32,78	4,92
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.	0,0110	14,63	0,16
			Total DN02210	6,00	5,08	30,48
DN02235	Partida	UD	SEÑAL TRAFICO C/SOPORTE SEÑAL NORMALIZADA DE TRAFICO, CON SOPORTE METALICO, INCLUSO COLOCACION.	6,00	60,88	365,28
MTN01235	Material	UD	SEÑAL TRAFICO SEÑAL NORMALIZADA DE TRAFICO, PARA TRES USOS.	0,3330	126,38	42,08
MTN01240	Material	UD	SOPORTE SEÑAL SOPORTE SEÑAL DE TRAFICO, PARA TRES USOS.	0,3330	29,85	9,94
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.	0,6054	14,63	8,86
			Total DN02235	6,00	60,88	365,28
DN02310	Partida	H.	MANO DE OBRA SEÑALISTA PERSONAL EN SEÑALIZACION.	12,00	17,70	212,40
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.	1,2097	14,63	17,70
			Total DN02310	12,00	17,70	212,40
DN02280	Partida	UD	BALIZA FLUORESC. 0.50 M. BALIZA TRONCOCONICA FLUORESCENTE, DE 50 CMS. DE ALTURA, INCLUSO COLOCACION.	4,00	13,63	54,52
MTN01280	Material	ML	BALIZA FLUORESC. 0.50 M. BALIZA TRONCOCONICA FLUORESCENTE, DE 50 CMS. DE ALTURA, PARA DOS USOS.	0,5000	25,50	12,75
MO023	Material	h	PEÓN ORDINARIO CONSTRUCCIÓN PEON ORDINARIO CONSTRUCCION.	0,0604	14,63	0,88
			Total DN02280	4,00	13,63	54,52
			Total C06	1	10.266,79	10.266,79
C07	Capítulo		SEGURIDAD Y SALUD - FORMACIÓN OPERARIOS	1	393,62	393,62
DSEGSALUD	Partida	Ud	DOTACIÓN PARA EL PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD DOTACIÓN PARA EL PLAN DE SEGURIDAD Y SALUD	2,00	196,81	393,62
			Total C07	1	393,62	393,62
			Total PRESUPUESTO			653.059,22

DOCUMENTO III

PLANOS

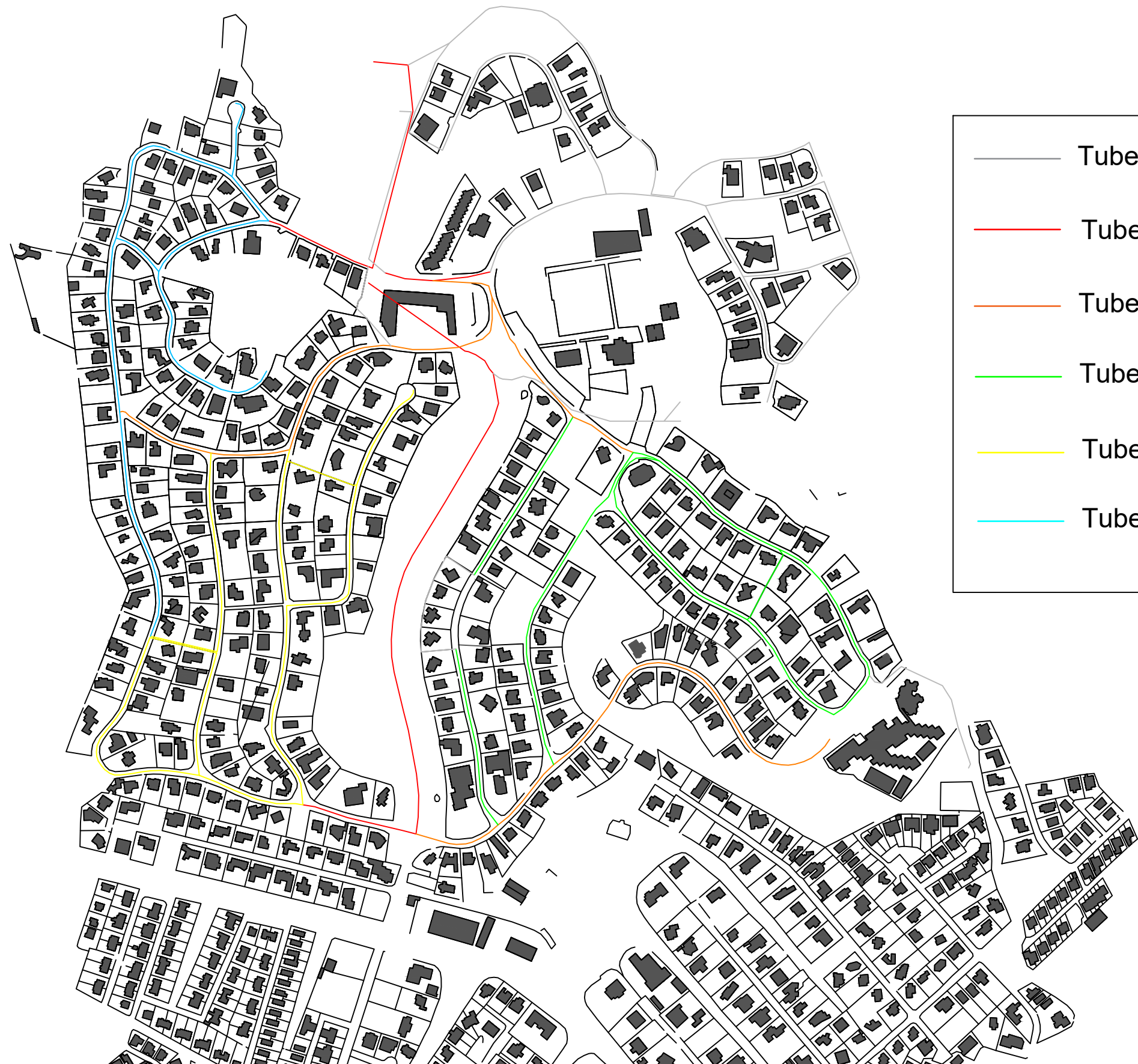


	Sector depósito superior
	Sector depósito intermedio
	Sector depósitos gemelos



- SECTOR DE PRESION DEP. SUPERIOR
- SECTOR DE PRESION NUEVO DEP. INTERMEDIO
- SECTOR PRESION DEP. GEMELOS

Rev.	Comentario	Fecha	Firma
PROYECTADO	COMPROBADO EL JEFE DEL DPT*	ANULADO AL	
DIBUJADO	Vº DIRECTOR TECNICO	ANULADO POR	
RED DE AGUA POTABLE URBANIZACION LOS MONASTERIOS		FECHA	ESCALA
RED UNICA:		JULIO 2.001	1:2.000
RED ABASTECIMIENTO SITUACION FUTURA		CLAVE	PLANO Nº
SECTORES DE PRESION		ARCHIVO Nº	2

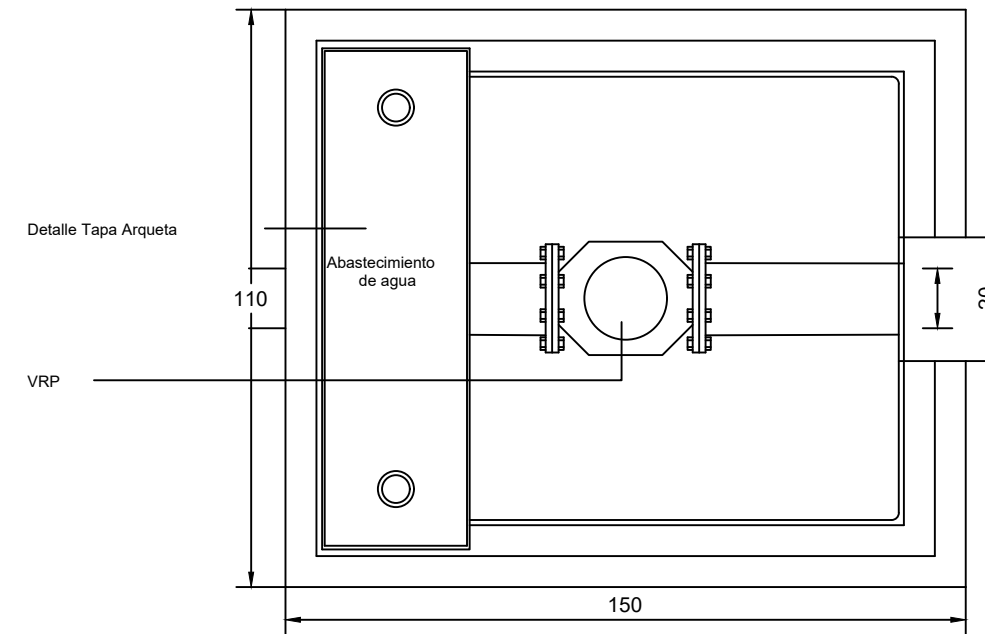
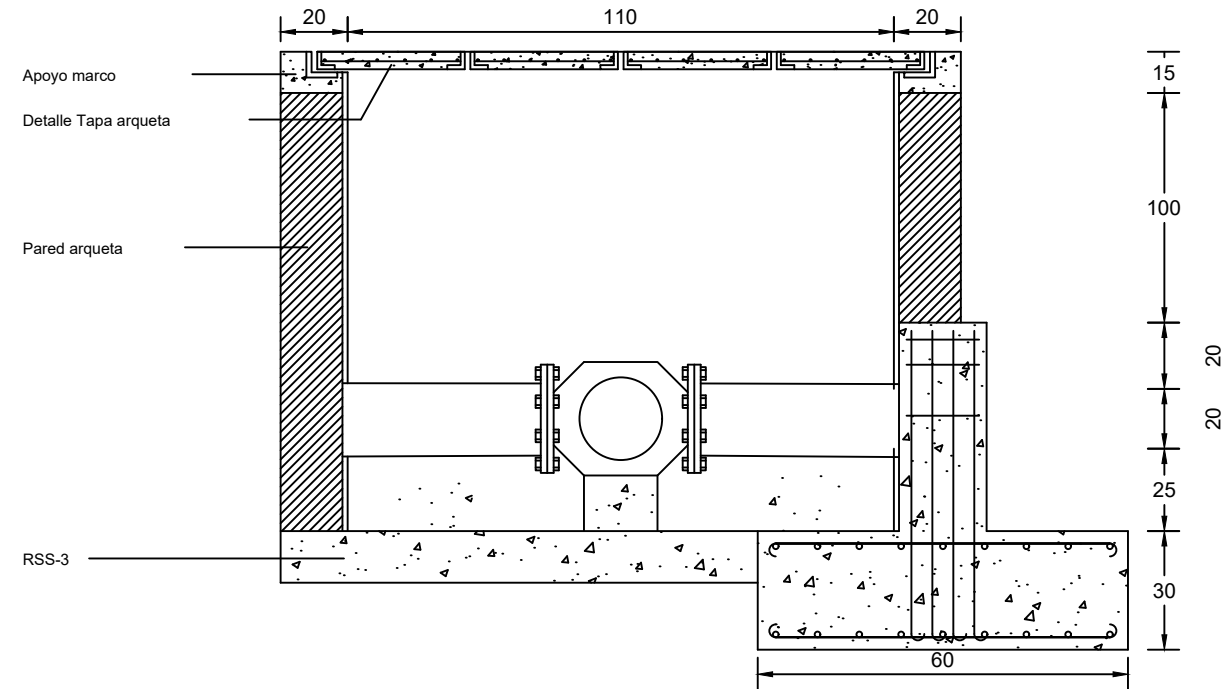


- Tuberías PVC o PE existentes
- Tuberías PE reemplazada año 1
- Tuberías PE reemplazada año 2
- Tuberías PE reemplazada año 3
- Tuberías PE reemplazada año 4
- Tuberías PE reemplazada año 5

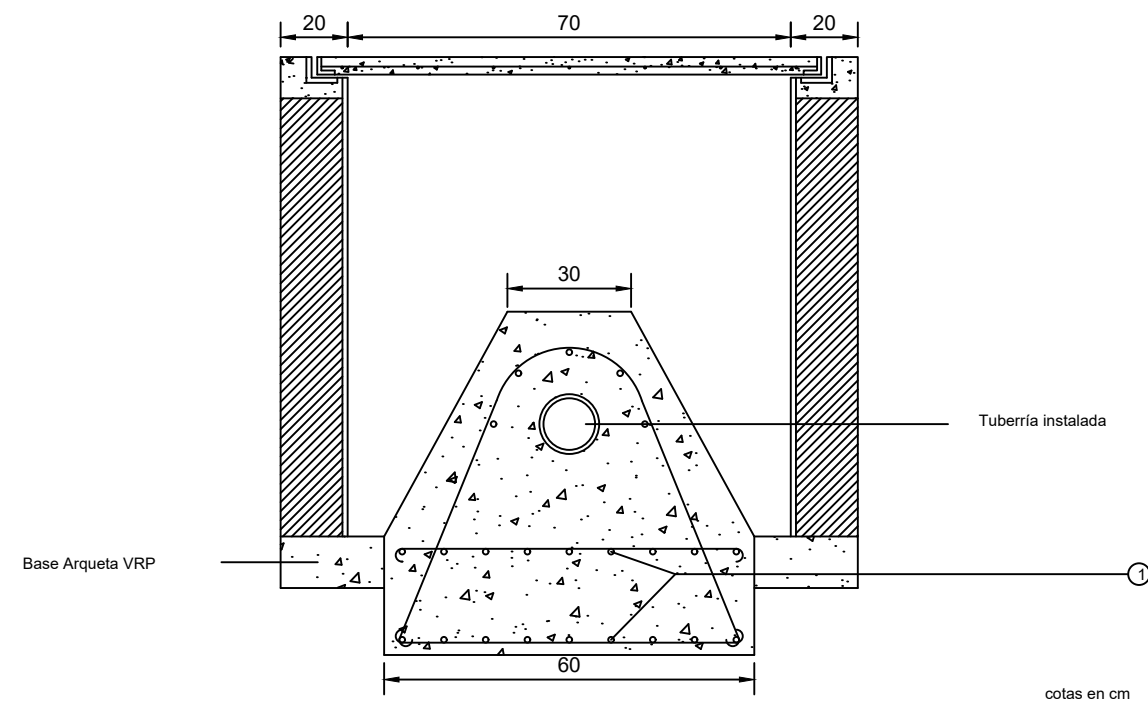
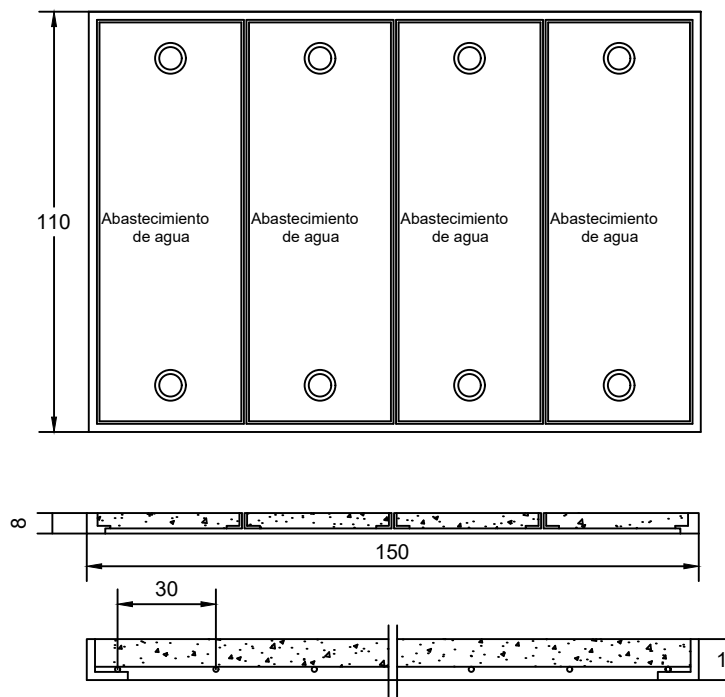
ARQUETA PARA VÁLVULA REDUCTORA DE PRESIÓN

PLANTA

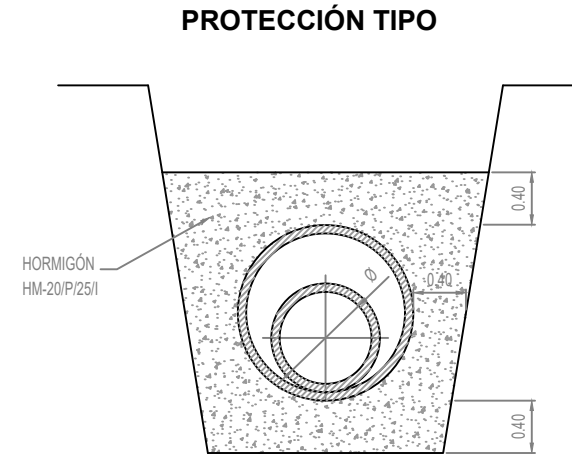
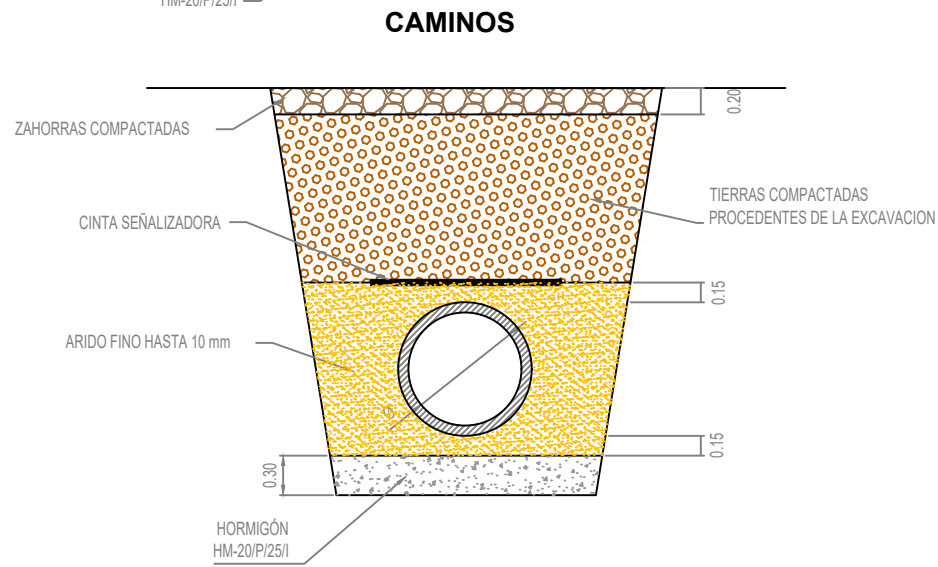
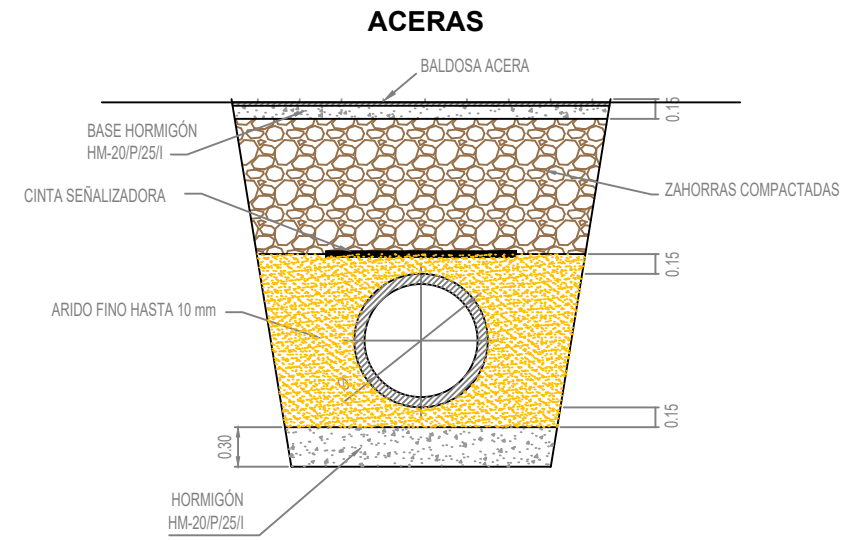
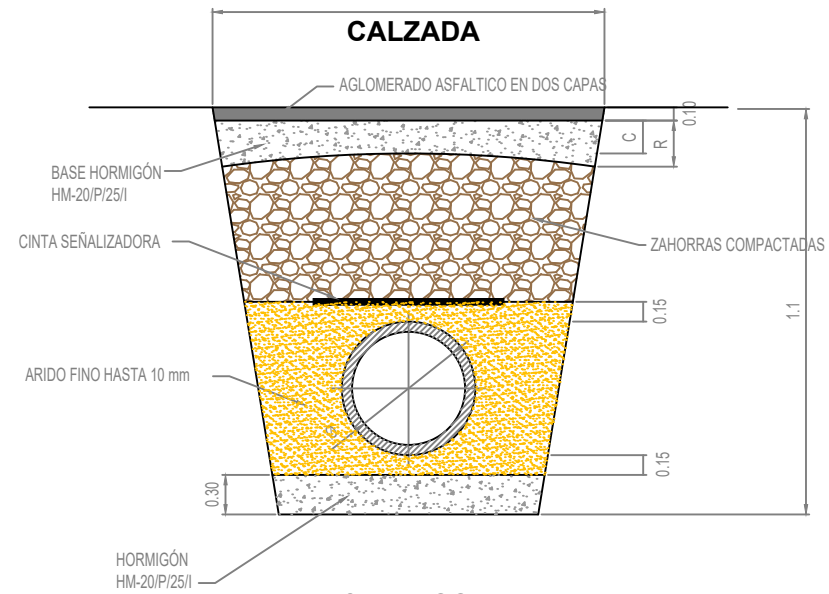
SECCIÓN FRONTAL



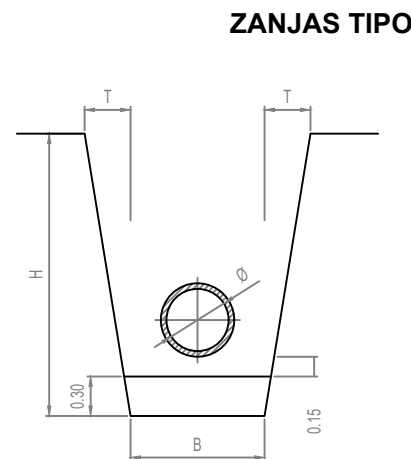
Detalle Tapa Arqueta



SECCIÓN LATERAL



EL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA DE PROTECCIÓN ES :
 \varnothing EXT.TUB. AP + 0.20 m



- T.- TALUDES
- H.- ALTURA ZANJA
- ARENA Y ESCOMBROS T=H
- TIERRA SUELTA — T=0.50 x H
- TIERRA COMPACTA — T=0.20 x H
- TAPAZ — T=0.10 x H
- ROCA — T=0

TUBERÍA POLIETILENO
 Y FUNDICIÓN DÚCTIL
 B.- ANCHO ZANJA

DIÁMETRO	B TIERRA	B TAPAZ	B ROCA
100	0.60	0.60	0.60
150	0.60	0.60	0.60
200	0.60	0.60	0.60
250	0.60	0.60	0.60
300	0.85	0.75	0.65
350	0.90	0.80	0.70
400	1.00	0.90	0.80
450	1.05	0.95	0.85
500	1.10	1.00	0.90
600	1.20	1.10	1.00

DIÁMETRO	R	C
80 a 250	25	15
300 a 500	30	20
600 a 1200	35	25