

Trabajo Fin de Máster
ANÁLISIS DE LA RED DE AGUA DE LA
URBANIZACIÓN SIERRAMAR (VALENCIA).
PROPUESTAS DE MEJORA

Intensificación: HIDRÁULICA URBANA

Autor:
MIGUEL ÁNGEL HERNÁNDEZ MORENO

Director:
DR. ENRIQUE CABRERA MARCET

ABRIL 2015



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título: ANALISIS DE LA RED DE AGUA DE LA URBANIZACIÓN SIERRAMAR (VALENCIA). PROPUESTAS DE MEJORA

Alumno: MIGUEL ANGEL HERNÁNDEZ MORENO

Director: Dr. ENRIQUE CABRERA MARCET

Codirector/es:

Fecha de Lectura: Abril 2015

Resumen

En castellano (máximo 2000 palabras)

El proyecto se centra en el análisis de la red de abastecimiento de la urbanización Sierramar (Valencia), donde tras la caracterización del sistema, se procede con su modelación y posterior simulación para conocer el estado de funcionamiento actual, y en base a este análisis, proponer mejoras del sistema. Asimismo, el modelo se utiliza para realizar propuestas futuras de renovación de la red.

El documento se estructura en doce capítulos. El primer y el segundo capítulo corresponden a la introducción y a los objetivos del proyecto, respectivamente.

El tercer capítulo trata aspectos generales relativos al emplazamiento y características de la urbanización Sierramar.

El cuarto capítulo describe la estructura y los principales componentes hidráulicos que constituyen el sistema de abastecimiento. Incluye también una descripción del funcionamiento acompañado con un esquema del sistema de bombeo- almacenamiento de la cabecera de la red.

El quinto capítulo presenta los usos y demandas de agua, así como un breve análisis.

En el sexto capítulo se detalla el proceso de modelación de la red con el software Epanet. El capítulo incluye un balance hídrico realizado en la red previo carga del modelo. Construido el modelo, se detalla el proceso seguido para su calibración. Por último, se presentan algunas consideraciones sobre el modelo creado.

El séptimo capítulo se enfoca en el análisis de la red de abastecimiento a partir del modelo generado.

En el octavo capítulo se realiza un análisis energético, presentando una comparativa del coste de las dos fuentes de agua de las que se abastece la urbanización, el agua bombeada del pozo frente al agua importada de EGEVASA.

El noveno capítulo propone algunas mejoras en el funcionamiento del sistema, en base al análisis realizado en el séptimo capítulo.

El décimo capítulo plantea dos propuestas valoradas para la renovación a futuro de la red de abastecimiento. En la primera propuesta se mantiene la configuración actual de la red. La segunda propuesta, económicamente más elevada, incluye modificaciones en la configuración actual de la red, con objeto de introducir mejoras en las condiciones y prestaciones del servicio de agua. En ambas propuestas de renovación se proponen las fases físicas para acometer la renovación de la red.

El undécimo capítulo presenta la tarifa actual aplicada en el servicio de agua de la urbanización y, sin entrar en un análisis riguroso, se propone una estructura tarifaria considerada más adecuada.

El duodécimo capítulo lista las referencias bibliográficas en la elaboración del proyecto. Por último, el documento incluye tres anexos. El anexo I presenta una tabla con los consumos facturados desde septiembre del 2013 a agosto del 2014 (datos utilizados en el proyecto). El anexo II y III constituyen herramientas automatizadas y sencillas en su uso dirigidas a fortalecer la gestión del servicio de agua por parte de la Administración de Sierramar. La primera presenta la estructura de un balance hídrico y tres indicadores para evaluar el estado de la red periódicamente. La segunda herramienta se enfoca en el cálculo de la repercusión que tiene sobre la tarifa del servicio de agua la renovación de la red.

En valenciano (máximo 2000 palabras)

El projecte es centra en l'anàlisi de la xarxa d'abastiment de la urbanització Sierramar (València), on després de la caracterització del sistema, es procedeix amb la seua modelació i posterior simulació per a conèixer l'estat de funcionament actual, com uns altres possibles futurs i, sobre la base d'aquest anàlisi, proposar millores del sistema. Així mateix, el model s'utilitza per a realitzar propostes futures de renovació de la xarxa. El

document s'estructura en dotze capítols.

El primer i el segon capítol corresponen a la introducció i als objectius del projecte, respectivament.

El tercer capítol tracta aspectes generals relatius a l'emplaçament i característiques de la urbanització Sierramar.

El quart capítol descriu l'estructura i els principals components hidràulics que constitueixen el sistema d'abastiment. Inclou també una descripció del funcionament acompanyat amb un esquema del sistema de bombejament- emmagatzematge de la capçalera de la xarxa.

El cinquè capítol presenta els usos i demandes d'aigua, així com una breu anàlisi.

En el sisè capítol es detalla el procés de modelació de la xarxa amb el programa Epanet. El capítol inclou un balanç hídric realitzat a la xarxa previ a la càrrega del model. Construït el model, es detalla el procés seguit per al seu calibratge. Finalment, es presenten algunes consideracions sobre el model creat.

El setè capítol s'enfoca en l'anàlisi de la xarxa d'abastiment a partir del model generat.

En el vuitè capítol es realitza un anàlisi energètic, presentant una comparativa del cost de les dues fonts d'aigua de les quals es proveeix la urbanització, l'aigua bombejada del pou enfront de l'aigua importada d'EGEVASA.

El novè capítol proposa algunes millores en el funcionament del sistema, sobre la base de l'anàlisi realitzat en el setè capítol.

El desè capítol planteja dues propostes valorades per a la futura renovació de la xarxa d'abastiment. En la primera proposta es manté la configuració actual de la xarxa. La segona proposta, econòmicament més elevada, inclou modificacions en la configuració actual de la xarxa, a fi d'introduir millores en les condicions i prestacions del servei d'aigua. En ambdues propostes de renovació es proposen les fases físiques per a escometre la renovació de la xarxa.

L'onzè capítol presenta la tarifa actual aplicada en el servei d'aigua de la urbanització i, sense entrar en una anàlisi rigorosa, es proposa una estructura tarifària considerada més adequada.

El dotzè capítol llista les referències bibliogràfiques en l'elaboració del projecte.

Finalment, el document inclou tres annexos. L'annex I presenta una taula amb els consums facturats des de setembre del 2013 a agost del 2014 (dades utilitzades en el projecte). L'annex II i III constitueixen eines automatitzades i senzilles en el seu ús dirigides a enfortir la gestió del servei d'aigua per part de l'Administració de Sierramar. La primera presenta l'estructura d'un balanç hídric i tres indicadors per a avaluar l'estat de la

xarxa periòdicament. La segona eina s'enfoca en el càlcul de la repercussió que té sobre la tarifa del servei d'aigua la renovació de la xarxa.

En inglés (máximo 2000 palabras)

The project focuses on the analysis of the supply network of Sierramar urbanization (Valencia), where it proceeds with its modeling and subsequent simulation of the system to know the current operating status and, based on this analysis, propose improvements of the system. Also, the model is used for future proposals for modernizing the network.

The document is divided into twelve chapters. The first and second chapter correspond to the introduction and project objectives, respectively.

The third chapter deals with general aspects relating to the location and characteristics of the Sierramar urbanization.

The fourth chapter describes the structure and main hydraulic components constituting the supply system. It also includes a description of the operation together with an outline of the storage system bombeo- the head of the network.

The fifth chapter presents the uses and demands for water, and a brief analysis.

In the sixth chapter is detailed the process of network modeling with Epanet. The chapter includes a water balance made in the pre-load network model. Built on the model, the process used for calibration is detailed. Finally, some considerations on the created model are presented.

The seventh chapter focuses on the analysis of the supply network from the generated model. This analysis is performed under two different scenarios.

In the eighth chapter an energy analysis is performed, presenting a comparative cost of the two water sources in the urbanization, water pumped from the well against imported water supplied for EGEVASA.

The ninth chapter proposes some improvements in the functioning of the system, based on the analysis of seventh chapter.

The tenth chapter raises two priced proposals for future renewal supply network. In the first proposal the current network configuration is maintained. The second proposal, economically higher, includes changes above the current configuration of the network, in order to improve the conditions and performance of water service. In both proposals the renewal physical phases are proposed to undertake the renovation of the network.

The eleventh chapter presents the current rate applied in water service urbanization and without entering a rigorous analysis, a tariff structure is proposed.

The twelfth chapter lists the citations in the development of the project.

Finally, the document includes three annexes. Annex I presents a table with the expenses billed from September 2013 to August 2014 (data used in the project). Annex II and III are automated and use simple tools aimed at strengthening the management of water services by the Administration Sierramar. The first presents the structure of a water balance and three indicators to assess network status periodically. The second tool focuses on the estimation of the impact that the renewal of the network has on the tariff.

Palabras clave (máximo 5): análisis, modelo, balance, renovación, Epanet

Tabla de contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
3.- ASPECTOS GENERALES	3
3.1.- Marco geográfico y administrativo	3
3.2.- Viviendas y población	4
3.3.- Clima	4
3.4.- Hidrogeología y geología.....	5
4.- CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	6
4.1.- Estructura y tipología de la red de distribución.....	6
4.2.- Componentes del sistema.....	7
4.2.1.- Puntos de captación.....	7
4.2.2.- Depósitos	9
4.2.3.- Bombas.....	10
4.2.4.- Tuberías.....	11
4.2.5.- Válvulas	11
4.2.6.- Hidrantes.....	12
4.2.7.- Caudalímetros	12
4.3.- Potabilización	13
4.4.- Funcionamiento del sistema	14
5.- USOS Y DEMANDAS ACTUALES	16
6.- MODELACIÓN MATEMÁTICA DE RED DE ABASTECIMIENTO	18
6.1.- Herramienta utilizada. El programa EPANET 2.0	18
6.2.- Confección del modelo inicial. Fases	19
6.2.1.- Recopilación y análisis de la información	19
6.2.2.- Exportación de la red y preparación del entorno	20
6.2.3.- Esqueletización de la red	20
6.2.4.- Modelación de los elementos del sistema.....	21
6.3.- Balance hídrico de la red de abastecimiento	24
6.3.1.- Balance hídrico: caso Sierramar.....	29
6.4.- Carga del modelo	34

6.5.- Simulación inicial del modelo	35
6.6.- Mediciones en la red.....	35
6.7.- Calibración del modelo.	40
6.7.1.- Calibración del modelo en situación dinámica	41
6.8.- Consideraciones sobre el modelo	44
7.- ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL SISTEMA.....	46
7.1.- Escenario 1. Red actual con caudal punta.	46
7.2.- Escenario 2. Red actual en día normal y hora de mínimo consumo.....	48
8.- ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL SISTEMA.	49
9.- PROPUESTAS DE MEJORA EN EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL	51
10.- GESTIÓN PATRIMONIAL. RENOVACIÓN DE LA RED	54
10.1.- Propuesta A. Renovación red manteniendo configuración actual.	56
10.1.1- Inventario de la red de abastecimiento (propuesta A).....	57
10.1.2- Valoración económica de la renovación de la red (propuesta A).....	57
10.2.- Propuesta B. Renovación de red con modificación de estructura e instalación de hidrantes.	62
10.2.1- Inventario de la red de abastecimiento (propuesta B)	64
10.2.2- Valoración económica de la renovación de la red (propuesta B)	65
10.3.- Plan de actuación de renovación de la red de abastecimiento	70
10.3.1- Propuesta de fases de renovación de la red.....	73
11.- REPERCUSIÓN DEL COSTE DE RENOVACIÓN DE LA RED EN LA TARIFA DEL AGUA.....	78
11.1.- Los costes del servicio y la tarifa del agua	78
11.2.- La tarifa del agua en la urbanización Sierramar.....	80
11.3.- Recomendaciones para definir una nueva tarifa del agua	81
12.- BIBLIOGRAFÍA.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Localización geográfica de la urbanización Sierramar. Fuente Google Earth	3
Figura 3.2. Ubicación hidrogeológica del pozo de la urbanización. Fuente IGME	5
Figura 4.1. Sector alto (izquierda) y bajo (derecha) de la red de distribución	6
Figura 4.2. Distribución de cotas en la urbanización Sierramar	7
Figura 4.3. Instalación a la salida del pozo	8
Figura 4.4. Vista de los dos depósitos del abastecimiento	9
Figura 4.5. Curva característica de la bomba del pozo	10
Figura 4.6. Arqueta y válvula de seccionamiento en conducción principal	12
Figura 4.7. Válvulas en cámara de llaves	12
Figura 4.8. Bomba dosificadora de cloro	13
Figura 4.9. Esquema hidráulico del sistema de abastecimiento	15
Figura 6.1. Curva altura-volumen de la torre de presión	23
Figura 6.2. Modelación inicial de la bomba de la cámara de llaves	23
Figura 6.3. Balance hídrico técnico (ITA, 1999)	26
Figura 6.4. 1 ^{er} balance hídrico de la red de abastecimiento Sierramar	30
Figura 6.5. 2 ^o balance hídrico de la red de abastecimiento Sierramar	32
Figura 6.6. Localización de los puntos de instalación de los dataloggers	36
Figura 6.7 Registro de presiones del nudo 24. Sector alto	37
Figura 6.8. Registro de presiones del nudo 78. Sector bajo	38
Figura 6.9. Registro de presiones del nudo R16. Sector bajo	38
Figura 6.10 Registro de presiones del nudo 243. Sector bajo	39
Figura 6.11 Aspecto de la tubería de fibrocemento de un ramal de la red	41
Figura 6.12. Ajuste de presiones entre valores medidos y valores de Epanet. Nudo 24, sector alto	42
Figura 6.13. Ajuste de presiones entre valores medidos y valores de Epanet. Nudo 78, sector bajo	42
Figura 6.14. Ajuste de presiones entre valores medidos y valores de Epanet. Nudo R16, sector bajo	43
Figura 6.15. Ajuste de presiones entre valores medidos y valores de Epanet. Nudo 243, sector bajo	43
Figura 6.16. Curva del coeficiente Kp frente al número de abonados en pequeñas urbanizaciones	45
Figura 7.1. Distribución de presiones en día y hora de máximo consumo	46
Figura 7.2 Distribución de pendiente hidráulica de la red en día y hora de máximo consumo	47
Figura 7.3. Distribución de presiones en la hora de mínimo consumo	48
Figura 8.1. Curvas de la bomba del pozo	49
Figura 8.2. Distribución horaria de tarifas eléctricas de Iberdrola	49
Figura 9.1. Puntos de ubicación de las VRP	51
Figura 9.2. Distribución de presiones en hora de mínimo consumo con VRP instaladas en la red	52

Figura 10.1. Distribución de presiones y pendientes hidráulicas en condiciones de caudal punta. Propuesta A de renovación	56
Figura 10.2. Sectores (alto y bajo), mallado y localización de hidrantes. Propuesta B de renovación	63
Figura 10.3. Distribución de presiones y pendientes hidráulicas en condiciones de caudal punta. Propuesta B de renovación	64
Figura 10.4. Fase I. Propuesta A de renovación	73
Figura 10.5. Fase I. Propuesta B de renovación	73
Figura 10.6. Fase II. Propuesta A de renovación	74
Figura 10.7. Fase II. Propuesta B de renovación	74
Figura 10.8. Fase III. Propuesta A de renovación	75
Figura 10.9. Fase III. Propuesta B de renovación	75
Figura 10.10 Fase IV. Propuesta A de renovación	76
Figura 10.11. Fase IV. Propuesta B de renovación	76
Figura 11.1. Repercusión en la tarifa por el coste de renovación de la red	83

LISTA DE TABLAS

Tabla 4.1. Resumen de características de los depósitos	10
Tabla 4.2. Inventario tuberías de la red de distribución	11
Tabla 5.1. Tipologías de usuarios y puntos de consumo asociados	16
Tabla 5.2. Consumo medio (uso doméstico) en época estival, no estival y anual en último año	17
Tabla 6.1. Coeficientes K de diversos elementos	22
Tabla 6.2. Calificación de la gestión de un abastecimiento en función de η	27
Tabla 6.3. Calificación del estado de un abastecimiento en función de $l/ac*$ día	28
Tabla 6.4. Calificación del estado de un abastecimiento en función de $m^3/km*$ hora	28
Tabla 6.5. Volúmenes (y caudales) inyectados y consumidos (1 ^{er} balance hídrico).....	30
Tabla 6.6. Volúmenes (y caudales) inyectados y consumidos (2 ^o balance hídrico).....	32
Tabla 6.7. Datos relativos instalación dataloggers	37
Tabla 8.1. Tarifas compañía IBERDROLA (febrero 2014)	50
Tabla 9.1. Características de las VRP para su instalación	52
Tabla 9.2. Nivel actual y propuesto de las sondas de nivel	53
Tabla 10.1. Inventario tuberías de la red de distribución. Propuesta A	57
Tabla 10.2. Inventario válvulas cámara de llaves	57
Tabla 10.3. Inventario tuberías de la red de distribución. (Propuesta B)	65
Tabla 10.4. Afectación de cada fase de renovación de la red	77

1. INTRODUCCIÓN

La gestión óptima de un abastecimiento agua requiere disponer de un amplio y profundo conocimiento del conjunto de elementos que conforman el sistema, así como su funcionamiento.

En este sentido, la aparición de los modelos matemáticos de simulación hidráulica ha supuesto un gran avance, pues permiten reproducir la complejidad del entorno de tuberías, depósitos, bombes y elementos de regulación que constituyen un abastecimiento.

El modelo hidráulico no solo constituye una importante herramienta de gestión en grandes abastecimientos, sino también resulta de gran utilidad en abastecimientos de pequeñas localidades, en cuanto que permiten simular y analizar el comportamiento de una red bajo cualquier escenario de funcionamiento de forma rápida y fiable. De esta forma, el modelo hidráulico se convierte en un instrumento de apoyo para la gestión del abastecimiento, facilitando no solo las tareas normales de operación, sino también la toma de decisiones enfocadas a la mejora de la eficiencia del sistema.

Los grandes abastecimientos cuentan, de forma generalizada, con modelos hidráulicos de las redes que los conforman y de un buen conocimiento de los mismos. En cambio, en la mayor parte de los medianos y pequeños abastecimientos, con las limitaciones impuestas por sus menores capacidades técnicas y económicas, el conocimiento de sus redes de agua es una asignatura pendiente.

No obstante, comienza a ser motivo de atención, por parte de los pequeños gestores, conocer sus abastecimientos y las posibilidades de mejora. Esta inquietud despierta, en gran medida, por la preocupación que levanta el envejecimiento del patrimonio hidráulico (muchos de ellos por encima o próximos al final de su vida útil) y la necesidad de evaluar y analizar su renovación. Además, se suma el interés en conocer las posibilidades de implementar mejoras en el sistema que supongan un ahorro energético del servicio, ante un escenario actual de continuo incremento del precio de la energía eléctrica.

Un ejemplo de lo anterior lo constituye la urbanización Sierramar. La Administración de la urbanización de Sierramar, perteneciente al municipio de Picassent (Valencia) y el Grupo de Ingeniería y Tecnología del Agua (ITA) de la Universidad Politécnica de Valencia formalizaron un contrato con objeto de acometer un diagnóstico y análisis del abastecimiento de agua de la urbanización y, en base al modelo hidráulico elaborado, realizar propuestas de mejora en la gestión del sistema.

En este contexto se enmarca el presente trabajo.

2. OBJETIVOS

El objetivo general del proyecto es determinar el actual estado y el funcionamiento de la red de abastecimiento de la urbanización Sierramar (Valencia), con objeto de, dado el caso, proponer intervenciones, bien en su funcionamiento como en su patrimonio, que supongan una mejora en la eficiencia hidráulica y energética del sistema para que puedan ser implementadas por la Administración de la urbanización, como gestores del abastecimiento.

Para alcanzar el objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

- 1.- Realizar un diagnóstico detallado de la red de abastecimiento, tanto en sus componentes físicos como en su funcionamiento.
- 2.- Elaborar un modelo matemático calibrado de la red con la herramienta Epanet.
- 3.- Analizar la red, bajo diferentes escenarios, tanto actuales como posibles de futuro, para identificar la existencia de áreas problemáticas (incapacidades hidráulicas, excesos de presión, etc.) o procesos de funcionamiento en el sistema susceptibles de ser mejorados.
- 4.- En base a los análisis realizados con el modelo y al estado de la red determinado con un balance hídrico e indicadores asociados, proponer una nueva red y un plan de actuación para la renovación de la red actual, de 36 años de antigüedad y próxima al final de su vida útil.
- 5.- Valorar el coste de la nueva red para que pueda incorporarse este coste de inversión en la actual tarifa del agua y, llegado el momento, disponer del presupuesto estimado para la renovación de la red.
- 6.- Dotar a la Administración de Sierramar de herramientas de gestión para que puedan, de manera autónoma, realizar un balance hídrico o determinar el coste a añadir a la tarifa del agua en concepto de coste de inversión.

Con una extensión cercana al medio kilómetro cuadrado, la urbanización de Sierramar se enmarca en la transición entre la llanura litoral y el área montañosa del oeste, en las estribaciones de la cordillera ibérica y en el inicio del macizo de Caroch.

3.2.- Viviendas y población

La urbanización Sierramar fue construida a finales de los años 70. Está conformada por un total de 267 parcelas, de las cuales actualmente 235 están urbanizadas y 32 sin urbanizar. Las viviendas de la urbanización son de tipología unifamiliar, en su mayoría de una planta, aunque también existe alguna vivienda de dos plantas.

No se dispone de un censo de la población que reside en la urbanización Sierramar, ni del carácter temporal o permanente del uso de cada vivienda. No obstante, se conoce que algunas viviendas tienen carácter de segunda residencia y son utilizadas bien durante fines de semana o durante los meses de verano. Así, la población de la urbanización es variable en función del día de la semana y de la época del año. Adicionalmente a la ocupación durante el verano de viviendas vacías el resto de año, la población se ve incrementada también a consecuencia de las visitas recibidas dado el carácter vacacional que adquiere la urbanización durante estos meses.

No obstante, a efectos del estudio se considera durante el año (a excepción de los meses de verano) cuatro habitantes por vivienda.

3.3.- Clima

El clima de la localidad es el clima típico Mediterráneo con inviernos suaves y veranos calurosos. La temperatura media anual es del orden de 2 a 3º C por debajo de la de la capital, que se sitúa en los 17,8ºC. La amplitud térmica media varía entre los 9ºC en enero y los 23ºC en agosto. Pese a esto, no es raro que en invierno se den olas de frío, las cuales se deben al desplazamiento de masas de aire frío, como los frentes polares, hacia las bajas presiones del área mediterránea. Del mismo modo, está sujeta a olas de calor, las cuales se deben a la llegada de frentes cálidos procedentes del Sáhara.

Las precipitaciones anuales se sitúan en torno a los 450 mm, con mínimos muy marcados en verano (tres meses secos de junio a agosto) y máximos en los meses de otoño (se septiembre a noviembre, por el efecto del fenómeno meteorológico de la gota fría), ya que el clima mediterráneo es un clima con lluvias estacionales.

Como en Valencia, el clima es muy irregular ya que se suceden largos períodos de sequía con algunos años muy húmedos, así como años muy calurosos, seguidos de años especialmente fríos.

3.4.- Hidrogeología y geología

Hidrogeológicamente, la urbanización Sierramar está ubicada sobre el extremo nororiental del sistema acuífero de Caroch. Concretamente, se localiza en el borde suroriental del acuífero de la Contienda, perteneciente al subsistema de Caroch Norte.

El subsistema acuífero Caroch Norte está integrado por el conjunto de materiales mesozoicos, principalmente del Cretácico superior. El tipo de acuífero es multicapa y su litología está conformada por calizas (material mayoritario) alternado con materiales como margas, areniscas y calizas arcillosas.

El acuífero de la Contienda, acuífero donde se localiza el pozo de la urbanización (ver figura 3.2) tiene una extensión de unos 90 km², de los que 53 km² se corresponden a afloramientos de materiales permeables del acuífero.

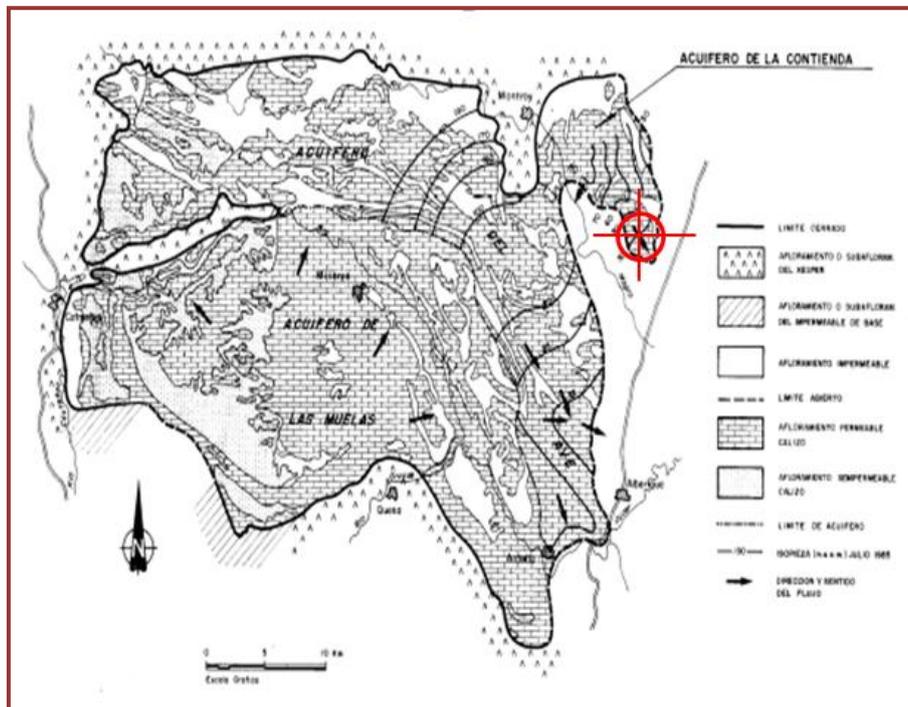


Figura 3.2. Ubicación hidrogeológica del pozo de la urbanización. Fuente IGME

El flujo subterráneo presenta una dirección predominante hacia el este y noroeste, aunque también existe una componente del flujo en sentido sureste en el extremo suroriental y otra de componente sur en el sector meridional.

La alimentación del acuífero se produce, principalmente, por la infiltración del agua de lluvia caída sobre los materiales permeables que lo componen y, en menor medida, por el retorno de riegos.

El agua del acuífero es usada fundamentalmente en la región para regadío, aunque una pequeña cantidad de la misma está dedicada al abastecimiento urbano.

4.- CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

4.1.- Estructura y tipología de la red de distribución

La red de distribución de la urbanización de Sierramar está constituida por dos subredes que, de forma independiente, distribuyen el agua a las viviendas. La conexión hidráulica entre ambas se localiza en la cámara de llaves de los depósitos, a través del sistema de captación y bombeo del agua a los depósitos y a la red de distribución.

De esta forma, desde el punto de vista del abastecimiento de agua, se diferencian dos sectores en la urbanización. El sector alto, topográficamente hablando, que cuenta con un total de 36 parcelas y que es abastecido por la red de menor tamaño; y, el sector bajo, abastecido por la red de mayor tamaño y que engloba un total de 231 parcelas. Tanto la red del sector alto como la del sector bajo son de tipo ramificado. En la figura 4.1 se representan ambas redes separadamente¹.

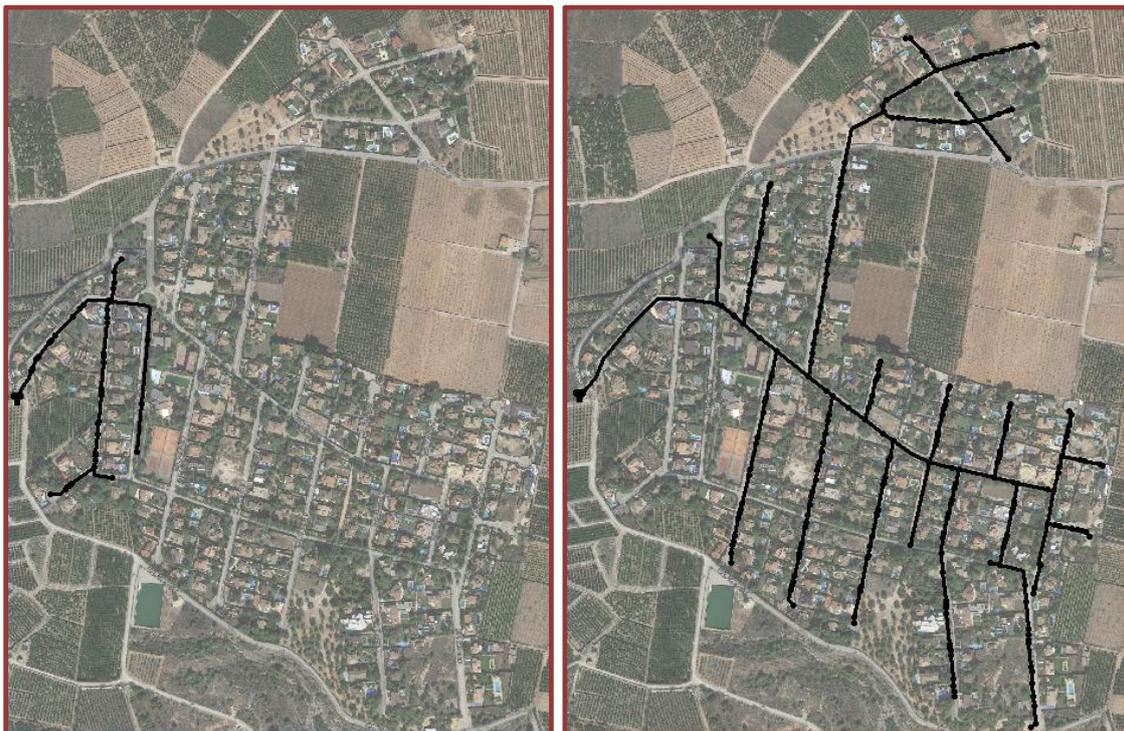


Figura 4.1. Sector alto (izquierda) y bajo (derecha) de la red de distribución

¹ El sector alto dibujado incluye un tramo de riego (último tramo que aparece en la figura del sector alto), aun cuando se considera por el personal de mantenimiento de la Administración que toda la red de riego es abastecida por el sector bajo. Sin embargo, las presiones que registran las bocas de riego de este tramo, alrededor de 30 mca, solo son posibles si éste está conectado con el sector alto.

El punto más alto de la urbanización se encuentra a una altura de 124 msnm, mientras que el punto más bajo se sitúa a 85 msnm. La urbanización presenta una ligera pendiente continua dirección este-oeste.

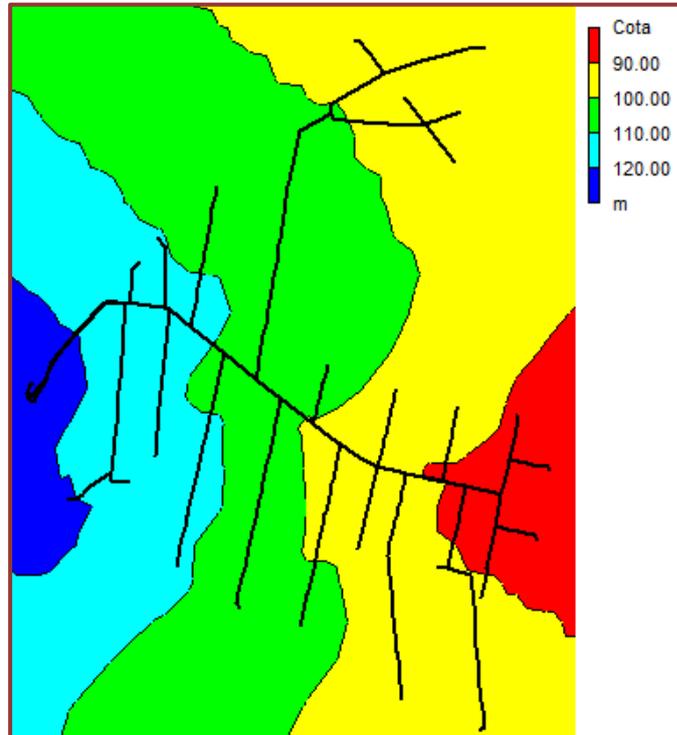


Figura 4.2. Distribución de cotas en la urbanización Sierramar

4.2.- Componentes del sistema.

4.2.1.- Puntos de captación

El sistema de abastecimiento de la urbanización de Sierramar cuenta con un pozo para la captación de agua subterránea y un aporte de agua externo, procedente de la empresa EGEVASA.

El pozo se encuentra ubicado en la margen oeste de la urbanización ($39^{\circ}18'31''N$, $0^{\circ}29'50''W$, cota 124 m.). Como ya se ha indicado, este pozo capta el agua subterránea del acuífero de La Contienda, dentro del subsistema acuífero de Caroch Norte.

El pozo fue construido en el año 1984 y tiene una profundidad de 195 metros. El pozo, de tipo telescópico, inicia con un diámetro de perforación de 650 mm hasta los 70 metros de profundidad, donde continua con 600 mm hasta los 182 metros, profundidad a partir de la cual la perforación termina con un diámetro de 550 mm. La entubación del pozo alcanza hasta los 182 metros con un diámetro de 550 mm en toda su longitud.

La columna litológica está conformada mayoritariamente por calizas, con alguna intercalación de areniscas. Los niveles acuíferos se sitúan entre las profundidades de 155 y 160 metros y los 175 y 193 metros.

El nivel dinámico, según medición de septiembre del 2010, se sitúa a una profundidad de 130 metros. Este nivel dinámico no es estable, pues se conoce que desciende lentamente durante largos períodos de bombeo, llegando incluso a descender hasta el nivel de la bomba. Sin embargo, no se conoce como progresa este descenso de nivel dinámico con el bombeo. Esto es indicativo que el caudal extraído del pozo por la bomba está por encima del caudal óptimo de explotación del pozo. Asimismo, la falta de un registro histórico de medición de niveles impide conocer su variabilidad entre estaciones, así como los posibles descensos acumulados a consecuencia de la explotación del pozo.



Figura 4.3. Instalación a la salida del pozo

No se dispone de más información relativa al pozo, como un informe de ensayo de bombeo que proporcione parámetros hidrogeológicos como transmisividad y coeficiente de almacenamiento, los cuales permitirían realizar estimaciones de descensos de niveles para diferentes regímenes de explotación del pozo y realizar un análisis de la sostenibilidad en la explotación del pozo.

Por su parte, el agua que procede de la empresa EGEVASA es empleada en situaciones donde la demanda de agua en la urbanización sobrepasa las capacidades instaladas en el sistema de explotación del pozo, o bien en situaciones de mantenimiento de la bomba del pozo. Así, la principal fuente de agua consumida en la urbanización es la procedente del pozo.

4.2.2.- Depósitos

La red de distribución dispone de dos depósitos de diferente tipología, según el sector que abastecen. Los dos depósitos se encuentran ubicados en el mismo recinto, a pocos metros del pozo de la urbanización y de las primeras viviendas del sector alto.

El sector bajo de la urbanización es abastecido por un depósito semienterrado, de planta rectangular con dimensiones interiores de 9,0 x 8,7 y 3,6m de altura, resultando en una capacidad de 282 m³. El depósito está compartimentado en dos vasos, aunque el muro divisorio permite la comunicación entre vasos en su parte inferior. La cota de solera se sitúa a 123 m. Tanto la llegada de la tubería del pozo como de la tubería de EGEVASA, ambas de 150 mm de diámetro, se realiza por la parte superior del depósito.

Por su parte, el otro depósito de la red de distribución es elevado y abastece al sector alto de la urbanización. En realidad, se trata de una torre de presión, cuyo objetivo principal es precisamente proporcionar la adecuada presión de servicio a las viviendas ubicadas en el sector topográficamente más alto de la urbanización. La morfología del depósito es troncocónica con hueco cilíndrico alrededor de su eje. El radio menor del depósito es de 1 metro, el mayor de 4,60 m y la altura es de 2,20 m. El volumen del depósito es de 54 m³. La solera de la torre se alza 19 m sobre el suelo, alcanzado la altura de 143,5 m. La torre de presión recibe agua procedente del depósito inferior a través de un grupo de bombeo conformado por una bomba en funcionamiento y otra en reserva. El depósito presenta tubería de rebosadero.

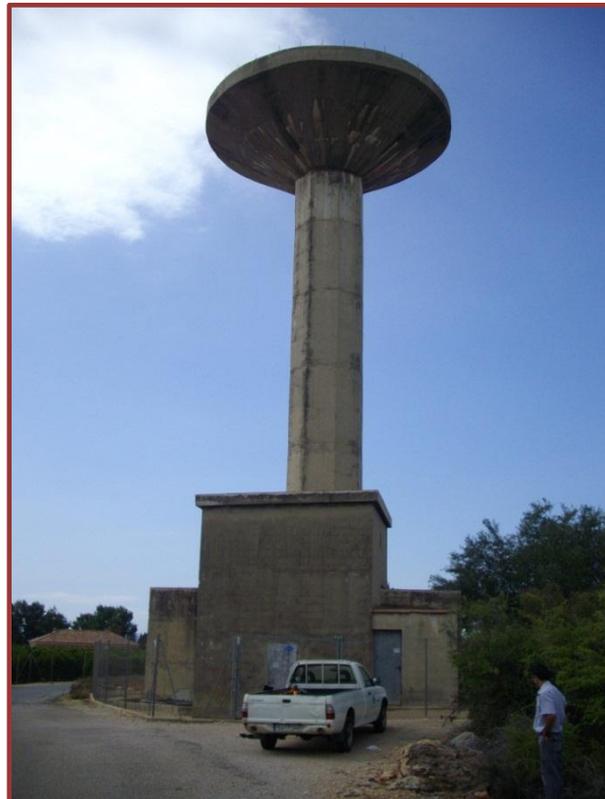


Figura 4.4. Vista de los dos depósitos del abastecimiento

En la tabla 1 se presenta un resumen de las características de ambos depósitos.

Tabla 4.1. Resumen de características de los depósitos

DEPÓSITO SEMIENTERRADO (RED SECTOR BAJO)			TORRE DE PRESIÓN (RED SECTOR ALTO)		
Tipología	Depósito distribución		Tipología	Torre de presión	
Forma	Rectangular		Forma	Truncocónica	
Dimensiones interiores			Dimensiones interiores		
Longitud	9,00	m	r	1,00	m
Anchura	8,7	m	R	4,6	m
Altura	3,6	m	Altura	2,2	m
Volumen	282,00	m ³	Volumen	54,00	m ³
Cota solera	123,00	m	Cota solera	143,5	m

Las tuberías ubicadas en la cámara de llaves son, mayoritariamente, de fibrocemento, a excepción de algún tramo y de la tubería de entrada de agua de EGEVASA, que son de polietileno.

Ambos depósitos son de hormigón armado y presentan un buen estado de conservación, sin presencia visible de fugas y humedades. Los depósitos se encuentran protegidos por un perímetro vallado.

4.2.3.- Bombas

La red de distribución presenta dos grupos de bombeo, uno situado en el pozo y otro en la cámara de llaves de los depósitos.

El grupo de bombeo del pozo conduce el agua al depósito semienterrado. Está constituido por una bomba centrífuga sumergible, de 40 CV de potencia. La bomba se ubica a 150 m de profundidad. La tubería de impulsión en el interior del pozo es de hierro galvanizado con un diámetro de 150 mm.

El grupo de bombeo en la cámara de llaves rebombea el agua a la torre de presión. Está formado por dos bombas (una bomba en funcionamiento y otra de reserva) de 4 CV de potencia. Las bombas son de la marca Worthington, modelo AM 100 LY2. En este caso no se dispone de la curva característica.

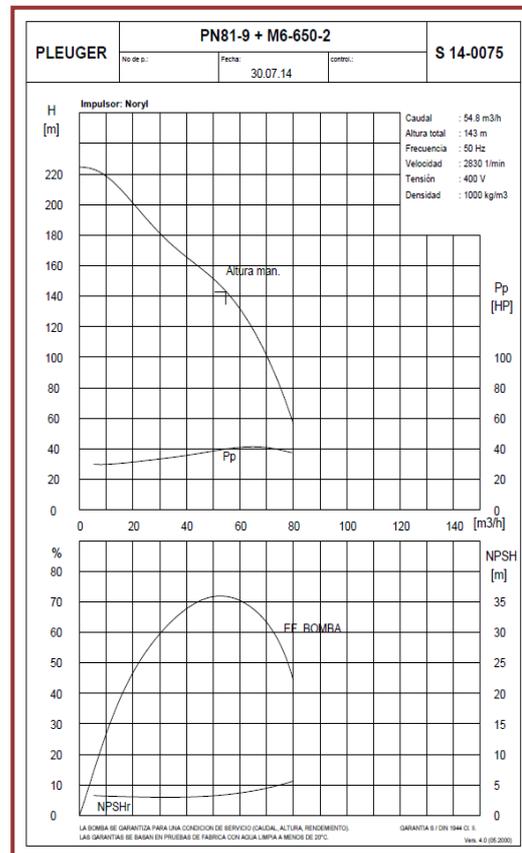


Figura 4.5. Curva característica de la bomba del pozo

4.2.4.- Tuberías

La red de distribución de la urbanización, sin considerar las tuberías de impulsión, tramos de la cámara de llaves de los depósitos y derivaciones a la red de riego, tiene una longitud total de 5.088 metros, de los que 647 metros corresponden al sector alto y 4.441 metros al sector bajo.

Tabla 4.2. Inventario tuberías de la red de distribución.

Diámetro int. (mm)	Longitud (m)
200	301
100	540
80	211
60	4036
TOTAL (m)	5.088

Toda la red de distribución, desde los puntos de inyección de agua, está conformada por tubería de fibrocemento. Los diámetros nominales (diámetros interiores en el caso de las tuberías de fibrocemento) para el sector alto son de 80 mm (tubería principal de distribución) y 60 mm (ramales a viviendas). Para el sector bajo, los diámetros nominales son de 200 mm (salida del depósito semienterrado), 100 mm (arteria principal) y 60 mm (ramales a viviendas). No se conoce el punto donde la tubería principal cambia de diámetro de 200 a 100 mm.

Por su parte, las acometidas domiciliarias, de materiales diferentes, presentan un diámetro predominante de 32 mm, aunque también hay diámetros de 40 o de 25 mm.

La red de tuberías se encuentra enterrada a profundidades que oscilan entre 1 y 2 metros, tanto bajo calzada como por acera.

El estado de conservación de las tuberías, al menos en la cámara de llaves, como lugar visible, no es óptimo, observándose un alto grado de oxidación en tuberías y otros elementos.

4.2.5.- Válvulas

Las válvulas presentes en la red de distribución se reducen a válvulas de seccionamiento. Estas válvulas se localizan al inicio de cada ramal, a excepción de dos, que se ubican en la tubería principal y su finalidad es aislar el flujo en caso de necesidad. Así, permanecen siempre abiertas y solo son cerradas en caso de maniobras de mantenimiento de las válvulas y en caso de reparación por rotura de la

tubería aguas debajo de la válvula. Todas las válvulas son de tipo compuerta y con diámetros comprendidos entre 80 y 120 mm.

La cámara de llaves dispone, además de las correspondientes válvulas de seccionamiento, de una válvula de seccionamiento automatizada que controla la entrada de agua procedente de EGEVASA en función del nivel del agua en el depósito inferior. También hay presentes válvulas antiretorno para impedir el flujo de agua en determinadas situaciones de funcionamiento.

Las válvulas ubicadas en las conducciones de distribución de agua se encuentran protegidas por arquetas. Por lo general, las arquetas son de pequeño tamaño y solo permiten ser maniobradas desde arriba con la correspondiente llave.

El estado de conservación de las válvulas de la red es, en general, deficiente. Además de un grado de oxidación elevado, existen válvulas atascadas en la cámara de llaves que impiden cualquier maniobra.



Figura 4.6. Arqueta y válvula de seccionamiento en conducción principal



Figura 4.7. Válvulas en cámara de llaves.

4.2.6.- Hidrantes

La red de abastecimiento de agua de la urbanización Sierramar no dispone de hidrantes.

4.2.7.- Caudalímetros

El sistema de abastecimiento dispone de dos caudalímetros mecánicos para controlar el volumen de entrada de agua al sistema procedente del pozo y del agua importada de EGEVASA. Sin embargo, el sistema no dispone de caudalímetros en la salida de los dos depósitos, por lo que no se conoce el agua que se inyecta directamente a la red de distribución. No se dispone, por tanto, de registros continuos de caudales inyectados a la red a lo largo del tiempo.

El parque de contadores cubre la totalidad de los consumos existentes en la red de agua y está constituido por los contadores domiciliarios, los contadores del club deportivo y los contadores de riego.

Los contadores domiciliarios, protegidos en el interior de amplias hornacinas, se encuentran, en general, en buen estado, según se observó en las visitas realizadas. Por su parte, los contadores de riego son nuevos, ya que fueron instalados durante los meses de julio y agosto del 2014.

La compra, instalación y cuidado de los contadores domiciliarios es responsabilidad de los usuarios. No existe un control sobre la antigüedad de los contadores por parte de la administración y la sustitución de los mismos obedece a la existencia de fugas o a la imposibilidad de tomar lecturas por deficiencias del contador.

4.3.- Potabilización

La potabilización del agua procedente del pozo se reduce a un proceso de cloración. La cloración tiene lugar en el depósito inferior mediante la inyección de hipoclorito sódico a través de una bomba dosificadora.



Figura 4.8. Bomba dosificadora de cloro

La química del agua subterránea, dada su naturaleza, es rica en bicarbonato cálcico. Del último análisis físico-químico del agua del pozo se concluye que el agua es bicarbonatada cálcica clorurada. El contenido en nitratos denota una cierta contaminación, seguramente por retorno de riego y lixiviación de nitratos procedentes de su uso en agricultura, superando el valor permisible de 50 mg/l. El resto de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos cumplen los valores paramétricos que marca la legislación vigente según Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

4.4.- Funcionamiento del sistema

El funcionamiento del sistema de abastecimiento se concentra en las operaciones de arranque y parada de las bombas y en la apertura y cierre de la válvula automática de seccionamiento de EGEVASA, todo ello controlado por el nivel del agua de los depósitos y, además, en el caso de la bomba del pozo, por el nivel del agua en el mismo.

El depósito inferior dispone de las correspondientes sondas de nivel para controlar el arranque y parada de la bomba del pozo y la apertura y cierre de la válvula automática que controla la entrada de agua de EGEVASA al sistema.

La sonda de nivel que controla el arranque de la bomba del pozo se sitúa a 2,30 metros de la solera del depósito, mientras que el que acciona la parada de la bomba se ubica a 2,95 metros. Por su parte, la sonda de nivel que controla la apertura de la válvula que permite la entrada de agua de EGEVASA al sistema se sitúa a 2,00 metros, mientras que el que acciona el cierre de la válvula está a 2,60 metros. Así, el volumen útil de depósito semienterrado es de 75 m³.

La torre de presión dispone también de sondas de nivel para controlar el arranque y parada del grupo de bombeo ubicado en la cámara de llaves. Sin embargo, se desconoce la ubicación de las sondas. El mal estado de las escaleras ancladas en la pared de la torre y el alto riesgo que supone su ascenso son la razón de no disponer de esa información. La ubicación, por tanto, de estas sondas será un dato a ajustar en el proceso de calibración.

Tanto el agua del pozo, impulsada por su correspondiente bomba, como el agua de EGEVASA entran al sistema a través del depósito inferior. La presión que dispone la tubería de EGEVASA, en el punto donde se localiza la válvula de seccionamiento, es de 8 mca. Del depósito inferior, parte del agua es inyectada a la red de distribución del sector bajo, mientras que otra parte es bombeada a la torre de presión e inyectada directamente a la red de distribución del sector bajo, esto en el caso que el nivel del agua en la torre de presión active el grupo de bombeo. De otra forma, si el nivel del agua en la torre de presión es tal que no está en funcionamiento el grupo de bombeo, el agua es inyectada a la red desde la torre. Esta torre de presión presenta la particularidad de disponer de una única tubería para la entrada y salida de agua.

El agua procedente de EGEVASA dispone de una segunda entrada al sistema en caso de avería o mal funcionamiento de la válvula automática. En este caso el agua es conducida a la tubería de aspiración del grupo de bombeo desde donde es inyectada a la red del sector alto. Esta entrada alternativa se encuentra cerrada por medio de una válvula de seccionamiento.

Por último, se dispone recientemente de un sistema de control del nivel del agua en el pozo para evitar descensos por debajo o cerca de la aspiración de la bomba, de tal forma que en función del nivel del agua se controle también el arranque y parada de la bomba del pozo.

En la figura 4.9 se representa un esquema hidráulico del sistema de abastecimiento.

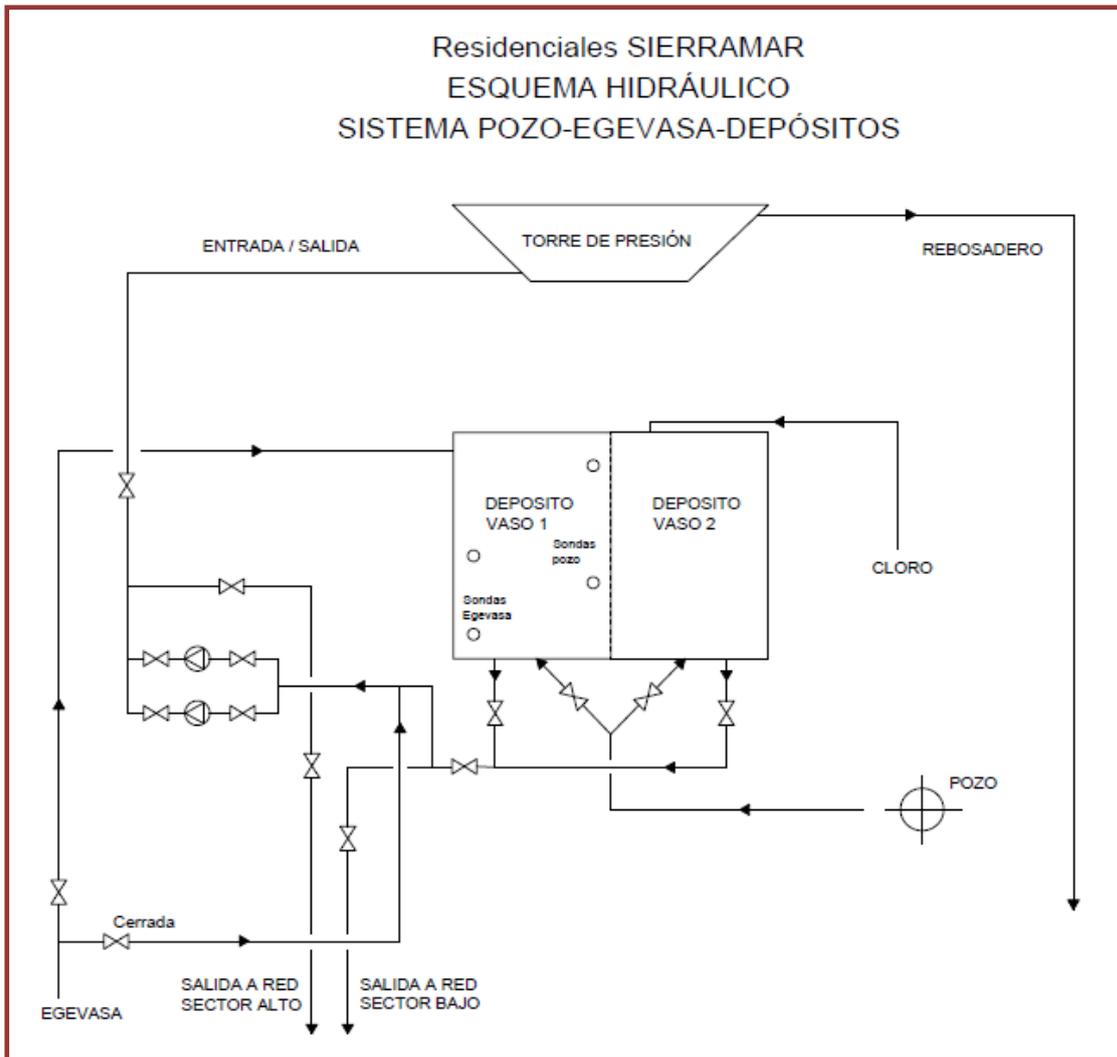


Figura 4.9. Esquema hidráulico del sistema de abastecimiento

5.- USOS Y DEMANDAS ACTUALES

Como es de esperar, la práctica totalidad del uso de agua en la urbanización es de tipo doméstico. De las 235 parcelas urbanizadas, 227 parcelas son de carácter residencial, mientras que 8 pertenecen al club deportivo/social. Existe otra parcela que contiene un pequeño centro comercial, sin uso desde hace varios años. No se proyecta que las parcelas que permanecen sin urbanizar no tengan otro uso que no sea el residencial.

Adicionalmente, la red incluye cerca de una treintena de bocas de riego para las áreas verdes públicas de la urbanización.

Tabla 5.1. Tipologías de usuarios y puntos de consumo asociados

Tipo de usuario	Puntos de consumo
Doméstico	246
Club deportivo/social	3
Riego	23

El uso doméstico incluye el riego de jardines particulares y, ocasionalmente, cada uno o más años, el llenado de piscinas (el 60% de las residencias disponen de piscinas). Por su parte, el uso del agua en el club deportivo y social incluye el uso recreativo de piscinas (llenado anual), duchas, fuentes, riego de jardines, riego de pistas de tenis y el restaurante del club.

Si bien no se dispone de datos del carácter estacional o permanente por parte de los residentes, de los datos recogidos en la facturación se desprende que muchas residencias sólo son ocupadas durante los meses de verano o bien en fines de semana. La facturación del consumo de agua se realiza de forma trimestral. En el Anexo 1 se recoge los datos trimestrales de consumo por abonado del último año.

A efectos del cálculo del consumo de agua en la urbanización, no se han considerado aquellos usuarios sin consumo de agua en el transcurso del último año. El consumo medio en la urbanización, considerando el registro del último año, es de 1.813 l/vivienda*día.

No obstante, el consumo de agua presenta una alta variabilidad en función de la época del año que se considere (tabla 5.2). Esta variación se debe al incremento de la población y, especialmente, al aumento del consumo del agua durante los meses de verano, donde aparte del incremento vinculado al uso doméstico y del riego de jardines hay que sumar un uso recreativo del agua como el uso de piscinas.

Tabla 5.2. Consumo medio (uso doméstico) en época estival, no estival y anual en último año

Dotación media (jun-ago14) (l/vivienda*día)	Dotación media (sep13-may14) (l/vivienda*día)	Dotación media (anual) (l/vivienda*día)
2.958	1.398	1.813
Dotación media (jun-ago14) (l/hab*día)	Dotación media (sep13-may14) (l/hab*día)	Dotación media (anual) (l/hab*día)
739	350	453

De la tabla 5.2 se desprende que la demanda media durante los meses de verano duplica la demanda media durante los meses no estivales. Este peso que tienen los meses estivales en el consumo de agua conduce a que la demanda media anual sea 1,3 veces mayor que la demanda media en los meses no estivales.

De la lectura de los contadores domiciliarios se observa que en algunas viviendas los consumos registrados durante los meses de verano (jun-ago) son elevados, alcanzando, en algunos casos, valores por encima de los 1.000 m³ en un mes, a causa, seguramente, por el llenado de piscinas.

En cualquier caso, se puede sostener que el consumo doméstico medio de agua en la urbanización es elevado.

Cabe destacar que a principios de cada verano, durante el llenado anual de las piscinas del club deportivo y social, la red experimenta problemas de presión, según han manifestado algunos residentes de la urbanización.

6.- MODELACIÓN MATEMÁTICA DE RED DE ABASTECIMIENTO

6.1.- Herramienta utilizada. El programa EPANET 2.0

Un modelo matemático de una red de abastecimiento es una herramienta que permite simular el funcionamiento de las redes y establecer diferentes hipótesis de funcionamiento. Las aplicaciones prácticas de disponer de un modelo de la red de abastecimiento son múltiples. Así, permite realizar estudios operacionales de las redes de distribución de agua y generar las recomendaciones pertinentes para la optimización de los sistemas, detectar zonas problemáticas de la red, estudios de vulnerabilidad de la red ante situaciones imprevistas, planificar ampliaciones óptimas, facilitar la toma de decisiones para un adecuado control de la calidad del agua, etc.

Entre los programas informáticos para la modelación de redes de agua, EPANET se encuentra entre los más utilizados. EPANET es un programa libre y de código abierto, con un algoritmo de cálculo potente, rápido y fiable que le ha posicionado como uno de los programas con más aceptación en la simulación de redes de agua.

El programa EPANET es una herramienta orientada al análisis del comportamiento hidráulico de las redes de distribución de agua y el seguimiento de la calidad de las mismas, permitiendo realizar simulaciones en periodo extendido (uno o varios días).

Una red puede estar constituida por tuberías, nudos (uniones de tuberías), bombas, válvulas y depósitos de almacenamiento o embalses. Epanet modela un sistema de distribución de agua como un conjunto de líneas conectadas a los nudos. Las líneas representan tuberías, bombas o válvulas. Los nudos representan puntos de conexión entre tuberías o extremos de las mismas, con o sin demandas (nudos de caudal), y también depósitos o embalses.

EPANET calcula las alturas piezométricas y presiones en los nudos y los caudales en las líneas, entre otras variables, dados los niveles iniciales en los embalses y depósitos, y la sucesión en el tiempo de las demandas aplicadas en los nudos. En cada instante de cálculo, se actualizan los niveles en los depósitos conforme a la entrada y salida de caudales, así como las demandas en las conexiones, de acuerdo a las curvas de modulación que tengan vinculadas.

La solución de alturas y caudales en un determinado punto a lo largo del tiempo implica el cálculo simultáneo de la conservación del caudal en cada nudo y la relación de pérdidas, que supone su paso a través de los elementos de todo el sistema. Ese proceso, conocido como equilibrado hidráulico de la red, requiere métodos iterativos de resolución de ecuaciones no lineales, como puede ser, el "Algoritmo del Gradiente".

6.2.- Confección del modelo inicial. Fases

6.2.1.- Recopilación y análisis de la información

Como fase previa a la confección del modelo se solicitó, a los responsables del sistema de abastecimiento de la urbanización Sierramar, toda la información disponible sobre el servicio de abastecimiento de agua que pudiese ser de utilidad en la construcción del modelo. La información proporcionada incluyó:

- Plano de la urbanización con topografía (curvas de nivel 1 m.) en formato CAD.
- Plano del trazado de la red de abastecimiento (no incluye diámetros).
- Plano de los depósitos.
- Plano del pozo.
- Esquema hidráulico del sistema entrada de agua-bombeo-depósitos-salida a la red.
- Curva característica y de rendimiento de la bomba del pozo.
- Listado y facturación de abonados al servicio.
- Registros de lecturas en contadores de entrada de agua a la red (pozo y EGEVASA).
- Horarios de cada boca de riego.

La información entregada fue ampliada y contrastada con una visita técnica a la urbanización con acompañamiento de personal de mantenimiento de la urbanización, cuyo conocimiento facilitó la identificación y corrección de algunos errores, como en el trazado de la red y en el esquema hidráulico del sistema de bombeo.

No obstante, la información recabada no incluía algunos datos precisos en la confección del modelo:

- Diámetro interior de las tuberías de la red.
- Registros de medidas del nivel estático y dinámico del pozo.
- Curva característica y de rendimiento de la bomba situada en la cámara de llaves.
- Registro de caudales inyectados a ambas redes
- Ubicación de las sondas de nivel en la torre de presión.
- Ubicación de las sondas de nivel en el depósito de distribución.
- Presión de entrega del agua de EGEVASA.

Los dos últimos datos fueron medidos en las semanas posteriores al inicio del estudio, mientras que el diámetro interior de las tuberías fue obtenido de la bibliografía. El resto ha sido estimado o bien no se ha incorporado en la elaboración del estudio. Así, la ubicación de las sondas de nivel en la torre de presión como las curvas de la bomba de la cámara de llaves han sido supuestos en la modelación inicial de la red y se comentan más adelante. Cabe decir que estas lagunas de información introducen una mayor incertidumbre en la confección del modelo y en su posterior ajuste y calibración.

Por otro lado, en el transcurso del estudio, la Administración de la urbanización instaló contadores en las bocas de riego, con objeto de disponer de mediciones en todos los puntos de consumo de la red y evitar así estimaciones en el consumo de riego en la realización del balance hídrico de la red.

6.2.2.- Exportación de la red y preparación del entorno

A partir del plano digitalizado de la urbanización en formato CAD, se creó una capa para el dibujo de la red de abastecimiento de la urbanización. Previamente, se definieron los puntos de conexión de la red en función de la ubicación de las acometidas domiciliarias y otros puntos de la red que fueran de interés incluir en el modelo.

Dibujada la red en formato CAD, se exportó la correspondiente capa a EPANET con ayuda de EPACAD. Esto permitió disponer no solo del dibujo del trazado de la red sino también de las longitudes de las tuberías.

Una vez representada la red de agua en EPANET y en función de las dimensiones reales de la misma, se procedió a cargar el mapa de fondo de la urbanización obtenido de Google Maps.

Por último, entre las opciones de cálculo que incluye el programa EPANET, se ha empleado en la modelación como unidad de caudal los l/s y la ecuación de pérdidas de Darcy-Weisbach.

6.2.3.- Esqueletización de la red

La esqueletización de la red consiste en la simplificación del entramado de tuberías y otros elementos de la red.

Esta esqueletización de la red adquiere relevancia en redes de gran extensión, donde modelar todas las tuberías y elementos del sistema de distribución se presenta como una tarea compleja de abordar; y, además, en numerosas ocasiones, no necesaria según qué objetivos perseguidos en la modelación.

No obstante, en una red de tan pequeñas dimensiones como la de estudio pierde el sentido la simplificación de la red de tuberías, así como la agrupación de consumos de viviendas en un nudo, lo que reduciría el número de conexiones de consumo del modelo a unas pocas unidades.

De esta forma, la esqueletización de la red es mínima. Así, todas las tuberías de la red (sin incluir las acometidas domiciliarias) están representadas en el modelo; y cada acometida domiciliaria se representa en el modelo con el correspondiente nudo o conexión.

La identificación seguida con las conexiones sigue los siguientes criterios. En el caso de conexiones de acometidas en viviendas se numera con el número de parcela correspondiente; si es conexión de riego con numeración secuencial desde el depósito, precedida con una R, y; si es conexión sin consumo con una numeración secuencial desde el depósito, precedida con una N. Por su parte, la identificación de líneas (tuberías) sigue una numeración secuencial desde el inicio de la red a la salida de los depósitos.

6.2.4.- Modelación de los elementos del sistema.

Una vez dispuesto el esqueleto de la red, se procede con la modelación de cada uno de los elementos introducidos en EPANET para representar la red de agua. A continuación, sin entrar en detalle, se describen las propiedades definidas y la modelación efectuada para cada elemento.

Conexiones:

Las conexiones son puntos de unión entre líneas que pueden tener o no consumo. En la red de estudio, cada acometida domiciliaria o boca de riego está representada con una conexión. En cada una de las conexiones se introdujo su *cota*, *demanda base* y *patrón de demanda asociado*.

Tuberías:

En el caso de las tuberías se definió su *diámetro* (interior), *coeficiente de rugosidad*, *coeficiente de pérdidas* y *estado*. Dado que ninguna válvula de seccionamiento de la red opera cerrada en la red, todas las tuberías se definieron en estado abierto, a excepción de tres tuberías de la cámara de llaves, dos con válvula de retención y una cerrada (la entrada alternativa del agua de EGEVASA).

Para modelar el cierre o apertura de la válvula automática que controla la entrada de agua de EGEVASA al sistema, en función del nivel del agua en el depósito inferior, se definió una regla de control simple:

LINK 1 OPEN IF NODE D1 BELOW 2

LINK 1 CLOSED IF NODE D1 ABOVE 2.6

En las tuberías de impulsión a los depósitos y en las tuberías de salida a la red, se definió un *coeficiente de pérdidas* para recoger las pérdidas derivadas del entramado de válvulas, tes y codos presente en la cámara de llaves. También se definió un coeficiente de pérdidas en las tuberías con tes, codos y válvulas en la red de distribución.

Tabla 6.1. Coeficientes K de diversos elementos

Elemento	Coeficiente
Válvula de compuerta totalmente abierta	0,2
Válvula de retención, totalmente abierta	2,5
Codo a 45º	0,4
Codo de radio grande	0,6
Codo de radio medio	0,8
Codo de radio pequeño	0,9
Te estándar – dirección de paso	0,6
Te estándar – dirección de desvío	1,8
Entrada recta	0,5
Salida brusca	1,0

 **Embalse:**

Con este elemento se ha representado tanto el pozo como el aporte de agua de EGEVASA.

La captación del agua subterránea mediante el pozo se ha modelado mediante un embalse con una *altura total* correspondiente al nivel dinámico en relación al nivel del mar.

El punto de inyección de EGEVASA fue modelado como un embalse cuya altura total se definió con su cota correspondiente más la presión del agua antes de la válvula automática de corte.

 **Depósitos:**

Cuando se trata de depósitos cilíndricos las propiedades a definir son la *cota de solera*, el *nivel inicial*, el *nivel máximo*, el *nivel mínimo* y el *diámetro*.

Sin embargo, para depósitos no cilíndricos, como la torre de presión de la red, la modelación depende de su morfología. Para el depósito de planta rectangular se define un diámetro equivalente igual a 1,128 veces la raíz cuadrada de la sección transversal.

En el caso de la torre de presión, con morfología troncocónica, se definió una curva de cubicación que relaciona el nivel del agua con el volumen almacenado.

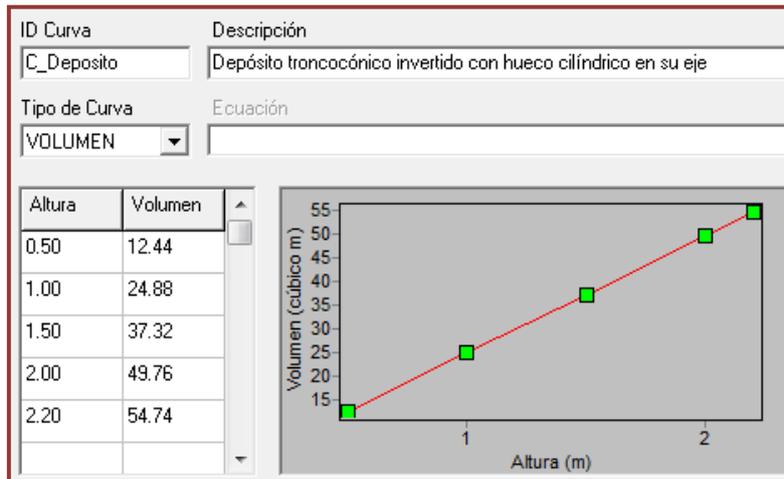


Figura 6.1. Curva altura-volumen de la torre de presión

Bombas:

La bomba del pozo fue modelada a partir de su *curva característica* y su *curva de rendimiento* y del estado inicial (abierto).

Por su parte, para el grupo de bombeo situado en la cámara de llaves, al no disponer de su curva característica ni de un dato de caudal de salida, se definió su curva a partir de un punto teórico (EPANET calcula la curva a partir de ese punto) que proporcionase valores de velocidad del agua en la tubería de impulsión en torno a 0.8 m/s.

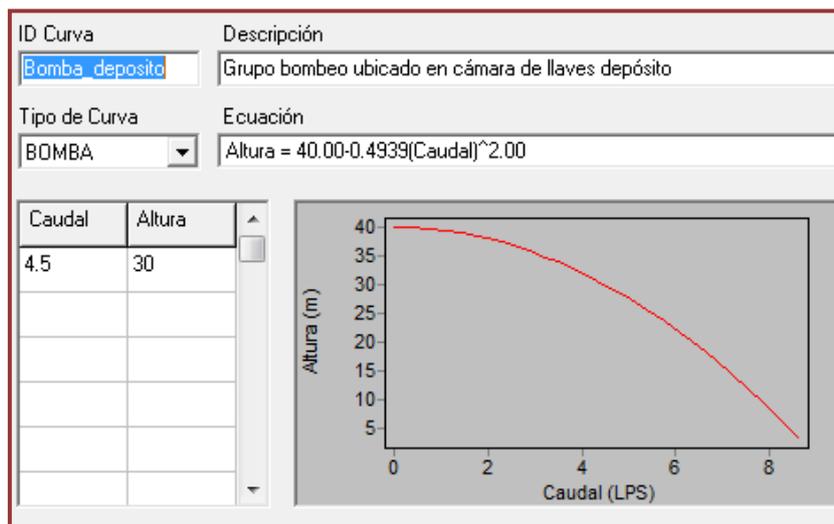


Figura 6.2. Modelación inicial de la bomba de la cámara de llaves

El arranque y parada de las bombas, en función del nivel del agua de los depósitos, se definió a partir de las correspondientes reglas simples de control.

Para la bomba del pozo:

LINK B1 OPEN IF NODE D1 BELOW 2.3

LINK B1 CLOSED IF NODE D1 ABOVE 2.95

Para el grupo de bombeo de la cámara de llaves:

LINK B2 OPEN IF NODE D2 BELOW 0.5

LINK B2 CLOSED IF NODE D2 ABOVE 2

Esta última regla de control, al desconocerse la ubicación de las sondas de nivel en la torre de presión, está sujeta a ajustes en la calibración del modelo.

Válvulas

Las válvulas que dispone la red, de seccionamiento y de retención, son modeladas por medio de la propiedad *estado* de la tubería, como se indicó anteriormente. Las únicas válvulas introducidas en el modelo como tal elemento son dos válvulas sostenedoras de presión para modelar las dos entradas de agua al depósito, desde el pozo y desde la tubería de EGEVASA, por su parte superior. No obstante, estas válvulas son ficticias y no existen realmente en el sistema.

6.3.- Balance hídrico de la red de abastecimiento

El balance hídrico de un sistema de abastecimiento de agua es fundamental para abordar su correcta gestión y explotación. Un balance hídrico tiene como finalidad conocer las pérdidas de agua o consumos no controlados del sistema, lo que a su vez definirá su estado de conservación general y su adecuada o inadecuada gestión.

En algunos países, las fugas de los sistemas de abastecimiento de agua llegan a ser superiores al 50% de la cantidad requerida por los habitantes para satisfacer sus necesidades hídricas. Este desperdicio de agua implica pérdidas económicas de importancia y un mal aprovechamiento de los recursos naturales. En los países donde es escasa la disponibilidad de agua es imperioso disminuir las cantidades de agua que se pierden por este concepto, esto sin considerar el coste energético que implican.

En la literatura existen dos grandes formas de abordar el balance hídrico:

- El balance hídrico propuesto por la American Water Works Association (AWWA), cuyo detalle puede seguirse en AWWA (1999).
- El balance hídrico propuesto por la Internacional Water Association (IWA), cuyo detalle puede seguirse en Lambert y Hirner (2000).

Cualquier metodología persigue discernir entre el agua registrada (AR) y el agua no registrada (ANR). El AR proviene de todos aquellos puntos de consumo de cualquier tipología (residencial, comercial, industrial, riego, etc.) que disponen de un medidor que permite cuantificar el agua consumida en un determinado período de tiempo. Adicionalmente, es preciso disponer de un registro en las plantas de producción e inyección de agua a la red de distribución. La diferencia entre el volumen medido de agua inyectada a la red y el volumen medido correspondiente a todos los consumos en la red permitirá obtener el ANR.

El balance hídrico de la IWA, el más reconocido internacionalmente, contempla que los usuarios del sistema no dispongan de medidores y, en consecuencia, exista la necesidad de estimar sus consumos. Este balance tiene un enfoque marcadamente económico y se expresa en términos de agua facturada y no facturada.

El Instituto Tecnológico del Agua (ITA), en línea con el de la IWA, ha desarrollado un balance con un enfoque más técnico, idóneo cuando se dispone de una amplia medición de consumos en la red, lo que permite un balance técnico más riguroso basado en datos precisos y no estimados, y así, disponer de una herramienta más adecuada para la toma de decisiones dirigidas a la mejora de la gestión técnica de un sistema de abastecimiento (Cabrera et al, 1999).

El balance hídrico del ITA presenta una estructura arbórea de tal manera que el caudal de un nivel se divide en el siguiente en dos. Y así hasta cuatro niveles, atendiendo cada uno de ellos a un criterio determinado, cada vez más restrictivo y de manera que el nivel superior siempre es más general que el inferior. El caudal de partida es, lógicamente, el caudal que ingresa en el sistema procedente de la planta potabilizadora o depósito de distribución (Cabrera et al, 1999).

A partir de este punto de partida, el balance hídrico se ordena en cuatro niveles perfectamente establecidos (Cabrera et al, 1999):

➤ **Punto de partida**

- *Caudal inyectado (Q)*. Es el caudal de agua que ingresa la red y que es medido por el/los caudalímetro/s de cabecera.

➤ **Primer nivel:**

- *Caudal registrado (consumido) (Q_r)*. Es el caudal consumido por los abonados y registrado por los contadores. Un caudal que, si la práctica totalidad de los usos se miden, coincidirá (salvo en lo que se refiere al error de medición) con el caudal suministrado a todos los usuarios.
- *Caudal incontrolado (Q_i)*. Es el caudal no medido del sistema. Resulta de la diferencia entre el caudal inyectado y el caudal registrado.

➤ **Segundo nivel**

- *Caudal incontrolado fugado (Qif)*. Es el caudal correspondiente a las fugas reales de la red.
- *Caudal incontrolado consumido (Qic)*. Es un caudal que aunque consumido por los abonados no es registrado, ya sea por ausencia de medidor o por error en la medición.

➤ **Tercer Nivel**

- *Caudal incontrolado consumido por carencia de medidor (Qicc)*. Es el caudal consumido que no ha sido registrado por ausencia del contador.
- *Caudal incontrolado consumido y no registrado por error en el contador (Qice)*. Es el caudal consumido pero no registrado debido a error en la medición de los contadores.

➤ **Cuarto nivel**

- *Caudal incontrolado consumido pero no medido por carencia de contador en acometida autorizada (Qicca)*. Este caudal corresponde a los usos autorizados que no disponen de medición.
- *Caudal incontrolado consumido y no medido por carencia de contador en una acometida ilegal (Qicci)*. Es el caudal correspondiente a la existencia de acometidas ilegales (extracciones ilegales en la red).

El diagrama arbóreo de la figura 6.3 es una síntesis del balance hídrico técnico.

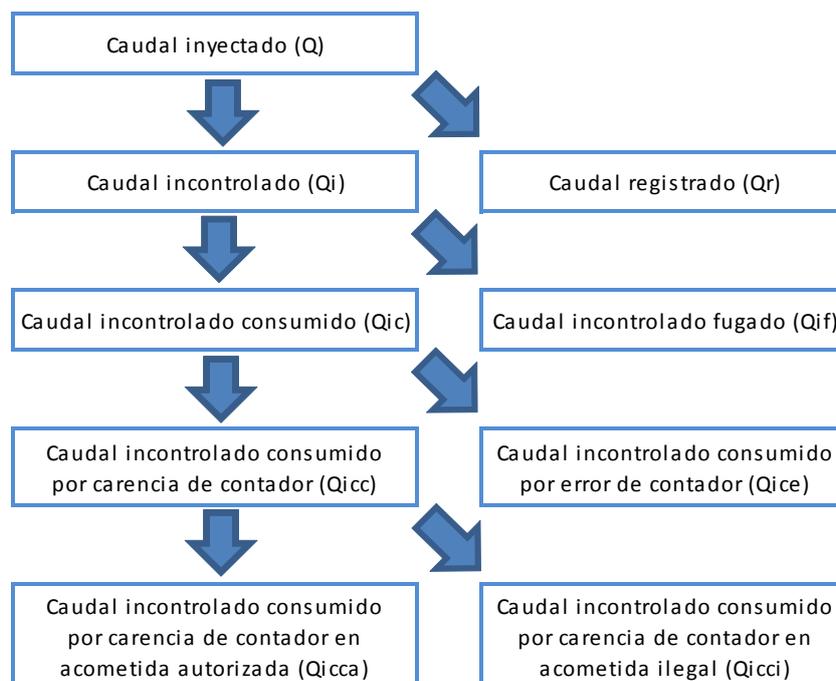


Figura 6.3. Balance hídrico técnico (ITA, 1999)

A partir del balance hídrico y del volumen de fugas calculado se puede, mediante el empleo de indicadores, evaluar el estado de una red de abastecimiento.

Posiblemente el indicador más conocido y empleado es el **rendimiento volumétrico global del sistema** como la relación entre el volumen registrado por los contadores y el volumen total inyectado que ingresa al sistema, medidos ambos para un mismo período de tiempo.

$$\eta = \frac{\nabla_r}{\nabla_i}$$

Evidentemente, un rendimiento alto es sinónimo de un buen aprovechamiento de los recursos hídricos y de la buena salud en la gestión del servicio.

En síntesis, a partir del valor del rendimiento global porcentual, de un abastecimiento, su gestión podría ser calificada como sigue (Cabrera et al, 1999).

Tabla 6.2. Calificación de la gestión de un abastecimiento en función de η

Rango	Calificación
$\eta > 0,9$	Excelente
$0,8 < \eta < 0,9$	Muy bueno
$0,7 < \eta < 0,8$	Bueno
$0,6 < \eta < 0,7$	Regular
$0,5 < \eta < 0,6$	Malo
$0,5 < \eta$	Inaceptable

Sin embargo, el rendimiento volumétrico, como indicador del estado de la red, no considera aspectos fundamentales como la continuidad del servicio, la presión, el número de acometidas y la longitud de la red. Así, los rendimientos deben enmarcarse, nada más, como referencia del estado de una red.

Otros indicadores, que sí consideran algunos de los aspectos citados anteriormente, se presentan como más idóneos para evaluar el estado de la red frente al rendimiento volumétrico. Uno de los indicadores más utilizados es el de **litros por acometida y día** (l/ac*día) que relaciona las fugas en litros con alguno de los factores de riesgo más importantes, el número de acometidas y el tiempo. Al incluir el tiempo su valor es el mismo con independencia de que se interrumpa, o no, el suministro.

Tabla 6.3. Calificación del estado de un abastecimiento en función de l/ac*día

(Wolfram Himmer, 2001)

Rango	Calificación
< 100	Excelente
100 - 150	Aceptable
150 - 200	Regular
>200	Inaceptable

Otro indicador muy utilizado para evaluar las fugas y el estado de una red es el de **metros cúbicos por kilómetro de red y hora** ($m^3/km*hora$). Este indicador relaciona las fugas en metros cúbicos con otros “factores de riesgo” relevantes como la longitud de la red y el tiempo. El hecho de cambiar las unidades de litros (en el precedente indicador) a m^3 (en el presente indicador) se debe a que se desea un resultado numérico manejable.

Tabla 6.4. Calificación del estado de un abastecimiento en función de $m^3/km*hora$

(Wolfram Himmer, 2001)

Rango	Calificación
< 0,2	Excelente
0,2 – 0,5	Aceptable
0,5 – 0,75	Regular
>0,75	Inaceptable

Las auditorías hídricas permiten, a través de indicadores como los vistos y otros, evaluar el estado de un abastecimiento y, a partir de los resultados obtenidos, planificar una hoja de ruta en relación al mantenimiento y renovación del patrimonio hidráulico de un sistema de abastecimiento. Así, las estrategias a seguir para minimizar las pérdidas de agua deben decidirse en función del resultado de las auditorías hídricas.

Por último, existen otros indicadores para evaluar el estado de una red que no están vinculados directamente con el volumen de fugas de una red y no precisan de una auditoría hídrica previa. Uno de los más utilizados es el **número de roturas por km y año** (n° roturas/km*año). Se considera como aceptable valores menores a 0,1 roturas/km*año.

6.3.1.- Balance hídrico: caso Sierramar

La Administración de Sierramar, desde el mes de septiembre de 2014, posteriormente a la compra e instalación de contadores en las derivaciones para el riego, registra todo el consumo de agua que se produce en la urbanización.

Esta medición universal del consumo de agua en la urbanización es la situación ideal para la aplicación del balance hídrico técnico, ya que todo el consumo registrado es obtenido a partir de mediciones y no hay necesidad de estimación alguna.

En cambio, el sistema de abastecimiento no dispone de caudalímetros en las tuberías de inyección de agua a la red de distribución. El registro de entrada de agua al sistema se realiza por medio de caudalímetros localizados en la tubería de impulsión del pozo y en la tubería que introduce agua de EGEVASA, previo a la entrada en el depósito inferior. Esta disposición de los caudalímetros no permite conocer con precisión el volumen de agua inyectada a la red de distribución durante el período de tiempo considerado, por lo que existe un error correspondiente al volumen útil de los dos depósitos, que en el caso del depósito inferior es de 74 m^3 , mientras que en el caso del depósito elevado es desconocido al no tener conocimiento de la posición de las sondas, pero que, como máximo, es de 50 m^3 .

Los caudalímetros de la red no son electrónicos y no registran valores instantáneos de caudal, por lo que no se dispone de un registro de caudales continuos en el tiempo. Esta circunstancia impide aplicar una metodología que discrimina el caudal incontrolado consumido (Q_{ic}) y el caudal incontrolado fugado (Q_{if}), con el apoyo del modelo de la red. Así, para determinar el caudal de fugas será necesario hacer una estimación del caudal no registrado por error (subcontaje) en el contador. Un valor típico del error del contador por subcontaje es del 5% del caudal incontrolado fugado.

Por otro lado, dada la naturaleza del abastecimiento y el nivel socioeconómico de los abonados, además del pequeño tamaño y concentración de viviendas de la urbanización, que permitiría detectar con facilidad acciones como una conexión fraudulenta a la red de distribución, se establece para el cálculo del balance hídrico un escenario en donde no hay acometidas ilegales en la red.

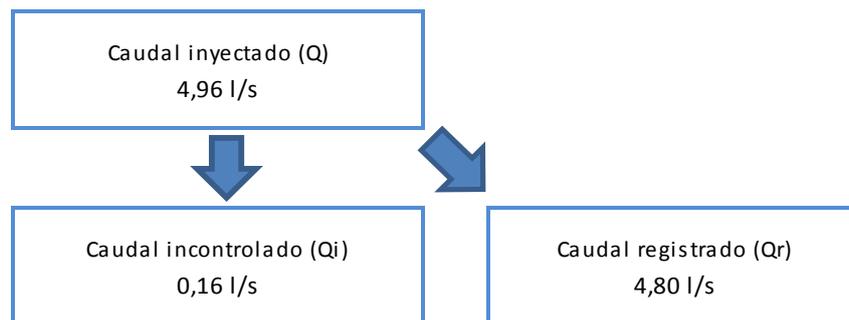
Así, dado que la totalidad de consumos se miden y no existen usuarios ilegales, tres de los caudales del balance hídrico pueden eliminarse. De esta forma, no tiene sentido ni Q_{icc} , ni los dos sumandos que lo integran, Q_{icca} y Q_{icci} , verificándose, además que todo el caudal incontrolado consumido es igual al error de medición del parque de contadores (es decir $Q_{ic} = Q_{ice}$).

Entre el 1 de septiembre y el 15 de octubre de 2014 se realizó un **primer balance hídrico** en el abastecimiento de Sierramar. Los volúmenes de agua obtenidos para las entradas y salidas de agua en la red, en el tiempo considerado, fueron los siguientes:

Tabla 6.5. Volúmenes (y caudales) inyectados y consumidos (1^{er} balance hídrico)

Agua inyectada			Agua consumida		
Tipología	Volumen (m ³)	Caudal (l/s)	Tipología	Volumen (m ³)	Caudal (l/s)
Pozo	6.202	1,60	Residencial	16.164	4,16
EDEVASA	13.083	3,36	Riego público	2.500	0,64
TOTAL	19.285	4,96	TOTAL	18.664	4,80

A continuación se refleja los caudales para el primer nivel del balance:



Ahora, si se aplica un error usual del 5% por subcontaje en la medición de los contadores de consumo, el segundo y tercer nivel quedarían definidos como sigue:

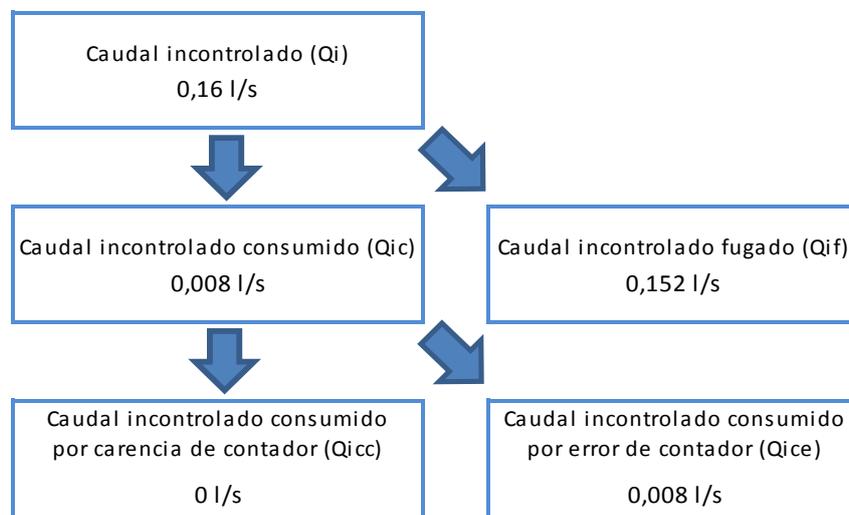


Figura 6.4. 1^{er} balance hídrico de la red de abastecimiento Sierramar

Finalmente, el **rendimiento volumétrico** del abastecimiento sería:

$$\eta = \frac{\nabla_r}{\nabla_i} = \frac{18664}{19285} = 0,97$$

Atendiendo a los datos manejados el rendimiento volumétrico de la red es excelente.

Igual valoraciones se obtienen con los otros indicadores analizados. Para el indicador **litros por acometida y día** (l/ac*día), con un total de 236 acometidas existente a la red de abastecimiento (incluye 17 acometidas por riego), se obtiene un valor de 55,6 l/ac*día, que según la tabla 6.3, es excelente.

En relación al indicador **metros cúbicos por kilómetro de red y hora** (m³/km*hora) y con una longitud de red de 5,088 km (no incluye la red de riego) se obtiene un valor de 0,1 m³/km*hora. Igualmente, se obtiene una categoría de excelente según la tabla 6.4.

Estos valores distan significativamente de lo esperado para una red de 36 años de antigüedad, donde la situación normal sería encontrar un cierto volumen de fugas e indicadores, cuando menos, regulares. Así, resulta poco verosímil determinar que el caudal de fugas de la red es muy bajo y que, por consecuencia, su estado es excelente.

Solo un considerable subcontaje de los caudalímetros del pozo y/o de EGEVASA podría explicar el resultado obtenido en el balance hídrico. Sin embargo, en principio, parece poco factible; dado que la instalación del caudalímetro del pozo es muy reciente y, por otro lado, es difícil imaginar un error de una magnitud tan elevada en el caudalímetro de EGEVASA para dar una explicación a un caudal de fugas tan ínfimo.

Así, cabe pensar que el “buen estado de la red” es fruto de algún error cometido en el proceso de auditoría, probablemente por la no simultaneidad en la toma de lecturas de los contadores, con diferencias temporales significativas entre las mismas.

De esta forma, en acuerdo con la Administración de Sierramar, se consideró necesario verificar los resultados con un nuevo balance hídrico, ejecutado con el mayor rigor posible en relación a la simultaneidad de mediciones de contadores y con un marco temporal más amplio, lo que permite diluir los errores dados por la imposibilidad de una simultaneidad absoluta de la lectura de contadores e, incluso, los posibles errores de lectura cometidos.

El **segundo balance hídrico** de la red de agua de Sierramar se extiende hasta el 4 de marzo de 2015, fecha de la segunda lectura de contadores. Como primera lectura se puede disponer de una de las dos lecturas realizadas en el primer balance hídrico. Así, este balance comprende un período entre 6 meses y 4 meses y medio, según se considere como primera lectura el 1 de septiembre o el 15 de octubre de 2014.

El segundo balance arroja resultados notablemente diferentes al primero. El **rendimiento volumétrico** se reduce a 0,8 (si la primera lectura es la del 1 de septiembre de 2014) o 0,75 (si es la del 15 de octubre de 2014). Dado que no se conoce cuál de las dos posibles lecturas presenta menor error, se selecciona el peor escenario, o sea, el rendimiento volumétrico de 0,75.

La tabla 6.6 presenta los volúmenes y caudales inyectados y consumidos, extraídos del segundo balance hídrico, correspondientes al período comprendido entre el 15 de octubre de 2014 y el 4 de marzo de 2015.

Tabla 6.6. Volúmenes (y caudales) inyectados y consumidos (2º balance hídrico)

Agua inyectada			Agua consumida		
Tipología	Volumen (m ³)	Caudal (l/s)	Tipología	Volumen (m ³)	Caudal (l/s)
Pozo	12.548	1,04	Residencial	27.002	2,23
EGEVASA	24.852	2,05	Riego público	1.176	0,10
TOTAL	37.400	3,09	TOTAL	28.178	2,33

A continuación se presenta el balance hídrico técnico correspondiente:

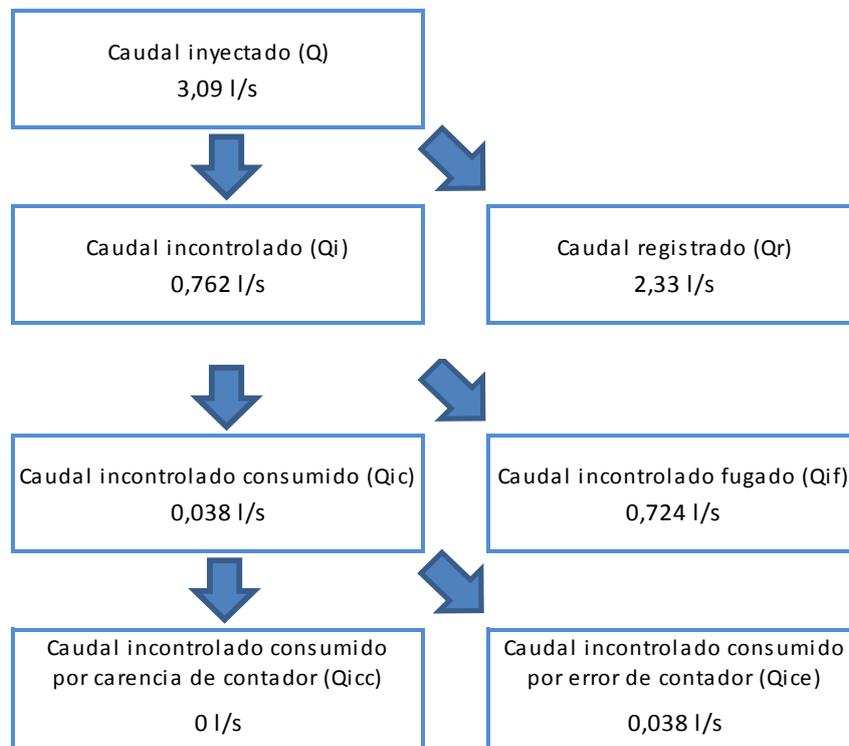


Figura 6.5. 2º balance hídrico de la red de abastecimiento Sierramar

El segundo balance hídrico sitúa el rendimiento volumétrico de la red en 0,75 en lugar de 0,97. Aun así, el resultado se enmarca en la categoría de *bueno*. Sin embargo, si atendemos a los otros indicadores considerados, que son más idóneos para evaluar el estado de una red, los valores obtenidos se alejan significativamente de ser buenos.

El indicador **litros por acometida y día** (l/ac*día) se sitúa en 265,2 l/ac*día, que se corresponde a una categoría *inaceptable*; mientras que el indicador **metros cúbicos por kilómetro de red y hora** (m³/km*hora) presenta un valor de 0,5 m³/km*hora, que corresponde a la categoría *regular*.

Este balance hídrico en la red de abastecimiento de Sierramar es un claro ejemplo de como el rendimiento volumétrico no es un indicador apropiado para analizar el estado de una red. Mientras que el rendimiento volumétrico sitúa a la red en la categoría de *bueno*, los otros indicadores la colocan en una categoría de regular o inaceptable. Y es que, aparte del caudal de fugas de una red, factores como el tamaño o el número de acometidas juegan un papel determinante a la hora de analizar el estado de una red.

Un mismo rendimiento volumétrico en una red de gran tamaño y en otra de pequeño tamaño no pueden concluir en el mismo estado de conservación. Resulta evidente que la red de menor longitud presenta un peor estado de conservación que la red de mayor longitud. Esta consideración es aplicable en la red de Sierramar, donde su pequeña longitud conduce a que el indicador metros cúbicos por kilómetro de red y hora (m³/km*hora) sea *regular*, aun cuando el rendimiento de la red es bueno. Similar análisis cabe con el número de acometidas de la red (l/ac*día), otro factor, como el de la longitud de la red, relacionado directamente con el volumen de fugas del sistema. En este caso, el bajo número de acometidas de la red en relación al volumen de fugas existente sitúan a la red en la categoría de *inaceptable*.

En definitiva, el segundo balance hídrico realizado en la red, dibuja un escenario de la red de abastecimiento más esperable atendiendo a su antigüedad y que está en consonancia con otro indicador evaluado, el número de roturas por kilómetro y año (**nº roturas/km*año**), independiente del volumen de fugas y que, por tanto, no requiere de una auditoría hídrica para su aplicación. El número de roturas en la red, aun sin disponer de un registro histórico, se conoce que en los últimos años se sitúa entre 4 y 5 por año lo que se traduce entre 0,8 y 1 rotura/km*año. Estos valores están muy alejados del valor considerado como aceptable, ubicado en 0,1 roturas/km*año.

Con objeto de que la Administración de la urbanización de Sierramar de forma autónoma el balance hídrico de su red, se ha elaborado una herramienta de gestión sencilla (anexo 2), en formato excel. Esta herramienta permitirá dar seguimiento al estado de la red de abastecimiento y determinar, de forma periódica, el caudal de fugas y los indicadores asociados.

6.4.- Carga del modelo

Se entiende por cargar el modelo asignar la demanda, que se supone en la red, en los nudos del sistema. Se llama estado de carga de la red a la situación de consumo que se produce en la red en un instante determinado.

En una modelación de una red de abastecimiento la demanda a asignar a un determinado nudo de consumo (propiedad *demanda base*) se calcula a partir de las lecturas recogidas en las facturaciones de todos los abonados vinculados al nudo considerado. En el caso del abastecimiento de la urbanización de Sierramar, como se comentaba anteriormente, no se procedió con una esqueletización de acometidas en la red, por lo que a cada abonado le corresponde un nudo en el modelo.

En la carga del modelo, además del consumo que se factura al abonado, del cual conocemos su valor y ubicación, se incluye el caudal no contabilizado (fugas, acometidas ilegales, consumos oficiales no localizados...). No obstante, como se concluyó en el balance hídrico, entre los posibles caudales no contabilizados solo hay caudal de fugas, por lo que éste es el único a considerar en la asignación de cargas.

Una fuga en la red se puede considerar como una válvula semiabierta hacia el exterior (presión atmosférica). El caudal de fuga que deja pasar la válvula depende de la presión en el interior de la tubería y de la característica hidráulica de la fuga. La expresión que caracteriza la fuga hidráulicamente es:

$$Q_{fuga} = K * p^b$$

donde:

Q: caudal de fuga

K: coeficiente de fuga

p: presión de la red

b: exponente de la presión (varía entre 0,5 y 2,5)

Para incluir las fugas en EPANET, se recurre a la propiedad *emisores* asociados a los nudos, que permite modelar una descarga cualquiera de caudal a la atmósfera a través de una tobera u orificio.

No obstante, previamente, es necesario calcular el coeficiente de fuga K. La metodología que permite la determinación del valor de K para cada nudo precisa disponer de un registro de caudales de inyección a la red a lo largo de tiempo. Dado que los caudalímetros existentes en la red no proveen de esa información, el caudal de fugas no será introducido en la red por medio de los emisores de Epanet. Así, el caudal de fugas se distribuirá en la red sin considerar el efecto que la presión tiene en la misma.

Considerando que el 70% del caudal de fugas en una red típica de abastecimiento se localiza en las acometidas y que la totalidad de las intervenciones de reparación de roturas y fugas en la red por parte de los operarios de la urbanización Sierramar se efectúa en acometidas, se ha repartido el caudal de fugas entre los nudos de consumo domésticos de la red. De esta forma, a la demanda base de cada nudo que representa el consumo de cada residencia se le ha sumado el valor correspondiente del caudal de fugas.

La carga del modelo no solo incluye la asignación de la demanda base a cada nudo de consumo y el caudal de fugas, sino también la asignación de una curva de modulación (según tipología del usuario) que refleje la variación de su consumo a lo largo del tiempo. La curva de modulación doméstica es desconocida a priori, por lo que se dispone inicialmente de una curva de modulación recogida en la bibliografía. En el caso del consumo por riego se conocen los horarios de operación (todos nocturnos), en algunos casos operados de forma automática y en otros de forma manual, lo que permite definir hasta un total de 23 curvas de modulación para riego. Por último, las curvas de modulación correspondientes a los tres nudos de consumo del club deportivo y social se han estimado en función de los horarios del día, considerando los horarios de apertura y cierre. Tanto la curva de modulación doméstica como las curvas de modulación del club deportivo y social fueron ajustadas durante el proceso de calibración del modelo.

6.5.- Simulación inicial del modelo

Previo al proceso de ajuste del modelo se ha realizado una simulación en periodo extendido para analizar el estado de la red bajo diferentes escenarios de funcionamiento. Así, además de comprobar que la conectividad de los elementos es correcta, se ha comprobado que los resultados (presiones, caudales, sentido de circulación del agua en la cámara de llaves...) son lógicos para diferentes niveles del agua en los dos depósitos con la/s correspondiente/s bomba/s en funcionamiento y que no existen mensajes de error durante la simulación.

6.6.- Mediciones en la red

Una vez obtenido el modelo de la red y como requisito para la calibración y validación del modelo, se realizaron mediciones de presión en determinados puntos de la red con objeto de comparar los valores reales de la red (valores medidos) con los obtenidos en la simulación del sistema para proceder con el ajuste de parámetros, hasta alcanzar que ambos valores (medido y simulado) sean próximos.

Dado que la instalación del sistema de abastecimiento no permite disponer de medidas instantáneas de presión y caudal, las mediciones efectuadas se realizaron por medio de equipos móviles facilitados por el Instituto Tecnológico del Agua (ITA) de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV). Puesto que las mediciones específicas de caudal implican inversiones e instalaciones que sobrepasan los recursos y alcance del proyecto, la única variable hidráulica medida en la red fue la presión.

La medición de presiones se realizó mediante la instalación de dataloggers en cuatro puntos de la red. Los puntos donde fueron instalados los dataloggers obedecieron a los siguientes criterios:

- Interés hidráulico del punto de medición.
- Posibilidad de conexión a la red sin necesidad de obra o perjuicio a los abonados.
- Seguridad del datalogger durante el tiempo de medición.

En la figura 6.5 se refleja la localización de los puntos donde fueron instalados los dataloggers. En todos casos, los puntos de instalación coinciden con nudos del modelo la red.

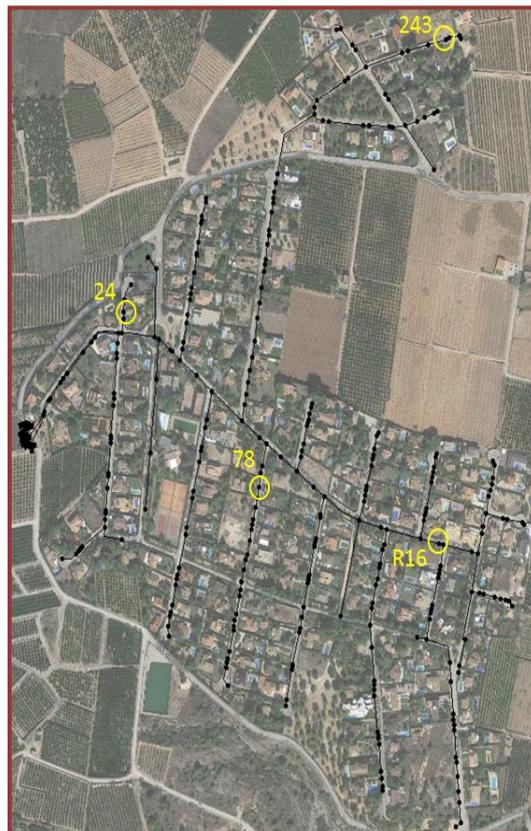


Figura 6.6. Localización de los puntos de instalación de los dataloggers

Previamente a la instalación de los dataloggers en la red, se midió la presión del punto con un manómetro con objeto de calibrar el datalogger. La siguiente tabla presenta la parcela o nudo de medición del datalogger así como el tiempo de medición.

Tabla 6.7. Datos relativos a la instalación de dataloggers

Datalogger	Nudo / Parcela	Sector	Fecha instalación	Tiempo medición
1	24	Alto	1/10/14	1 semana
2	78	Bajo	1/10/14	2 semanas
3	243	Bajo	1/10/14	2 semanas
1	R16	Bajo	8/10/14	1 semana

A continuación se presentan el registro de presiones de cada uno de los puntos medidos.



Figura 6.7 Registro de presiones del nudo 24. Sector alto

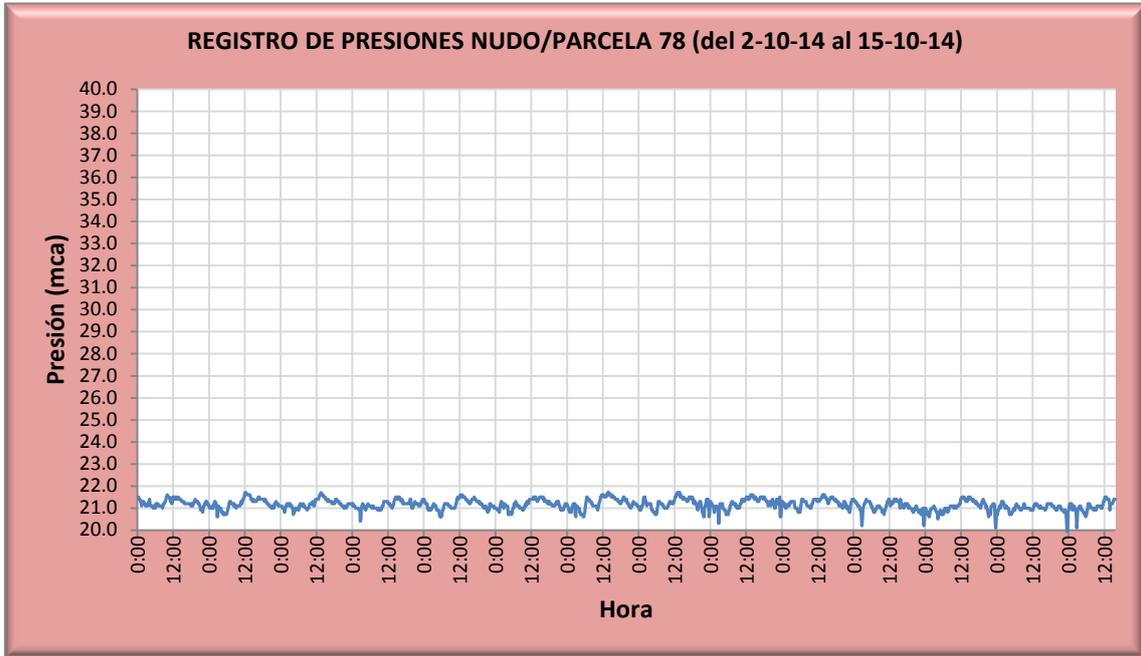


Figura 6.8. Registro de presiones del nudo 78. Sector bajo



Figura 6.9. Registro de presiones del nudo R16. Sector bajo

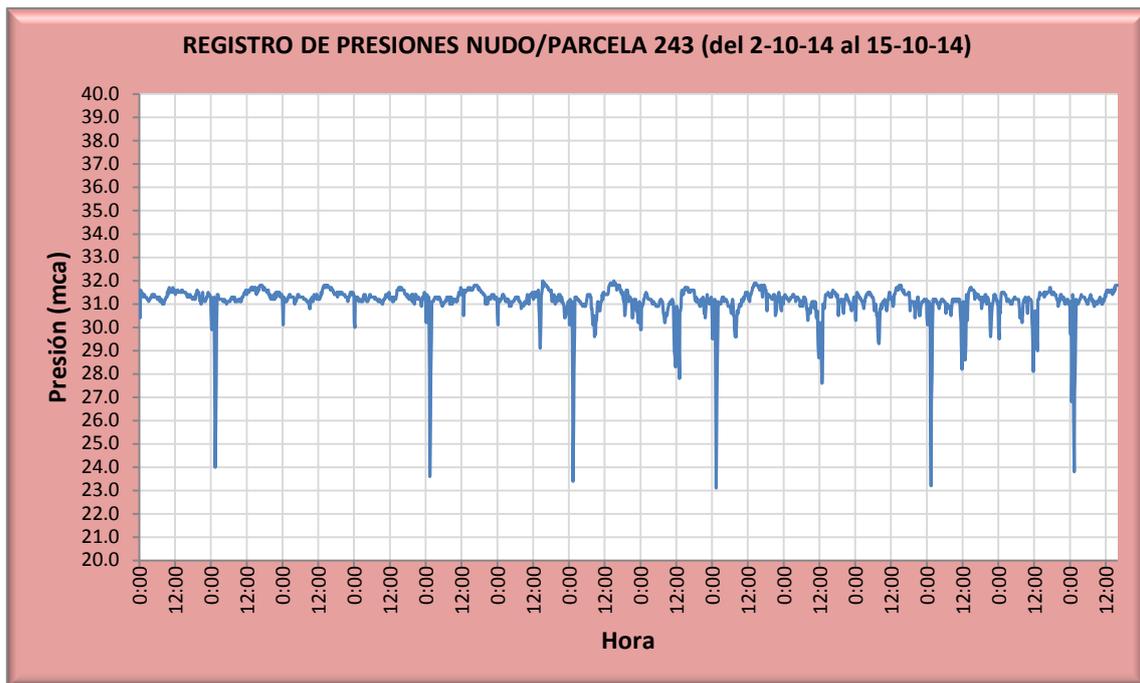


Figura 6.10 Registro de presiones del nudo 243. Sector bajo

Se observa que los registros de presiones muestran un rango de presiones muy pequeño, que varía entre 1 y 2 metros, a excepción de momentos puntuales en los nudos 243 y 24, cuando se registran descensos más acusados de presión, principalmente, a las primeras horas de la madrugada. En el caso del nudo 243 el descenso se debe al caudal de riego nocturno que alimenta al nudo R23, próximo al nudo 243, y que tiene lugar al inicio de la madrugada. En el caso del nudo 24, en cambio, se desconoce el origen del descenso de presión tan acusado (de hasta más de 3 metros), que tiene lugar a las 0:00, y en algunos días entre las 3:00 y las 5:00, ya que el riego asociado al sector alto no puede explicar estos descensos de presión ni en magnitud ni temporalmente.

Esta pequeña variación de presiones, como consecuencia de bajas pérdidas de carga en la red y a la pequeña variación del nivel de agua en ambos depósitos, conduce a que sea muy difícil reconocer patrones de consumo a lo largo del día. A esto hay que sumar la dificultad, por sí, de definir patrones de consumo en pequeñas poblaciones, como se comprueba por la ausencia de ciclicidad en los picos de presión registrados. A destacar también que no se observa variación en el registro de presiones entre días laborables y fines de semana, si bien, esto, probablemente sea consecuencia de lo anterior.

6.7.- Calibración del modelo.

La calibración es el proceso de ajuste de las características del modelo (parámetros) para reflejar mejor el funcionamiento real del sistema (García-Serra et al., 2002) Así, consiste en variar los parámetros hidráulicos y de consumo de forma tal que el modelo pueda reproducir en forma fiel los patrones de presión y caudal medidos. La búsqueda de la solución se realiza entonces ensayando distintas combinaciones de valores de las variables de calibración. Para cada combinación, se observa la coherencia del sistema y su semejanza con las mediciones de campo.

Las principales causas de las discrepancias entre los valores calculados por el modelo y los valores medidos en la red pueden deberse a (García-Serra et al., 2002):

- Modificación del diámetro y rugosidad original de las conducciones por depósito de sales, cal y óxidos, aumentando las pérdidas de carga.
- Desconocimiento de las pérdidas menores ocasionadas por juntas, codos, tes, reducciones, etc. imposibles de cuantificar.
- Pérdida de carga en las válvulas de cierre que, por condiciones de funcionamiento, no quedan perfectamente cerradas o abiertas durante alguna maniobra, y cuyo estado es difícil de saber.
- Desconocimiento de la correcta distribución de consumos en un instante determinado en la red.
- Desconocimiento en el valor y localización de las fugas, y en los errores de los contadores, que añaden incertidumbre a la asignación de cargas a la red.
- Las mediciones necesarias para la fase del ajuste del modelo no están exentas de errores en los aparatos de medida, en la lectura y en las fluctuaciones de la variable que se mide.
- Errores en la determinación de la cota en los nudos que sirven como punto de medida.
- Errores de los datos del modelo o en las estimaciones realizadas a causa de su desconocimiento (curvas características de las bombas, diámetros nominales, etc.).

Todas estas indeterminaciones condicionan el resultado final del modelo. Para el caso de estudio, se considera que los más relevantes en la discrepancia entre los valores obtenidos en el modelo y los valores medidos en la red son el desconocimiento de la curva de modulación del consumo, la imprecisión en el cálculo del valor de las fugas por la ausencia de caudalímetros en las tuberías de salida a la red y los posibles errores cometidos en las estimaciones realizadas de los datos (curva característica de la bomba de la cámara de llaves, ubicación de las sondas de nivel en el depósito elevado...). Por tanto, serán estos parámetros que introducen mayor incertidumbre al modelo sobre los que enfocará la calibración.

Si bien la rugosidad es uno de los parámetros más importantes en el proceso de calibración de una red, al estar ésta constituida por tuberías de fibrocemento, muy resistentes a las acciones químicas, se considera poco factible una modificación significativa de la rugosidad, y por tanto, poco relevante en el proceso de calibración de la red.



Fig. 6.11 Aspecto de la tubería de fibrocemento de un ramal de la red

El ajuste de parámetros del modelo se ha realizado bajo situación dinámica. Si bien es práctica habitual la calibración en varias situaciones estáticas, con objeto de ajustar aquellos parámetros que no dependen del tiempo, como las rugosidades, las pérdidas menores, diámetros interiores, cotas, etc.; el rango pequeño de presiones registradas a lo largo de tiempo limita este proceso de calibración.

El método utilizado en el proceso de calibración ha sido el de ensayo y error de forma manual.

6.7.1.- Calibración del modelo en situación dinámica

Dado que no se ha efectuado calibración del modelo estático, durante el proceso de calibración entran en juego todos los parámetros sujetos a ajuste, tanto aquellos que dependen del tiempo, como la modulación temporal de demandas en los nudos, el ajuste de la curva característica del grupo de bombeo ubicado en la cámara de llaves, la ubicación de las sondas de nivel del depósito superior, etc; como los que no dependen del tiempo y que ya han sido mencionados anteriormente.

En la calibración del modelo se ha definido la demanda base de los nudos de consumo a partir de los datos de facturación correspondientes al último trimestre de diciembre a febrero de 2014 (excepto los de riego, que se han utilizado los medidos entre el 1 de septiembre y el 15 de octubre de 2104) Si bien se dispone, por la realización del balance hídrico, de los consumos entre el 1 de septiembre y el 15 de octubre de 2104, y a priori podría considerarse más idóneo disponer de estos consumos por coincidir temporalmente, en parte, con el registro de presiones; se comprobó, durante el proceso de calibración más apropiado asignar la demanda a partir de los consumos del trimestre diciembre-febrero, ya que el menor consumo asociado a este trimestre invernal resulta en ciclos de llenado y vaciado de los depósitos que refleja mejor el registro de las presiones medidas.

A continuación se presenta el ajuste de la curva de presiones de Epanet frente a la curva del registro de presiones tras el proceso de calibración.

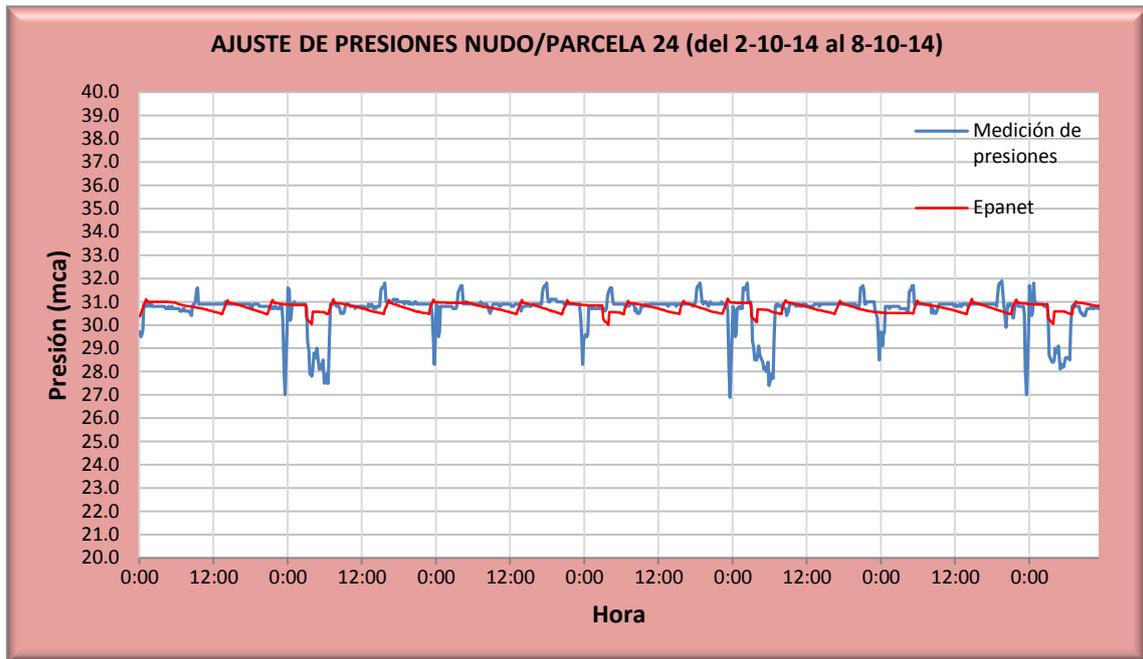


Figura 6.12. Ajuste de presiones entre valores medidos y valores de Epanet. Nudo 24, sector alto.

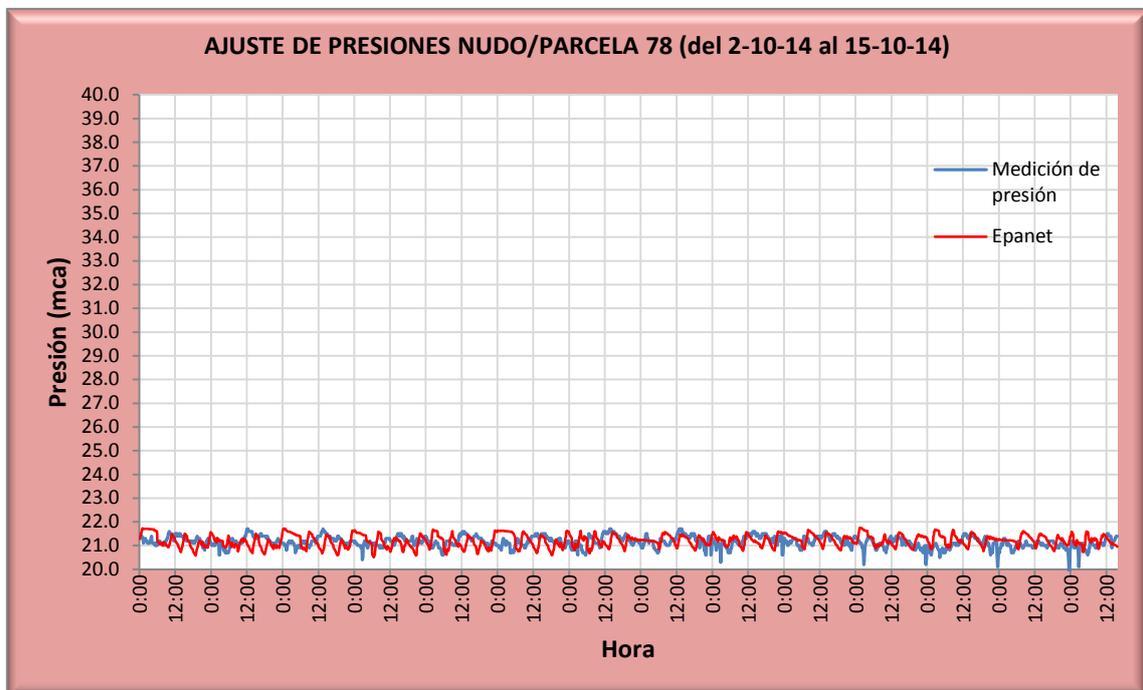


Figura 6.13. Ajuste de presiones entre valores medidos y valores de Epanet. Nudo 78, sector bajo.

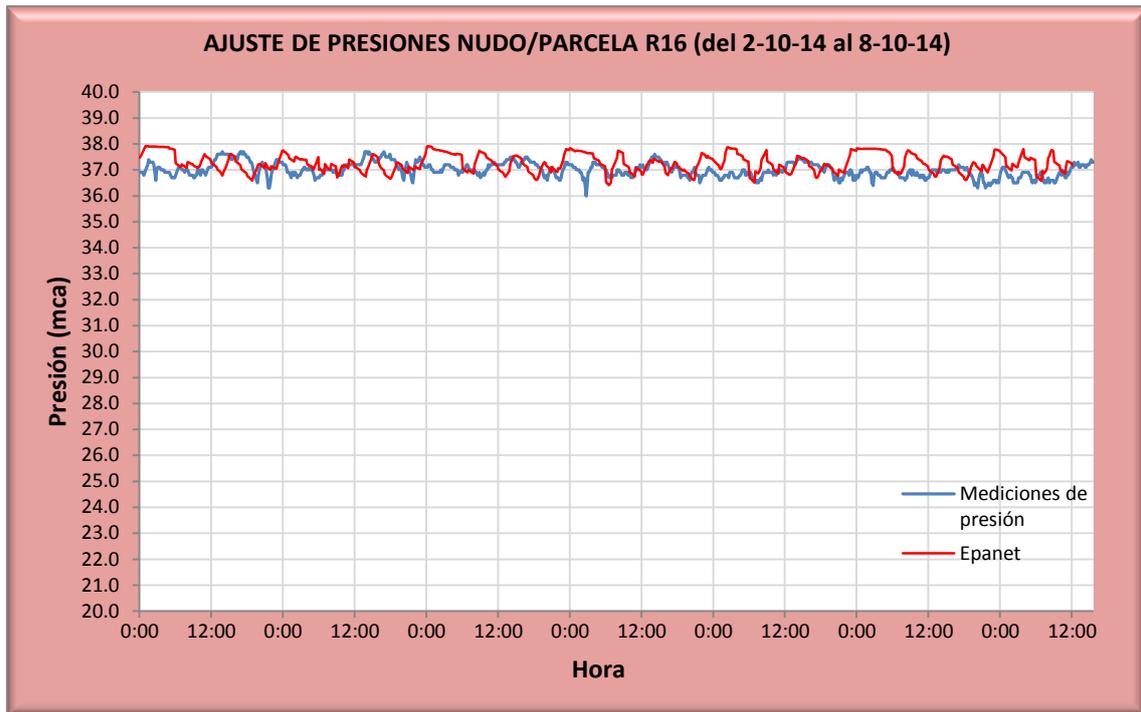


Figura 6.14. Ajuste de presiones entre valores medidos y valores de Epanet. Nudo R16, sector bajo.

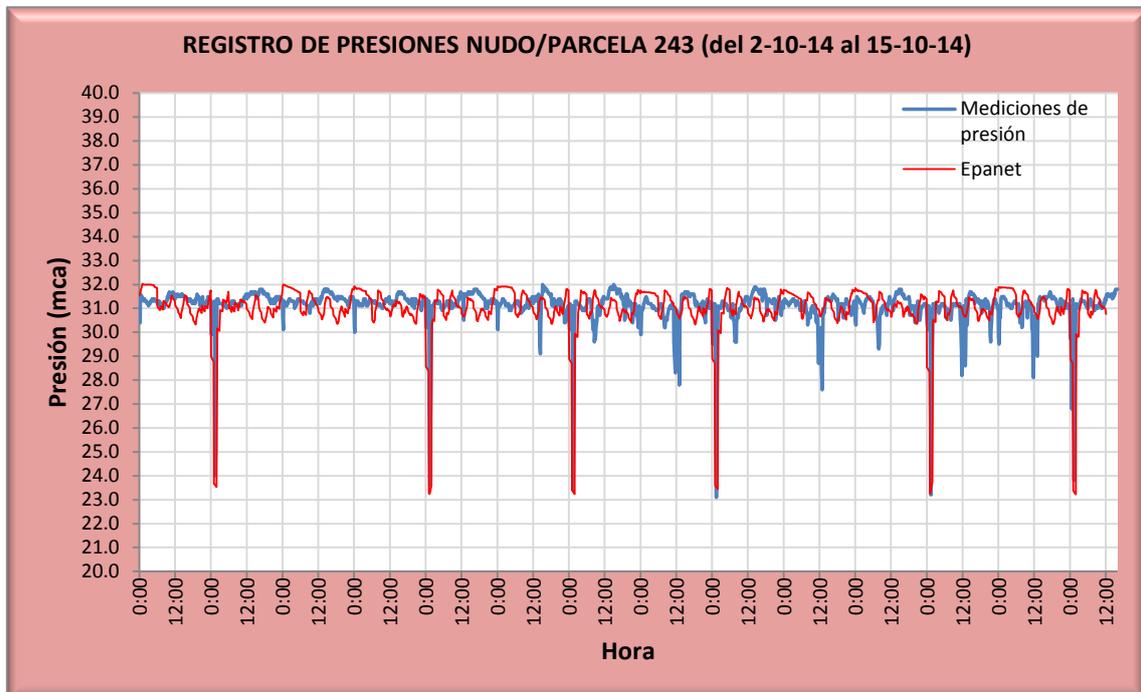


Figura 6.15 Ajuste de presiones entre valores medidos y valores de Epanet. Nudo 243, sector bajo.

A la vista de las gráficas se puede concluir un alto grado de aproximación entre ambas curvas, con diferencias que oscilan entre 0,5 y 1 metro; por lo que de forma general, el modelo simula con bastante aproximación las variaciones de presiones en la red.

La red generada permite modelar con precisión los acusados descensos de presión registrados en el nudo 243 entre las 0:00 y la 1:00 horas. Estos descensos de presión registrados son consecuencia del riego activado en un área cercana al nudo 243 en la hora señalada determinados días de la semana. En cambio, no se ha podido modelar los descensos de presión localizados en este mismo nudo a las 12:00 horas de algunos días, ya que según los horarios de riego facilitados por la Administración de Sierramar no tendrían esta causa, salvo que fueran activados fuera de los horarios programados.

El nudo 28, perteneciente al sector alto de la red, también presenta registros de descensos acusados de presión de corta duración a las 0:00 horas y otros descensos sostenidos, entre alrededor de las 3:15 y las 4:45, algunos días de la semana. Ninguno de estas caídas de presión en el nudo 28 ha podido modelarse. Cabe pensar que pudiera atribuirse al riego, al producirse en horas nocturnas bien definidas, sin embargo, el riego asociado a la red del sector alto, con la información facilitada por la Administración, no permite modelar estos descensos de presión registrados.

6.8.- Consideraciones sobre el modelo

El modelo matemático de la red de abastecimiento ha sido elaborado, en gran medida, en base a la información facilitada por técnicos y personal de la administración de la urbanización Sierramar, a las estimaciones e hipótesis realizadas para cubrir la falta de información y, por último, a las mediciones realizadas in situ durante el trabajo. En relación a lo anterior y a las peculiaridades del abastecimiento en una urbanización, caben las siguientes consideraciones sobre el modelo:

- La falta de información de algunos elementos del sistema (nivel dinámico del pozo a fecha actual y su variación, curva de la bomba del depósito, localización de las sondas del depósito elevado, etc.) que, idealmente, debieran conocerse, incorpora más variables que se añaden a los propios parámetros de los diferentes elementos del sistema que deben ser ajustados, dificultando así el proceso de calibración.
- Las condiciones de consumo durante el período de tiempo en que se realizaron las mediciones de presión en la red y el propio dimensionado de ésta, condicionaron un registro de presiones con variaciones, excepto momentos puntuales, muy pequeñas. Esta circunstancia limita el proceso de calibración, al no disponer de variaciones de presión significativas que permita afinar el proceso de calibración.

- La dificultad que implica definir un patrón de consumo doméstico en pequeñas poblaciones del tamaño de la urbanización. Además, al consumo propiamente doméstico debe incorporarse el consumo por riego de jardines de las viviendas con la dificultad que implica definir un patrón de este consumo (diferentes horarios de riego por vivienda, riego o no según la meteorología, etc.). Por otro lado, que el sistema no disponga de caudalímetros que registren a lo largo de las horas del día el caudal entrante a la red limita la posibilidad de ajustar los patrones de consumo.
- El caudal de fugas incorporado al modelo es el correspondiente al obtenido en el segundo balance hídrico. Si un nuevo balance hídrico diera un caudal de fugas significativamente diferente al obtenido sería necesario recalibrar el modelo.
- La demanda de agua en la urbanización varía considerablemente entre la estación estival (junio a septiembre) y el resto del año. Esta circunstancia debe considerarse en los análisis hidráulicos de la red, ya que en función de la época del año, se puede sobreestimar o subestimar el caudal circulante y cometer análisis erróneos.
- Para la determinación del K_p a aplicar en el cálculo del caudal máximo (para análisis de capacidades hidráulicas tanto actuales como para nuevos diseños) se ha utilizado la siguiente curva que relaciona K_p en función del número de abonados para pequeñas zonas residenciales (Arizmendi, 1991). Considerando el número de abonados máximo que puede presentar la red de abastecimiento de la urbanización de Sierramar (del orden de 250), el K_p a aplicar es de 2,50.

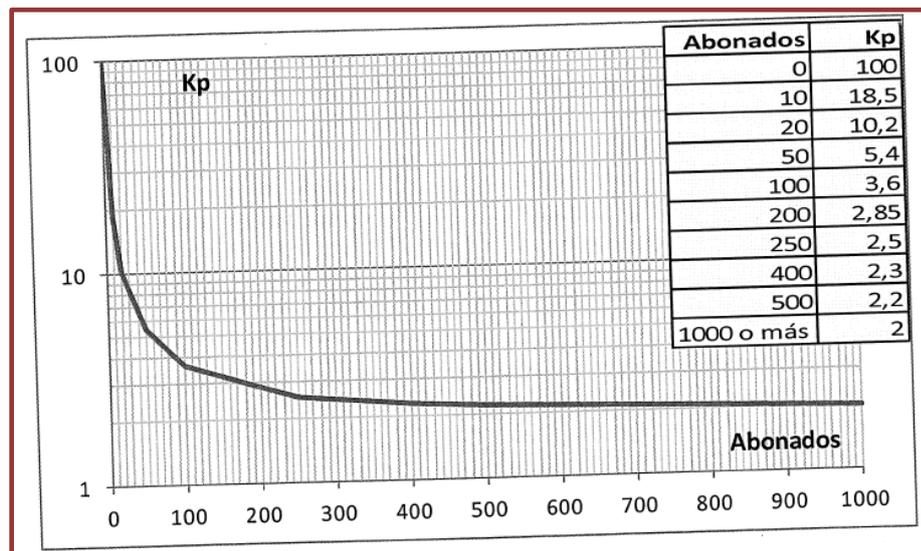


Figura 6.16. Curva del coeficiente K_p frente al número de abonados en pequeñas urbanizaciones

- Por último, a medida que se disponga de más información de la red y de una mayor certeza del caudal de fugas debería modificarse el modelo. De acometerse un nuevo proceso de calibración, debería realizarse en los meses de verano, cuando los consumos mayores permitan, a priori, un mejor proceso de calibración del modelo.

7.- ANÁLISIS HIDRÁULICO DEL SISTEMA.

A partir del modelo matemático calibrado, se han simulado dos escenarios de funcionamiento de la red, con objeto de analizar su capacidad hidráulica bajo condiciones de máximo y mínimo consumo y detectar posibles zonas problemáticas.

Para definir la presión de servicio mínima que debe disponer cada vivienda en el punto de acometida, se emplea la siguiente expresión (Wolfram Himmer, 2001):

$$P_{\min} = 15 + 3N$$

Donde N es igual al número de plantas de la vivienda. Dado que son muy pocas las viviendas en la urbanización con más de una planta, se establece como presión de servicio mínima 18 mca.

Para los efectos del análisis se determina un intervalo de cálculo hidráulico de 1 hora.

7.1.- Escenario 1. Red actual con caudal punta.

Se simula la red en la situación de día y hora de máximo consumo. Para ello, en la carga del modelo se mayor la demanda media anual de cada nudo con un coeficiente K_p de 2,5. No se considera riego. Se incluye el caudal de fugas determinado en el balance hídrico, que se reparte entre todos los nudos activos con demanda doméstica.

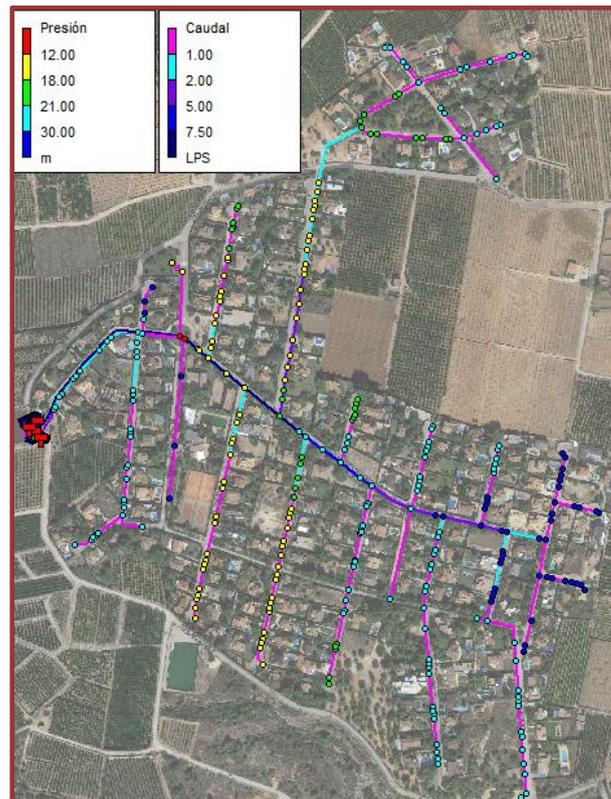


Figura 7.1. Distribución de presiones en día y hora de máximo consumo

En la figura 7.1, se observa que, en los primeros ramales de la red del sector bajo, numerosos nudos presentan presiones entre 12 y 18 m, no garantizándose así una adecuada presión de servicio, que puede resultar en un mal funcionamiento de algunas instalaciones interiores de las viviendas. Por otro lado, se observa también un área de la urbanización con presiones superiores a 30 mca.

Las presiones reducidas de los primeros ramales del sector bajo están condicionadas, en gran medida, por la diferencia de cotas entre esta zona de la red y la cota del depósito inferior. Si se considera el nivel del agua mínimo en el depósito, la altura de agua disponible en la cabecera del sector es de 125 mca y, dado que las cotas en estos ramales oscilan entre los 111 y los 105 m, la presión máxima posible (sin considerar pérdidas de carga) estaría entre los 14 y los 20 mca.

La figura 7.2 muestra las pérdidas unitarias de las tuberías. Los valores considerados como aceptables en redes de agua se sitúan en torno a los 2 y 3 mca/km. La red de Sierramar presenta algunos tramos de la red infradimensionados, con pérdidas algo elevadas en las condiciones de caudal punta. No obstante, aun cuando se amplíen los diámetros de estos tramos, seguirían existiendo puntos de consumo con presiones de servicio inferiores a la recomendada.

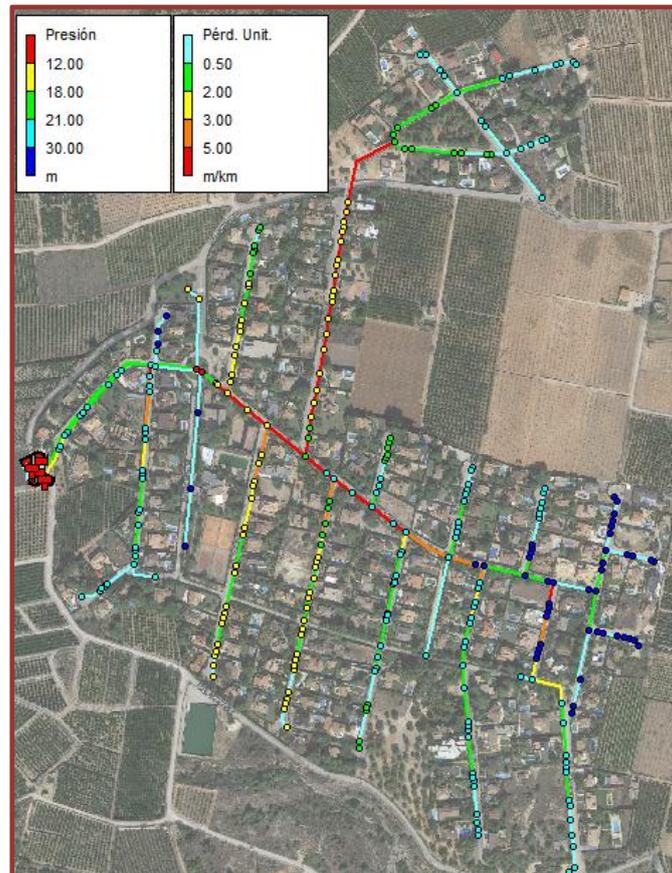


Figura 7.2 Distribución de pendiente hidráulica de la red en día y hora de máximo consumo

Por su parte, la velocidad del agua en situación de caudal punta, se sitúa por debajo de 1 m/s y, mayoritariamente, por debajo de 0,5 m/s. Al final de los ramales, incluso, se alcanzan velocidades mínimas de 0,1 m/s, indicativo de diámetros sobredimensionado.

Por último, existe un escenario donde el caudal puede ser mayor, que es al inicio del verano, durante el llenado de la piscina del club deportivo. No obstante, esta situación se puede regular empleando un mayor tiempo en el llenado de la piscina, como actualmente se hace (2 días) para garantizar presiones de servicio adecuadas en la red.

7.2.- Escenario 2. Red actual en día normal y hora de mínimo consumo.

Se simula la red en un día normal de servicio y en la hora de menor consumo (caudal inyectado a la red más bajo). Se incluye el caudal de fugas determinado en el balance hídrico, que se reparte entre todos los nudos activos con demanda doméstica.

En este escenario las presiones alcanzan valores de hasta 40 metros en las áreas topográficamente más bajas (en los alrededores de la parcela 208). Por otro lado, incluso en un escenario de día normal y mínimo consumo, la red presenta presiones reducidas, con mínimas de hasta 14 m en nudos de consumo, en línea con lo comentado en el apartado anterior.

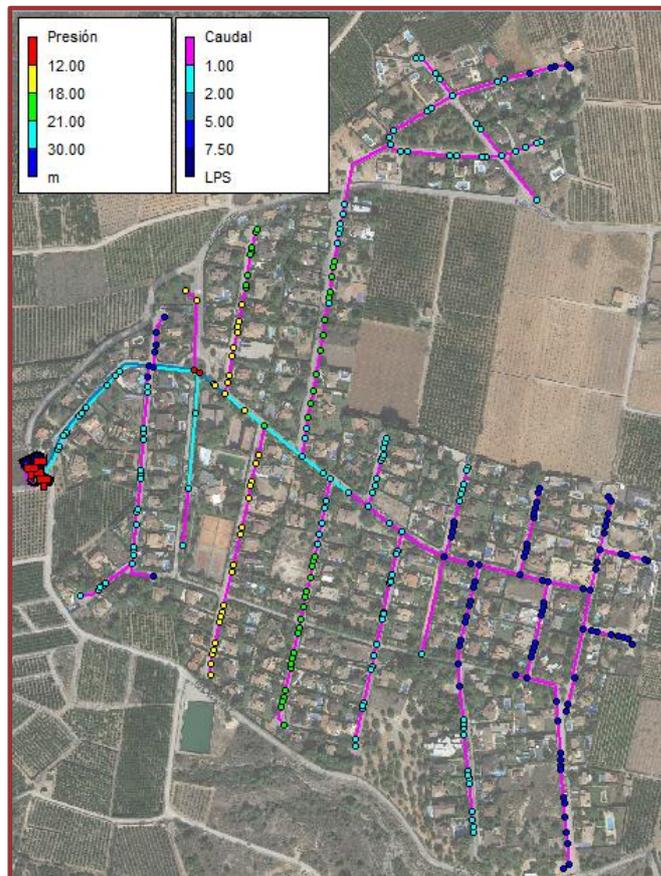


Figura 7.3. Distribución de presiones en la hora de mínimo consumo

8.- ANÁLISIS ENERGÉTICO DEL SISTEMA.

El análisis energético realizado se ha enfocado exclusivamente a determinar el consumo energético y el coste del bombeo de 1 m³ agua subterránea, y compararlo con el precio del agua importada de EGEVASA.

La potencia de la bomba del pozo viene determinada por la siguiente expresión:

$$Pe = \frac{9,81 * Q * H_m}{\eta_b * \eta_{me}}$$

donde:

Q: caudal en m³/s

H_m: altura manométrica en m

η_b: rendimiento de la bomba

η_{me}: rendimiento del motor eléctrico

La Q, la H_m se extraen directamente del modelo de Epanet a partir del modelo de la red, la η_b a partir de la curva de rendimiento de la bomba, mientras que la η_{me} se estima en 0,9.

En la gráfica de la curva de la bomba se representa su punto de funcionamiento, la potencia (en HP) y la η_b.

Atendiendo a los datos del nivel dinámico del pozo y las curvas de la bomba, la potencia eléctrica consumida por la bomba sería:

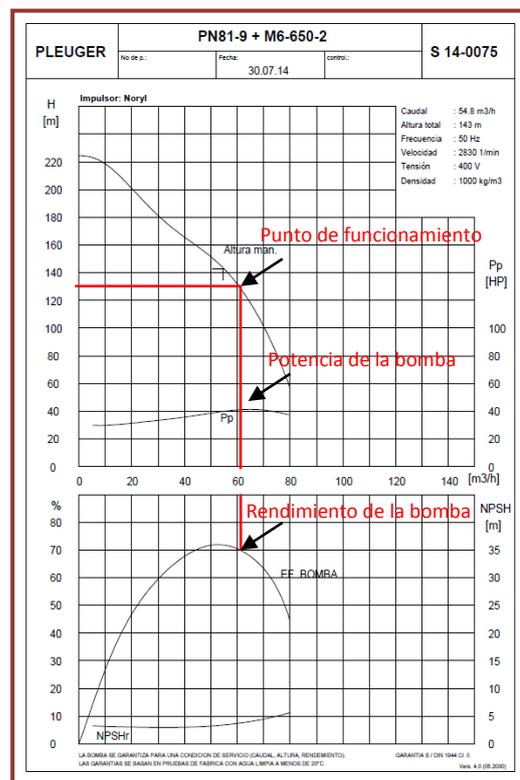


Figura 8.1. Curvas de la bomba del pozo

$$Pe = \frac{9,81 * 0,016 * 133}{0,7 * 0,9} = 33kW$$

La tarifa eléctrica contratada para la instalación de bombeo e instalación interior de la cámara de llaves (baja tensión) es la 3.0A, con tres períodos horarios, que es la correspondiente a potencias contratadas superiores a 15 kW.

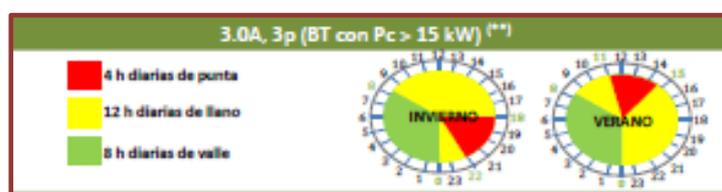


Figura 8.2 Distribución horaria de tarifas eléctricas de Iberdrola

Las tarifas eléctricas vigentes, desde febrero de 2014, de la compañía IBERDROLA (empresa que suministra la energía en la urbanización) para los tres períodos vienen recogidos en la tabla 8.1.

Tabla 8.1. Tarifas compañía IBERDROLA (febrero 2014)

Período	Precio (€/kWh)
Hora punta	0,014335
Hora llano	0,012754
Hora valle	0,007805

En una hora de bombeo el volumen de agua subterránea impulsado al depósito a sería de 57,6 m³. Por otro lado, el coste de una hora de bombeo es:

$$33 \text{ kWh} * 0,014335 \text{ €/kWh} = 0,47 \text{ €}$$

Así, el coste de bombear 1 m³ de agua subterránea sería:

$$\text{Coste de bombeo de } 1 \text{ m}^3 \text{ de agua} = 0,47 \text{ €} / 57,6 \text{ m}^3 = \mathbf{0,008 \text{ €} / \text{m}^3}$$

Considerando como costes variables, en el cálculo del coste del agua en el sistema de abastecimiento, el volumen de agua bombeada del pozo (a excepción de una pequeña cantidad por la cloración del agua) y el volumen de agua de EGEVASA, se determina que el agua procedente del pozo es bastante más económica que el agua procedente de EGEVASA, cuyo precio es de 0,17 €/m³. Conviene, por tanto, priorizar lo máximo el consumo del agua procedente del pozo.

Aun cuando el nivel dinámico el pozo pueda ser inferior al manejado, con la actual instalación de bombeo del pozo y la profundidad de la bomba, que fijaría el descenso del nivel del agua en el pozo, el coste de bombeo del agua subterránea sería siempre más ventajoso (incluso menor al calculado) que el coste del agua de EGEVASA.

9.- PROPUESTAS DE MEJORA EN EL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA ACTUAL

El sistema de abastecimiento de la urbanización Sierramar, tanto por su tamaño, tipología y características de la red, se puede considerar como sencillo. Aun cuando esto condiciona las posibles intervenciones en la mejora del funcionamiento del sistema; se plantean, en base en base a los análisis realizados de la red actual (escenarios 1 y 2) las siguientes intervenciones que revierten en una mejora de la eficiencia hidráulica y energética del sistema.

- Instalación de válvulas reductoras de presión (VRP)

La simulación realizada en horas de bajo consumo (escenario 2) muestra que el área oeste de la urbanización (el topográficamente más bajo) presenta presiones algo elevadas, entre los 30 y 40 mca. La instalación de dos VRP permitiría reducir el exceso de presión que presenta la red en esta zona y, con ello, reducir el caudal de fugas en la red y posibilitar una menor fatiga de las tuberías y de las instalaciones interiores de las viviendas.

En la siguiente figura se muestra los puntos propuestos para la instalación de las VRP.



Figura 9.1. Puntos de ubicación de las VRP

La consigna de las VRP se ha definido considerando, como adecuada, una presión en la entrega a las viviendas del orden de 24-25 mca. En la tabla 9.1 se recoge el valor de consigna de cada VRP.

Tabla 9.1. Características de las VRP para su instalación

VRP	Diámetro (mm)	Consigna
1	100	29
2	100	29

El efecto de las VRP en la reducción de presión aguas debajo de los puntos de su instalación puede verse en la siguiente figura. Se observa que la reducción de presiones es significativa en la parte final del sector bajo (ver figura 7.3)

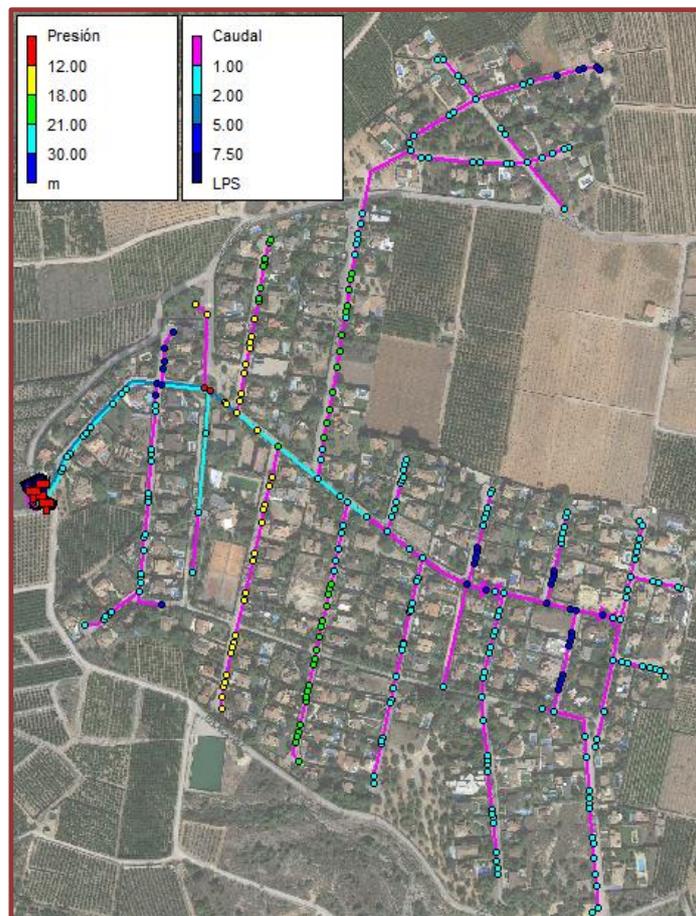


Figura 9.2. Distribución de presiones en hora de mínimo consumo con VRP instaladas en la red

- Reubicación de las sondas de nivel del depósito inferior

La actual ubicación de las sondas del depósito inferior, que controlan el arranque y parada de la bomba del pozo y la apertura y cierre de la válvula de EGEVASA, da como resultado que el depósito disponga de un volumen útil de 75 m³, un 26% de su volumen.

La reubicación de las sondas en el depósito no cambiaría la actual priorización del abastecimiento de agua procedente del pozo frente al agua de EGEVASA, que como se ha visto, tiene una motivación económica.

Con el aumento del volumen útil del depósito se disminuye el número de arranques de la bomba del pozo a lo largo del tiempo, lo que incide en una mayor vida útil de la bomba y en un ahorro energético, al reducirse las sobreintensidades producidas en los arranques de la bomba que repercuten en un mayor consumo energético.

Además, un mayor volumen útil del depósito podría favorecer una menor entrada de agua procedente de EGEVASA con el consiguiente beneficio económico.

En la tabla 9.2 se muestra la ubicación actual y la nueva ubicación propuesta.

Tabla 9.2. Nivel actual y propuesto de las sondas de nivel

Nivel del agua (m) (Actual)	Sonda	Nivel del agua (m) (Propuesto)
2,95	Parada bomba pozo	2,95
2,30	Arranque bomba pozo	1,00
2,60	Cierre válvula EGEVASA	2,00
2,00	Apertura válvula EGEVASA	0,50

10.- GESTIÓN PATRIMONIAL. RENOVACIÓN DE LA RED

Como cualquier otra infraestructura, las redes de abastecimiento están expuestas al deterioro y rotura como consecuencia de sus condiciones de operación, fatiga del material, defectos de fabricación, inadecuada instalación, cambios en el entorno y también por su envejecimiento.

El deterioro significativo o la rotura de las conducciones y otros elementos de una red requieren de intervenciones de reparación, rehabilitación y renovación, con objeto de restablecer el servicio o de mantener unas condiciones óptimas del mismo.

Sin embargo, las intervenciones necesarias sobre una red, no se limitan a dar respuesta a las posibles deficiencias estructurales que surgen durante su vida útil, sino también deben obedecer a planteamientos estratégicos que conduzcan a mantener o mejorar los niveles de servicio y los estándares de calidad, la mejora de la eficiencia, la ampliación de la cobertura geográfica del servicio, etc. Todos estos aspectos es lo que constituye la gestión patrimonial de la red de abastecimiento.

La gestión patrimonial de un sistema de abastecimiento no solo debe incluir un mantenimiento correctivo y preventivo, sino también una planificación estratégica, a más largo plazo, de intervenciones en los sistemas que garanticen en el futuro un adecuado servicio, conforme a los estándares de calidad del país y bajo el prisma de la optimización y mejora de la eficiencia de los sistemas.

Hasta recientemente, en todo su alcance, la gestión patrimonial de abastecimientos comienza a ser motivo de atención de los gestores, y esto incluye la renovación de redes por envejecimiento, ya que muchos sistemas han sobrepasado su vida útil o se aproximan. La vida útil se puede definir como el período de tiempo después de la construcción o fabricación durante la cual todas las propiedades esenciales alcanzan o superan, teóricamente, el valor mínimo aceptable con un mantenimiento rutinario.

La red de tuberías del abastecimiento de la urbanización Sierramar está constituida exclusivamente por fibrocemento. Durante más de 70 años el fibrocemento fue muy utilizado mundialmente en sistemas de distribución de agua. Algunas de sus principales ventajas frente a otros tipos de tuberías son: larga vida útil; resistencia e integridad a largo plazo; inmunidad a la corrosión, material ligero, mantenimiento mínimo; y, un costo total comparativamente más bajo (instalación y explotación).

En cambio, tiene un carácter muy frágil, por lo que en caso de producirse cualquier tipo de asentamiento del terreno se produce su rotura. El tipo de junta más empleado es la unión "Gibault", que presenta el problema de estar constituido por tornillos poco protegidos frente a la corrosión, que terminan rompiéndose facilitando las fugas.

Las tuberías de fibrocemento se fabrican a partir de una mezcla de cemento portland, fibras de amianto y agua. La inhalación de las fibras de amianto, que pueden liberarse y quedar suspendidas en el aire por su baja densidad, al perturbarse el material que las contiene en mantenimientos, reparaciones, etc; es causa de asbestosis (enfermedad pulmonar) e incluso de cáncer, como así ha determinado la Organización Mundial de la Salud (OMS). No obstante, debe considerarse que el problema del amianto se genera por inhalación, no por migración de las fibras en contacto con el agua.

En España, el fibrocemento fue un material muy utilizado en la construcción hasta el año 2002, fecha en la que quedó prohibida la comercialización e instalación de ese material, a través de la Orden de 7 de diciembre de 2001, donde transpuso la Directiva Comunitaria 1999/77/CE, por la que se prohibía el uso y comercialización de todo tipo de amianto y de los productos que lo contengan. De todas formas, una Orden Ministerial permite su mantenimiento hasta el final de su vida útil. Así, los materiales instalados seguirán permitidos hasta el final de su vida útil, siempre que se encuentren en buen estado y no presenten riesgo de liberación de amianto al ambiente.

La red de tuberías de la urbanización fue instalada en el año 1978, alcanza así los 36 años de edad. La vida útil de las tuberías de fibrocemento, para las condiciones de presión de la urbanización por debajo de los 40 kg/cm^2 , se puede considerar, según se recoge de la bibliografía, de 50 años. Pero más que por el final de la vida útil, los resultados del balance hídrico aconsejan disponer de una propuesta valorada de renovación de la red y un plan que prevea, por un lado, el inicio y las etapas de renovación de la red y, por otro lado, la estrategia física de renovación de la misma.

No obstante, para abordar la renovación de la red de abastecimiento debe disponerse previamente de un profundo conocimiento del sistema, que necesariamente incluye un inventario y caracterización del mismo; e, idealmente, un modelo que permita el análisis del sistema actual.

Se ha planeado la renovación de la red con tuberías polietileno de alta densidad de PN10, por las numerosas ventajas que ofrece frente a otros materiales. Cabe citar:

- Material económico.
- Su ligereza (d. $0,93\text{-}0,96 \text{ gr/cm}^3$) permite facilidad en manipulación y transporte.
- Alta resistencia al impacto y a la abrasión.
- Alta resistencia al aplastamiento y a las cargas móviles.
- Resistencia a la corrosión.
- Menor pérdida de carga gracias a la lisura de la pared interior.
- Flexibilidad. Admite curvatura en frío y se adapta a las irregularidades del terreno.

El presente capítulo contiene dos propuestas de renovación de la red. La primera mantiene la estructura actual y modifica, bien aumentando o reduciendo, los diámetros actuales. La segunda, en cambio, sí presenta modificaciones en la estructura

actual; así, la red pasa a tener tipología mixta en lugar de ramificada; además, se cambia para dos tramos el depósito de alimentación del cual se abastecen y se introducen hidrantes en la red.

10.1.- Propuesta A. Renovación red manteniendo configuración actual.

La propuesta de renovación manteniendo la configuración actual obedece a disponer de una alternativa económica, con una red donde las presiones de servicio son similares a las actuales o ligeramente mejoradas. Con esta alternativa, entonces, se debe asumir cierta insuficiencia hidráulica, no solo en situaciones de caudal punta o con caudales de fuga significativos, sino también en condiciones normales.

La red de fibrocemento actual es sustituida por una red de polietileno; con diámetros inferiores a los actuales; excepto algunas conducciones, cuyo diámetro se incrementa para disminuir pérdidas de carga y, así, aumentar presiones en áreas más deficitarias.

La figura 10.1 refleja, en condiciones de caudal punta, la distribución de presiones y pendientes hidráulicas. Se observa que en el primer y segundo tramo del sector bajo las presiones en los nudos se sitúan por debajo de los 18 mca, con mínimas de 14 mca. Mientras, en el tercer ramal las presiones se sitúan o muy próximas o por encima de los 18 mca con el nuevo diseño, a diferencia de lo que ocurre en la red actual.

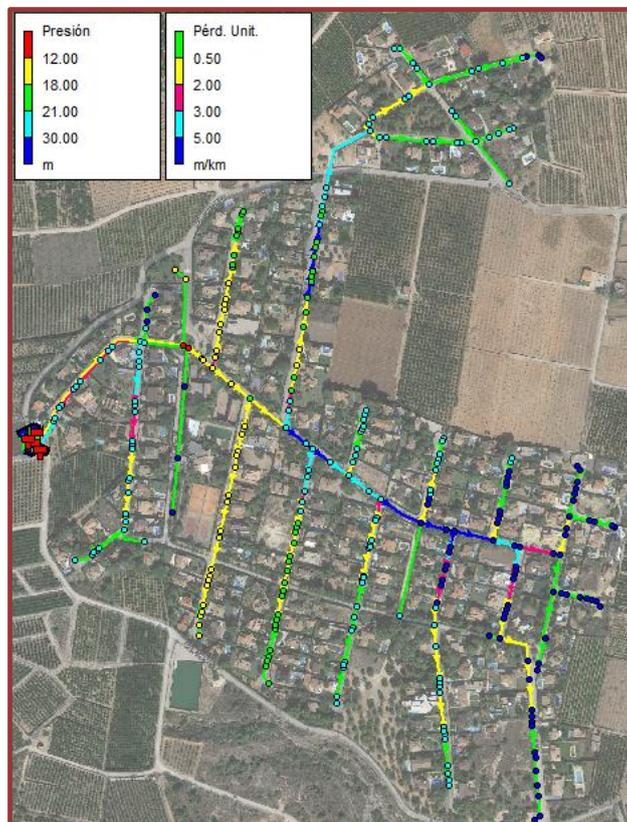


Figura 10.1. Distribución de presiones y pendientes hidráulicas en condiciones de caudal punta. Propuesta A de renovación.

10.1.1- Inventario de la red de abastecimiento (propuesta A)

La red de distribución resultante, de material polietileno de alta densidad, pn10, estaría conformada por los diámetros recogidos en la tabla 10.1.

Tabla 10.1. Inventario tuberías de la red de distribución. Propuesta A

\varnothing nom. (mm)	\varnothing int. (mm)	Longitud (m)
63	55,4	3.618
75	66	599
90	79,2	276
110	96,8	156
200	176,2	439
TOTAL (m)		5.088

El inventario anterior esta contabilizado desde los puntos de salida a la red hasta las acometidas domiciliarias y excluye la red de riego pública y las tuberías de la cámara de llaves. La siguiente tabla contabiliza las válvulas instaladas en la cámara de llaves.

Tabla 10.2. Inventario válvulas cámara de llaves

\varnothing nom. (mm)	Unidades
200	4
150	2
90	7

El inventario no incluye el conjunto de accesorios (codos, tes, reductores, niples...) del sistema de abastecimiento. Estos elementos, en la valoración de la renovación de la red, se incorporan en el precio de ejecución material de la instalación de tuberías; o bien, en el caso de la cámara de llaves, se consideran mediante una partida alzada.

10.1.2- Valoración económica de la renovación de la red (propuesta A)

La valoración económica de la red de abastecimiento se establece a partir del precio de ejecución material de las diferentes unidades de obra y según las mediciones de tuberías y válvulas realizadas anteriormente.

Los precios de ejecución material se han obtenido de precios de partidas de obra facilitados por la empresa Aguas de Valencia.

En el siguiente cuadro se reflejan los precios unitarios de ejecución material correspondientes a las principales partidas de la reposición del abastecimiento, así como su medición y el importe correspondiente.

Ud.	Descripción	Medición	Precio unitario (€)	Importe
CAP 1. CANALIZACIÓN DE RED DE DISTRIBUCIÓN				
ml	<p>OBRA CIVIL TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN PE Ø280/400²</p> <p>Obra civil para tubería de polietileno de diámetro 280/400 mm. compuesta por: demolición de acera (en el 80% del trazado), demolición de pavimento asfáltico (en el 20% del trazado) y de sus correspondiente bases de hormigón; excavación de zanja con medios mecánicos i/ayuda manual considerando una anchura de zanja de 100 cm. y una profundidad de 1,3 m.; tapado con arena para protección de tubería con recubrimiento superior e inferior de 15 cm. y resto de zanja con zahorras limpias; protección de cruces en calzada en el 50% del trazado por pavimento asfáltico mediante camisa de hormigón armado de Ø400 mm. y recubrimiento de hormigón del resto de la zanja; hormigonado de topes y anclajes de piezas; recomposición de acera y calzada con sus respectivas bases de hormigón y realización de arquetas y registros para alojamiento de válvulas, ventosas y desagües, incluso transporte y disposición de productos de demolición/excavación a centro autorizado</p>	275,00	134,29	36.929,75
ml	<p>OBRA CIVIL TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN PE Ø140/250</p> <p>Obra civil para tubería de polietileno de diámetro 140/250 mm. compuesta por: demolición de acera (en el 80% del trazado), demolición de pavimento asfáltico (en el 20% del trazado) y de sus correspondiente bases de hormigón; excavación de zanja con medios mecánicos i/ayuda manual considerando una anchura de zanja de 80 cm. y una profundidad de 1,1 m.; tapado con arena para protección de tubería con recubrimiento superior e inferior de 15 cm. y resto de zanja con zahorras limpias; protección de cruces en calzada en el 50% del trazado por pavimento asfáltico mediante camisa de hormigón armado de Ø400 mm. y recubrimiento de hormigón del resto de la zanja; hormigonado de topes y anclajes de piezas; recomposición de acera y calzada con sus respectivas bases de hormigón y realización de arquetas y registros para alojamiento de válvulas, ventosas y desagües, incluso transporte y disposición de productos de demolición/excavación a centro autorizado</p>	164,00	98,47	16.149,08
	Cont...			

² Obra civil para la instalación de las tuberías principales del sector alto y bajo en su trazado compartido.

Ud.	Descripción	Medición	Precio unitario (€)	Importe
ml	<p>OBRA CIVIL TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN PE Ø63/110</p> <p>Obra civil para tubería de polietileno de diámetro 63/110 mm. compuesta por: demolición de acera (en el 80% del trazado), demolición de pavimento asfáltico (en el 20% del trazado) y de sus correspondiente bases de hormigón; excavación de zanja con medios mecánicos i/ayuda manual (y agotamiento del nivel freático si necesario) considerando una anchura de zanja de 60 cm. y una profundidad de 1 m.; tapado con arena para protección de tubería con recubrimiento superior e inferior de 15 cm. y resto de zanja con zahorras limpias; protección de cruces en calzada en el 50% del trazado por pavimento asfáltico mediante camisa de hormigón armado de ø300 mm. y recubrimiento de hormigón del resto de la zanja; hormigonado de topes y anclajes de piezas; recomposición de acera y calzada con sus respectivas bases de hormigón y realización de arquetas y registros para alojamiento de válvulas, ventosas y desagües; incluso transporte y disposición de productos de demolición/excavación a centro autorizado.</p>	4.374	75,24	329.099,76
ml	<p>TUBERIA PE Ø63 P/P PIEZAS, I/MONTAJE</p> <p>Suministro e instalación de tubería de polietileno de alta densidad pe100 pn10, diámetro 63 mm; incluyendo suministro e instalación de dos válvulas de corte de tipo compuerta con cierre elástico cada 100 m.; una ventosa trifuncional cada 200 m; un desagüe cada 200 m; incluso parte proporcional de piezas y accesorios (codos, tes, juntas, tornillería, etc.).</p>	3618	10,62	38.423,16
ml	<p>TUBERIA PE Ø75 P/P PIEZAS, I/MONTAJE</p> <p>Suministro e instalación de tubería de polietileno de alta densidad pe100 pn10, diámetro 75 mm; incluyendo suministro e instalación de dos válvulas de corte de tipo compuerta con cierre elástico cada 100 m.; una ventosa trifuncional cada 200 m; un desagüe cada 200 m; incluso parte proporcional de piezas y accesorios (codos, tes, juntas, tornillería, etc.).</p>	599	10,79	6.463,21
ml	<p>TUBERIA PE Ø90 P/P PIEZAS, I/MONTAJE</p> <p>Suministro e instalación de tubería de polietileno de alta densidad pe100 pn10, diámetro 90 mm; incluyendo suministro e instalación de dos válvulas de corte de tipo compuerta con cierre elástico cada 100 m.; una ventosa trifuncional cada 200 m; un desagüe cada 200 m; incluso parte proporcional de piezas y accesorios (codos, tes, juntas, tornillería, etc.).</p> <p style="text-align: right;">Cont...</p>	276	13,53	3.734,28

Ud.	Descripción	Medición	Precio unitario (€)	Importe
ml	TUBERIA PE Ø110 P/P PIEZAS, I/MONTAJE Suministro e instalación de tubería de polietileno de alta densidad pe100 pn10, diámetro 110 mm; incluyendo suministro e instalación de dos válvulas de corte de tipo compuerta con cierre elástico cada 100 m.; una ventosa trifuncional cada 200 m; un desagüe cada 200 m; incluso parte proporcional de piezas y accesorios (codos, tes, juntas, tornillería, etc.).	156	17,25	2.691,00
ml	TUBERIA PE Ø200 P/P PIEZAS, I/MONTAJE Suministro e instalación de tubería de polietileno de alta densidad pe100 pn10, diámetro 200 mm; incluyendo suministro e instalación de dos válvulas de corte de tipo compuerta con cierre elástico cada 100 m.; una ventosa trifuncional cada 200 m; un desagüe cada 200 m; incluso parte proporcional de piezas y accesorios (codos, tes, juntas, tornillería, etc.)	439	46,82	20.553,98
	TOTAL CAP. 1 CANALIZACIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN			454.044,22
	CAP 2. ACOMETIDAS DOMICILIARIAS			
ud	OBRA CIVIL PARA ACOMETIDA ACERA Ejecución de obra civil de hasta 2 metros de longitud para acometida en acera durante ejecución de obras de canalización de agua potable	188	70.07	13.173,16
ud	OBRA CIVIL PARA ACOMETIDA CALZADA Ejecución de obra civil de hasta 2 metros de longitud para acometida en calzada durante ejecución de obras de canalización de agua potable	47	101.95	4.791,65
ud	ACOMETIDA HASTA CALIBRE 40 Instalación y montaje de acometida de polietileno durante ejecución de obras de canalización de agua potable, de hasta calibre 40 mm; inclusive, de 2 metros de longitud incluyendo materiales y mano de obra y excluyendo obra civil.	235	171,05	40.196,75
	TOTAL CAP.2 ACOMETIDAS DOMICILIARIAS			58.161,15

Ud.	Descripción	Medición	Precio unitario	Importe
CAP 3. CÁMARA DE LLAVES				
ud	PARTIDA ALZADA TUBERÍAS Y ACCESORIOS Partida alzada de tuberías de polietileno de alta densidad pe100 pn10, diámetros varios; instalada en montaje superficial, más accesorios (codos, tes, niples, abrazaderas, tornillería, etc.).	1,00	7.000,00	7.000,00
ud	VÁLVULA DE COMPUERTA DN90 mm Válvula de compuerta de fundición revestida con epoxi, de DN90 mm PN16, cierre elástico, colocada en tubería de agua PE, i/juntas y accesorios, instalada.	7,00	217,98	1.525,86
ud	VÁLVULA DE COMPUERTA DN150 mm Válvula de compuerta de fundición revestida con epoxi, de DN150 mm PN16, cierre elástico por compuerta de caucho vulcanizada, colocada en tubería de agua PE, i/juntas y accesorios, instalada.	2,00	461,63	923,26
ud	VÁLVULA DE COMPUERTA DN200 mm Válvula de compuerta de fundición revestida con epoxi, de DN200 mm PN16, cierre elástico por compuerta de caucho vulcanizada, colocada en tubería de agua PE, i/juntas y accesorios, instalada.	4,00	634,20	2.536,80
TOTAL CAP.3 CÁMARA DE LLAVES				11.985,92
CAP 4. VARIOS				
ml	PROVISIONAL DE OBRA Partida correspondiente a la instalación de tubería provisional de obra para abastecimiento de abonados durante la realización de trabajos de canalización en zona urbana, considerando suministro de tubería de Pe ø63 mm. y reaprovechamiento de la misma (25%), instalación sobre acera y traslado de acometidas	5088	2,23	11.346,24
ud	PRUEBAS DE PRESIÓN, LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN Realización de pruebas de presión, limpieza y desinfección de tuberías, incluyendo suministro de equipos de presión, hipoclorito sódico y demás elementos auxiliares según procedimiento, considerando aporte de agua desde la red en servicio, para tramos de hasta 100 m. de longitud en red de distribución y 500 m. en red arterial	4,00	950,00	3.800,00
TOTAL CAP.4 VARIOS				15.146,24

A partir del presupuesto de ejecución material se calcula el de ejecución por contrata.

PRESUPUESTO GENERAL		
Capítulo 1:	CANALIZACIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN.....	454.044,22
Capítulo 2:	ACOMETIDAS DOMICILIARIAS.....	58.161,15
Capítulo 3:	CÁMARA DE LLAVES.....	11.985,92
Capítulo 4:	VARIOS.....	15.146,24
TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL		539.337,53
	13 % Gastos Generales	70.113,88
	6 % Beneficio Industrial	32.360,25
PRECIO CIERTO		641.811,66
	16% I.V.A	102.689,86
TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA		744.501,52

10.2.- Propuesta B. Renovación de red con modificación de estructura e instalación de hidrantes.

La propuesta de renovación B tiene un enfoque técnico y persigue un nuevo diseño que asegure los estándares de presión en toda la red. Las principales modificaciones que introduce son el cambio de sector de dos ramales, que pasan a ser abastecidos por el depósito elevado; el mallado de la red y la instalación de seis hidrantes.

El abastecimiento de dos ramales por el depósito superior tiene por objeto garantizar una adecuada presión de servicio, incluso en condiciones excepcionales, como funcionamiento con caudal punta o, incluso, con un alto nivel de fugas en el sistema.

El mallado de parte de la red tiene como finalidad dar mayor fiabilidad a la red, esto es, mayor seguridad de suministro en caso de rotura; así como disponer de una red con presiones más equilibradas. Además, el mallado es conveniente para una mayor garantía sanitaria, dado que la velocidad del agua en gran parte de las conducciones se sitúa por debajo de 0,5 m/s, lo que puede derivar en problemas de sanitarios.

Por último, la incorporación de hidrantes tiene por finalidad dotar a la red de instalaciones adecuadas en caso de incendio. No obstante, en este sentido, no existe normativa nacional ni municipal de obligado cumplimiento para la instalación de hidrantes en urbanizaciones privadas, salvo que se encuentren en entornos forestales, caso que deben incorporar medidas de prevención de incendios como la instalación de hidrantes en todo el perímetro de la urbanización. Aun cuando la urbanización Sierramar no está localizada en un entorno forestal, se considera recomendable disponer de una red de abastecimiento con garantías en caso de incendio.

El diseño de esta red está condicionado por la dotación y presiones requeridas por los hidrantes. Las condiciones de instalación de los hidrantes se proyectan atendiendo a la norma NBI-CPI-82³. Así, los hidrantes serán del tipo 80 mm, (mínimo diámetro recomendado para poblaciones de menos de 5.000 habitantes y con menos del 10% de edificaciones de más de 3 plantas). Los hidrantes podrán estar enterrados cada uno en una arqueta con una única salida o terminados en una columna provista de tres salidas, cuyos diámetros, para Tipo 80 mm, son una salida de 70 mm., y dos de 45 mm. El diseño de la red permite que, bajo hipótesis de puesta en servicio de los dos hidrantes más próximos a cualquier posible incendio, el caudal de cada uno sea de 500 l/mín. como mínimo, durante dos horas y con una presión mínima de 10 mca.

La red contempla la instalación de seis hidrantes regularmente distribuidos, en lugares fácilmente accesibles a equipos del Servicio de Extinción de Incendios, debidamente señalizados conforme a la Norma UNE 23-033-81: «*Protección y lucha contra incendios. Señalización*». De los seis hidrantes, uno se localiza en el sector alto y los otros cinco en el sector bajo. Con objeto de evitar un excesivo sobredimensionado, la separación entre hidrantes varía entre 200 y 400 m, que es mayor a 200 m que establece la norma NBI-CPI-82. No obstante, se considera que la práctica totalidad de viviendas tienen una planta y que gran parte disponen de piscina como volumen adicional de agua.

La figura 10.2 muestra la estructura de la red, con la configuración de los dos sectores (alto y bajo) y sus ramales, el mallado de parte de la red y la localización de los seis hidrantes.

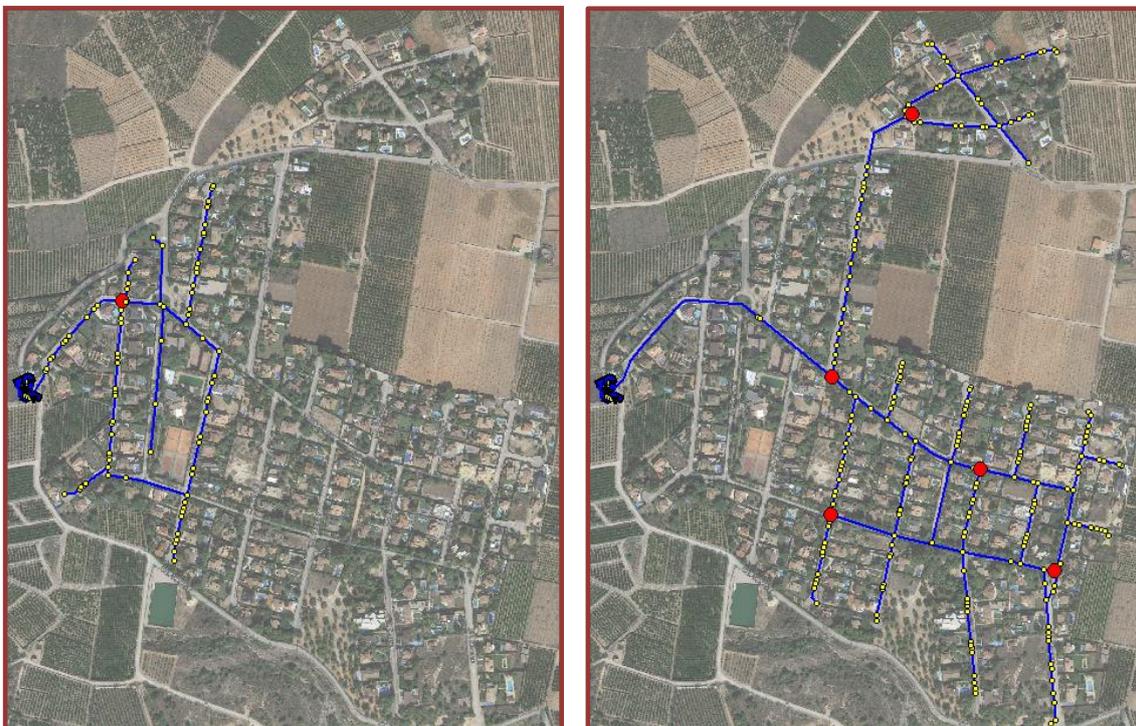


Figura 10.2. Sectores (alto y bajo) mallado y localización de hidrantes de la red. Propuesta B de renovación.

³ Norma de obligado cumplimiento.

La figura 10.3 refleja, en condiciones de caudal punta, la distribución de presiones y diámetros (interiores) de la red. Se observa ahora como los dos últimos ramales del sector alto (anteriormente los dos primeros del sector bajo) tienen presiones superiores a 30 mca y que todos los nudos de tipo doméstico presentan presiones por encima de los 18 mca (excepto dos nudos que se sitúan muy próximos a este valor). En esta propuesta de renovación, cabe la posibilidad de instalar válvulas reductoras de presión en el sector alto para reducir las presiones en estos nuevos ramales del sector alto.

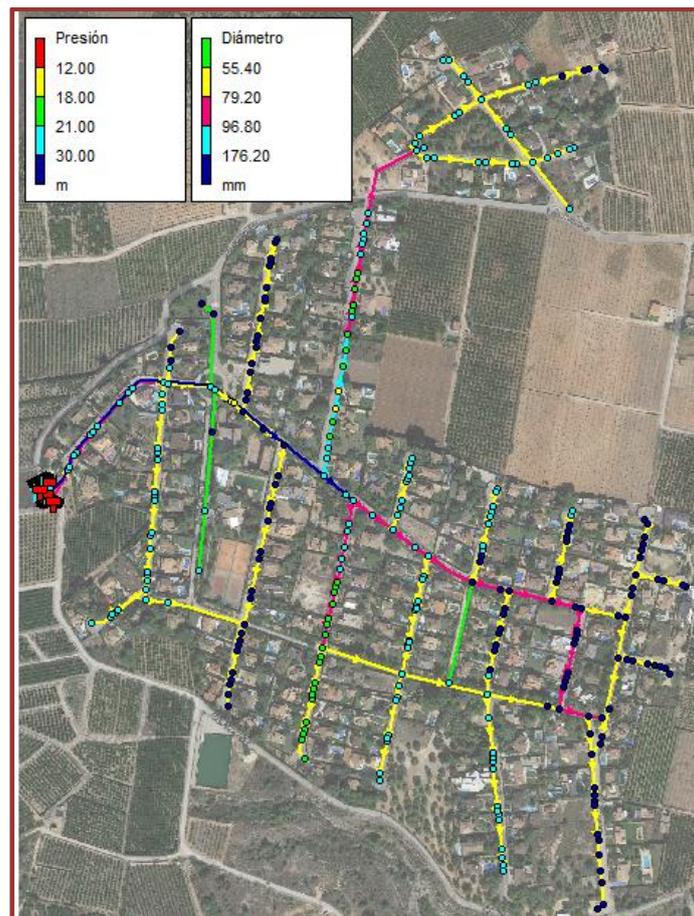


Figura 10.3. Distribución de presiones y pendientes hidráulicas en condiciones de caudal punta. Propuesta B de renovación.

10.2.1- Inventario de la red de abastecimiento (propuesta B)

La propuesta B de renovación de la red representa un incremento de la longitud de la red, que pasa de 5.088 m a una longitud de 5.718 m. Este incremento de longitud es consecuencia de la introducción de nuevos tramos de conducción por el mallado de la red. La distribución de diámetros se recoge en la siguiente tabla.

Tabla 10.3. Inventario tuberías de la red de distribución. (Propuesta B)

Ø nom. (mm)	Ø int. (mm)	Longitud (m)
63	55,4	3.934
90	79,2	1.127
110	96,8	171
200	176,2	486
TOTAL (m)		5.718

10.2.2- Valoración económica de la renovación de la red (propuesta B)

La propuesta B de renovación de la red tiene un mayor coste como consecuencia de la mayor longitud de la red, debido al mallado y al incremento de longitud de la conducción principal del sector alto para abastecer a los dos ramales citados, por disponer de conducciones de mayor diámetro para dar servicio a los hidrantes en caso de incendio y, por la instalación de los propios hidrantes.

Además, la red de la propuesta B no solo tiene un coste de inversión mayor que la red de la propuesta A, sino también un mayor coste de operación debido a la incorporación de dos ramales del sector bajo al sector alto. Así, el agua que abastece a estos dos ramales, como en todo el sector alto, se rebombee por el grupo de bombeo ubicado en la cámara de llaves, lo que deriva en un mayor coste energético del sistema.

Con la propuesta A de renovación de la red (estructura actual) el porcentaje de utilización medio a lo largo de un día, del grupo de bombeo ubicado en la cámara de llaves, es del 12,6%, o sea 2,8 horas diarias de media. Por su parte, en el caso de la propuesta B de renovación el porcentaje de utilización asciende al 30%, lo que viene a ser algo más de 7 horas diarias. Esta mayor utilización de la bomba, en el caso de la red de la propuesta B, se traduce en un incremento del coste energético del rebombeo de algo más del doble.

En el siguiente cuadro se reflejan los precios unitarios de ejecución material correspondientes a las principales partidas de la reposición de la red de abastecimiento, así como su medición y el importe correspondiente.

Ud.	Descripción	Medición	Precio unitario (€)	Importe
	CAP 1. CANALIZACIÓN DE RED DE DISTRIBUCIÓN			
ml	OBRA CIVIL TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN PE Ø280/400 ⁴ Obra civil para tubería de polietileno de diámetro 280/400 mm. compuesta por: demolición de acera (en el 80% del trazado), demolición de pavimento asfáltico (en el 20% del trazado) y de sus correspondiente bases de hormigón; excavación de zanja con medios mecánicos i/ayuda manual considerando una anchura de zanja de 100 cm. y una profundidad de 1,3 m.; tapado con arena para protección de tubería con recubrimiento superior e inferior de 15 cm. y resto de zanja con zahorras limpias; protección de cruces en calzada en el 50% del trazado por pavimento asfáltico mediante camisa de hormigón armado de Ø400 mm. y recubrimiento de hormigón del resto de la zanja; hormigonado de topes y anclajes de piezas; recomposición de acera y calzada con sus respectivas bases de hormigón y realización de arquetas y registros para alojamiento de válvulas, ventosas y desagües, incluso transporte y disposición de productos de demolición/excavación a centro autorizado	378,00	134,29	50.761,62
ml	OBRA CIVIL TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN PE Ø140/250 Obra civil para tubería de polietileno de diámetro 140/250 mm. compuesta por: demolición de acera (en el 80% del trazado), demolición de pavimento asfáltico (en el 20% del trazado) y de sus correspondiente bases de hormigón; excavación de zanja con medios mecánicos i/ayuda manual considerando una anchura de zanja de 80 cm. y una profundidad de 1,1 m.; tapado con arena para protección de tubería con recubrimiento superior e inferior de 15 cm. y resto de zanja con zahorras limpias; protección de cruces en calzada en el 50% del trazado por pavimento asfáltico mediante camisa de hormigón armado de Ø400 mm. y recubrimiento de hormigón del resto de la zanja; hormigonado de topes y anclajes de piezas; recomposición de acera y calzada con sus respectivas bases de hormigón y realización de arquetas y registros para alojamiento de válvulas, ventosas y desagües, incluso transporte y disposición de productos de demolición/excavación a centro autorizado. Cont...	107,00	98,47	10.536,29

⁴ Obra civil para la instalación de las tuberías principales del sector alto y bajo en su trazado compartido.

Ud.	Descripción	Medición	Precio unitario (€)	Importe
ml	<p>OBRA CIVIL TUBERÍA DE DISTRIBUCIÓN PE Ø63/110</p> <p>Obra civil para tubería de polietileno de diámetro 63/110 mm. compuesta por: demolición de acera (en el 80% del trazado), demolición de pavimento asfáltico (en el 20% del trazado) y de sus correspondiente bases de hormigón; excavación de zanja con medios mecánicos i/ayuda manual (y agotamiento del nivel freático si necesario) considerando una anchura de zanja de 60 cm. y una profundidad de 1 m.; tapado con arena para protección de tubería con recubrimiento superior e inferior de 15 cm. y resto de zanja con zahorras limpias; protección de cruces en calzada en el 50% del trazado por pavimento asfáltico mediante camisa de hormigón armado de ø300 mm. y recubrimiento de hormigón del resto de la zanja; hormigonado de topes y anclajes de piezas; recomposición de acera y calzada con sus respectivas bases de hormigón y realización de arquetas y registros para alojamiento de válvulas, ventosas y desagües; i transporte y disposición de productos de demolición/excavación a centro autorizado.</p>	4.855,00	75,24	365.290,20
ml	<p>TUBERIA PE Ø63 P/P PIEZAS, I/MONTAJE</p> <p>Suministro e instalación de tubería de polietileno de alta densidad pe100 pn10, diámetro 63 mm; incluyendo suministro e instalación de dos válvulas de corte de tipo compuerta con cierre elástico cada 100 m.; una ventosa trifuncional cada 200 m; un desagüe cada 200 m; y un hidrante contra incendios cada 500 m de canalización; incluso parte proporcional de piezas y accesorios (codos, tes, juntas, tornillería, etc.).</p>	3.934,00	12,62	49.647,08
ml	<p>TUBERIA PE Ø90 P/P PIEZAS, I/MONTAJE</p> <p>Suministro e instalación de tubería de polietileno de alta densidad pe100 pn10, diámetro 90 mm; incluyendo suministro e instalación de dos válvulas de corte de tipo compuerta con cierre elástico cada 100 m.; una ventosa trifuncional cada 200 m; un desagüe cada 200 m; y un hidrante contra incendios cada 500 m de canalización; incluso parte proporcional de piezas y accesorios (codos, tes, juntas, tornillería, etc.).</p>	1.127,00	15,53	17.502,31
	<p>TUBERIA PE Ø110 P/P PIEZAS, I/MONTAJE</p> <p>Suministro e instalación de tubería de polietileno de alta densidad pe100 pn10, diámetro 110 mm; incluyendo suministro e instalación de dos válvulas de corte de tipo compuerta con cierre elástico cada 100 m.; una ventosa trifuncional cada 200 m; un desagüe cada 200 m; y un hidrante contra incendios cada 500 m de canalización; incluso parte proporcional de piezas y accesorios (codos, tes, juntas, tornillería, etc.).</p> <p>Cont..</p>	171,00	19,25	3.291,75

Ud.	Descripción	Medición	Precio unitario (€)	Importe
ml	TUBERIA PE Ø200 P/P PIEZAS, I/MONTAJE Suministro e instalación de tubería de polietileno de alta densidad pe100 pn10, diámetro 200 mm; incluyendo suministro e instalación de dos válvulas de corte de tipo compuerta con cierre elástico cada 100 m.; una ventosa trifuncional cada 200 m; un desagüe cada 200 m; y un hidrante contra incendios cada 500 m de canalización; incluso parte proporcional de piezas y accesorios (codos, tes, juntas, tornillería, etc.)	486,00	46,82	22.754,52
	TOTAL CAP. 1 CANALIZACIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN			519.785,77
	CAP 2. ACOMETIDAS DOMICILIARIAS			
ud	OBRA CIVIL PARA ACOMETIDA ACERA Ejecución de obra civil de hasta 2 metros de longitud para acometida en acera durante ejecución de obras de canalización de agua potable	188,00	70.07	13.173,16
ud	OBRA CIVIL PARA ACOMETIDA CALZADA Ejecución de obra civil de hasta 2 metros de longitud para acometida en calzada durante ejecución de obras de canalización de agua potable	47,00	101.95	4.791,65
ud	ACOMETIDA HASTA CALIBRE 40 Instalación y montaje de acometida de polietileno durante ejecución de obras de canalización de agua potable, de hasta calibre 40 mm; inclusive, de 2 m de longitud i. materiales y mano de obra y excluyendo obra civil.	235,00	171,05	40.196,75
	TOTAL CAP.2 ACOMETIDAS DOMICILIARIAS			58.161,15
	CAP 3. CÁMARA DE LLAVES			
ud	PARTIDA ALZADA TUBERÍAS Y ACCESORIOS Partida alzada de tuberías de polietileno de alta densidad pe100 pn10, diámetro varios; instalada en montaje superficial, más accesorios (codos, tes, niples, abrazaderas, tornillería, etc.).	1,00	7.000,00	7.000,00
	VÁLVULA DE COMPUERTA DN90 mm Válvula de compuerta de fundición revestida con epoxi interior y exteriormente, de DN90 mm PN16, cierre elástico, colocada en tubería de abastecimiento de agua PE , i/juntas y accesorios, completamente instalada.	7,00	217,98	1.525,86

Ud.	Descripción	Medición	Precio unitario	Importe
	VÁLVULA DE COMPUERTA DN150 mm Válvula de compuerta de fundición revestida con epoxi interior y exteriormente, de DN150 mm PN16, cierre elástico por compuerta de caucho vulcanizada, tipo AVK o similar, colocada en tubería de abastecimiento de agua PE DN90, i/juntas y accesorios, completamente instalada.	2,00	461,63	923,26
	VÁLVULA DE COMPUERTA DN200 mm Válvula de compuerta de fundición revestida con epoxi interior y exteriormente, de DN200 mm PN16, cierre elástico por compuerta de caucho vulcanizada, tipo AVK o similar, colocada en tubería de abastecimiento de agua PE DN90, i/juntas y accesorios, completamente instalada.	4,00	634,25	2.536,80
	TOTAL CAP.3 CÁMARA DE LLAVES			11.985,92
	CAP 4. VARIOS			
ml	PROVISIONAL DE OBRA Partida correspondiente a la instalación de tubería provisional de obra para abastecimiento de abonados durante la realización de trabajos de canalización en zona urbana, considerando suministro de tubería de Pe ø63 mm. y reaprovechamiento de la misma (25%), instalación sobre acera y traslado de acometidas	5.718	2,23	12.751,14
ud	PRUEBAS DE PRESIÓN, LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN Realización de pruebas de presión, limpieza y desinfección de tuberías, incluyendo suministro de equipos de presión, hipoclorito sódico y demás elementos auxiliares según procedimiento, considerando aporte de agua desde la red en servicio, para tramos de hasta 100 m. de longitud en red de distribución y 500 m. en red arterial	4,00	950,00	3.800,00
	TOTAL CAP.4 VARIOS			16.551,14

A partir del presupuesto de ejecución material se calcula el presupuesto de ejecución por contrata.

PRESUPUESTO GENERAL		
Capítulo 1:	CANALIZACIÓN RED DE DISTRIBUCIÓN.....	519.785,77
Capítulo 2:	ACOMETIDAS DOMICILIARIAS.....	58.161,15
Capítulo 3:	CÁMARA DE LLAVES.....	11.985,92
Capítulo 4:	VARIOS.....	16.551,14
TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL.....		606.483,98
	13 % Gastos Generales.....	78.842,92
	6 % Beneficio Industrial.....	36.389,04
PRECIO CIERTO.....		721.715,94
	16% I.V.A.....	115.474,55
TOTAL PRESUPUESTO EJECUCIÓN POR CONTRATA.....		837.190,49

10.3.- Plan de actuación de renovación de la red de abastecimiento

La renovación de la red de abastecimiento requiere disponer de un plan de actuación que contemple el período de tiempo y fases que se invertirá en la ejecución de la renovación, el alcance de la renovación en cada fase y la intervención física durante la renovación para minimizar el impacto en el servicio de agua a los abonados.

Es responsabilidad de la Administración de la urbanización y de sus propios vecinos definir, según los mecanismos participativos establecidos, este plan de actuación. De esta forma, desde aquí, solo se pretende dar unas pautas y recomendaciones para establecer una estrategia en base a criterios técnicos.

La estrategia de renovación de la red y el inicio de la misma debe obedecer al estado físico de la red y a la afectación que dicho estado tiene en el servicio. Por ello, es necesario disponer de indicadores que permitan determinar no solo el grado de deterioro de la red sino también su afectación económica y social. En el epígrafe 6.3 se presentaron algunos de los indicadores más utilizados con este objeto y sus valores para la red de abastecimiento de la urbanización Sierramar, según el segundo balance hídrico realizado. Exceptuando el rendimiento volumétrico, que como ya se comentó en dicho epígrafe no es el indicador más idóneo para evaluar una red, los indicadores analizados muestran que el estado de la red dista mucho de ser aceptable. Así se concluye de los indicadores *litros por acometida y día* (l/ac*día) y *metros cúbicos por kilómetro de red y hora* (m³/km*hora) que sitúan a la red en la categoría de regular e inaceptable respectivamente.

Por su parte, considerando el indicador *número de roturas por kilómetro y año* (nº roturas/km*año), independiente del balance hídrico, la situación es pésima. Así, las estimaciones de 4 o 5 roturas por año por parte de los técnicos de mantenimiento de la urbanización dan como resultado un valor de 0,8 a 1 rotura por km y año, muy lejos del considerado como aceptable de 0,1 rotura/km*año. No es hasta el año 2014 cuando la Administración de la urbanización Sierramar comienza a inventariar las roturas, por lo que no se dispone de un registro histórico y sistemático que refleje las características de cada rotura que sufre la red (tipo de rotura, elemento afectado, posible causa, etc.) y la evolución del número de roturas registradas con en el tiempo.

Atendiendo a los indicadores analizados, la renovación de la red, sin llegar a la urgencia su ejecución, sí debe comenzar de forma inmediata su planificación. Esta planificación requiere definir un año horizonte donde la nueva red esté instalada, con objeto de calcular una nueva tarifa de agua que haga posible su financiación. Se considera que este año horizonte debe ser anterior al final de la vida útil de la red, esto es antes de 50 años de antigüedad. Por un lado esto supondría mantener una red en mal estado, al menos 15 años más con sus problemáticas asociadas de frecuentes roturas de la red con los consiguientes cortes de agua e incomodidades; pero, por otro lado, obedeciendo a un punto de vista legal, al tratarse de una red de fibrocemento, solo se permite prolongar su permanencia hasta el final de su vida útil si su estado es bueno y no existe riesgo de liberación de amianto al ambiente, aspecto que no sucede debido a las frecuentes reparaciones de la red a causa de las roturas.

Se establece aceptable acometer y finalizar la renovación de la red en 9 o 10 años, plazo suficientemente extendido para que la tarifa de agua no experimente una subida demasiado brusca que no fuese aceptada por los vecinos de la urbanización.

El plan de actuación de renovación de la red debe incluir también una estrategia de renovación donde se establezcan las diferentes fases de renovación, esto es, en cuántos años y que parte de la red se renovará en cada fase.

En grandes abastecimientos, definir una buena estrategia de renovación de la red no es un asunto sencillo, dada la alta complejidad de los sistemas y la multitud de variables que entran en juego. Así, se han desarrollado herramientas que permiten analizar la complejidad inherente a cualquier decisión sujeta a múltiples criterios, objetivos y condiciones. Esta complejidad disminuye a medida que aumenta la simplicidad del abastecimiento, al reducirse criterios y condiciones del sistema.

Entre los criterios más utilizados en la definición de la estrategia de renovación de redes están los siguientes:

- Edad
- Material

- Historial de roturas
- Presiones de servicio
- Consecuencias en la fiabilidad del sistema
- Problemas de insuficiencia hidráulica
- Incidencia de una rotura en el entorno

En el caso de la urbanización de Sierramar, al tratarse de un abastecimiento de dimensiones reducidas, toda la red fue instalada el mismo año (1978) y con material típico de la época, el fibrocemento. Así, se prescinde del criterio seguramente con más peso en la definición de estrategias de renovación de redes.

Un criterio más, el historial de roturas, tampoco se incluye como criterio de decisión ya que no se dispone del mismo.

La presión de servicio es otro criterio a considerar. Cabe esperar que las áreas de mayor presión sufran más roturas, además de un caudal de fugas más elevado por esa presión elevada. Aun cuando no se dispone de un historial de roturas, se conoce que la ocurrencia de roturas es homogénea en la red y no existe una concentración de roturas en áreas con mayores presiones. Además, las presiones más altas de la red no llegan a ser significativamente elevadas, por lo que tampoco se considera este criterio.

Otro criterio con cierto peso son las consecuencias sobre el servicio que se presentan con la rotura en una tubería. En el caso de la red de Sierramar, al tratarse de una red ramificada, una rotura de una tubería implica el corte del suministro aguas abajo del punto de rotura, interrumpiendo así el servicio. Este criterio se considera el más importante a la hora de establecer la estrategia de renovación de la red.

Los problemas de falta de capacidad hidráulica de la red es un criterio importante cuando se identifican en la red tramos con cierta insuficiencia hidráulica para dar un adecuado servicio. No obstante, no existen tramos donde la capacidad hidráulica sea crítica, por lo que se considera este criterio de forma secundaria.

Por último, la incidencia en el entorno de una posible rotura es la misma en toda la urbanización, dado su carácter exclusivamente residencial.

Así, la estrategia de renovación de la red seguirá un enfoque monocriterio basado en el grado de incidencia que tiene la rotura de una tubería sobre el servicio. Así, y para optimizar la ejecución de la obra, se propone la renovación de la red siguiendo el trazado de la tubería principal desde su salida del depósito hasta su finalización, donde cada fase de renovación incluye el tramo de tubería principal y sus ramales asociados, a excepción del ramal más largo, que constituye la última fase.

10.3.1- Propuesta de fases de renovación de la red

A modo de ejemplo, se presenta a continuación una estrategia de renovación de la red en cuatro años (una fase por año) en base al criterio seleccionado.

Fase I:

La primera fase incluye la parte inicial de la red. Dado que la conducción principal del sector alto discurre conjuntamente con el recorrido inicial de la conducción principal del sector bajo, con objeto de acometer una única excavación para la instalación de ambas conducciones, la fase inicial aborda la renovación completa del sector alto y una parte del sector bajo, en el caso de la propuesta A hasta el inicio del tercer ramal y en el caso de la propuesta B la renovación conducción principal hasta el inicio del primer ramal. En las figuras 31 y 32 se puede ver el alcance de la renovación de la red en la fase I y la distribución de diámetros (interiores) para las dos propuestas.

En esta fase se propone también acometer la renovación de todo el entramado de tuberías, válvulas y accesorios de la cámara de llaves.



Figura 10.4. Fase I. Propuesta A de renovación



Figura 10.5. Fase I. Propuesta B de renovación

Fase II:

La fase II inicia dando continuidad a la conducción principal del sector bajo, desde el punto alcanzado en la fase I.

Para la propuesta A (figura 33), la fase II inicia con una reducción del diámetro de la conducción principal, pasando de 200 mm (176,20 mm) a 110 (96,80 mm). Este diámetro se mantiene hasta el ramal que comienza en la parcela 114, donde se reduce a 90 mm (79,2 mm), manteniéndose hasta el cruce donde comienza el ramal que inicia en la parcela 143, punto donde finaliza la fase II. Todos los ramales se proyectan con diámetro de 63 mm (54 mm).

En la propuesta B (figura 34) la conducción principal continúa con diámetro de 200 mm (176,20 mm) hasta el ramal que inicia en la parcela 80, donde se reduce a 90 mm (79,2 mm), permaneciendo invariable hasta el punto de finalización de la fase II (igual que en la propuesta A). Todos los ramales se disponen con diámetro de 63 mm (54 mm), excepto el ramal que inicia en la parcela 80. Este ramal tiene un diámetro de 90 mm (79,2 mm) hasta el cruce con la calle que discurre paralela a la principal, lugar donde se ubica uno de los hidrantes proyectados, a partir de donde continua con 63 mm (54 mm). Además de la renovación, en esta fase se procede con la instalación de tubería en la calle paralela a la principal para unir dos ramales, conformando así una malla.



Figura 10.6. Fase II. Propuesta A de renovación



Figura 10.7. Fase II. Propuesta B de renovación

Fase III:

La fase III inicia dando continuidad a la conducción principal del sector bajo, desde el punto alcanzado en la fase II.

En la propuesta A (figura 35), la fase III inicia con una reducción del diámetro de la conducción principal, pasando de 110 (96,80 mm) a 75 mm (66 mm). Este diámetro se mantiene hasta el siguiente ramal que comienza en la parcela 175, donde se reduce a 63 mm (54 mm). Excepto este tramo de conducción mencionado, el conjunto de la renovación de tubería se proyecta con diámetro de 63 mm (54 mm).

En la propuesta B (figura 36), la fase III da continuidad al diámetro de 90 mm (79,2 mm) en la conducción principal con el que finalizó la fase II. En esta propuesta la conducción principal varía su trazado, desviándose de la calle principal en la calle que inicia en la parcela 175 y finaliza en la 172. La conducción continúa con este diámetro hasta alcanzar el hidrante ubicado enfrente de la parcelas 197 y 198. El resto de las conducciones englobadas en la fase III de renovación de la red se acometen con diámetro de 63 mm (54 mm).

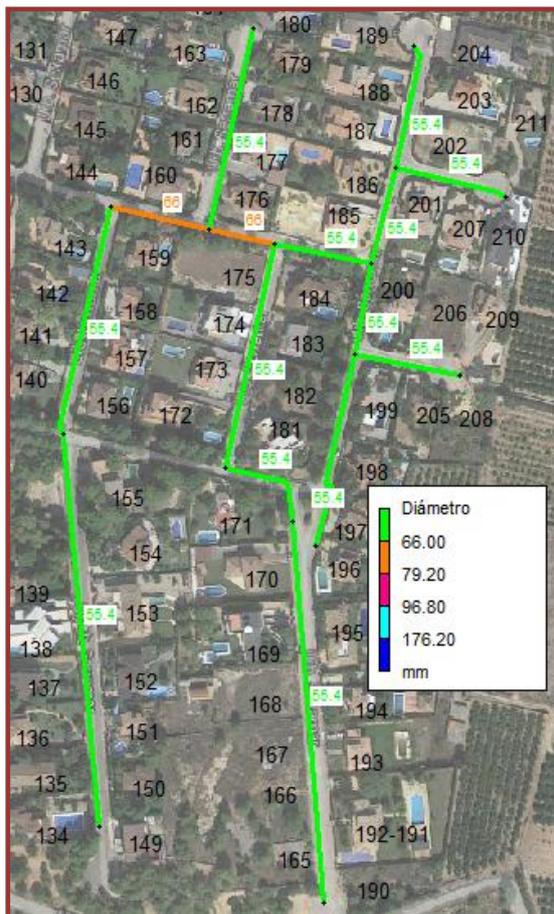


Figura 10.8. Fase III. Propuesta A de renovación

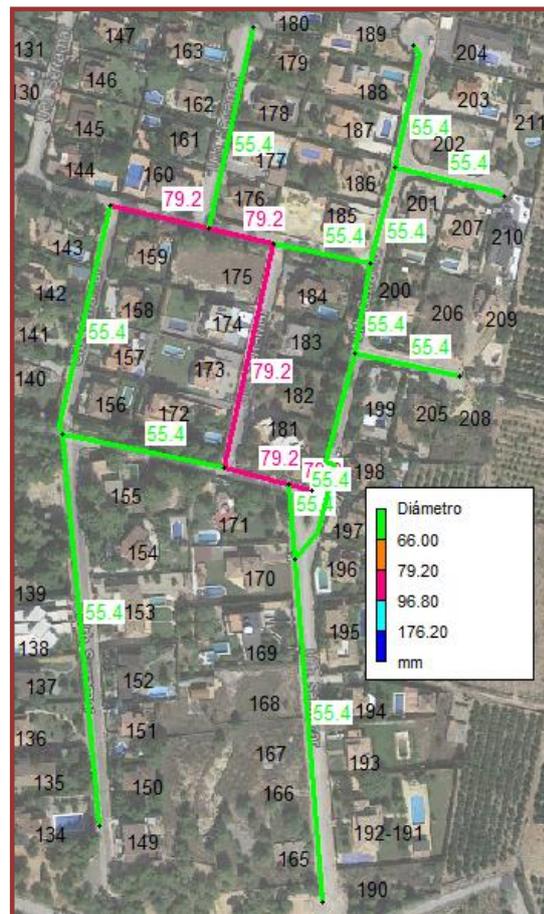


Figura 10.9. Fase III. Propuesta B de renovación

Fase IV:

La última fase acomete la renovación de todo el ramal cuyo inicio se localiza en la parcela 81, a partir del punto alcanzado por la conducción principal del sector bajo en la fase I.

En el caso de la propuesta A, el ramal inicia con un diámetro de 90 mm (79,2 mm) hasta alcanzar la parcela 87, desde donde el diámetro se reduce a 63 mm (54 mm), el cual se mantiene hasta el final del ramal.

En el caso de la propuesta B, el ramal inicia con un diámetro de 110 mm (96,8 mm) hasta la parcela 87, desde donde continua con un diámetro de 90 mm (79,2 mm) hasta llegar a la bifurcación ubicada entre las parcelas 233 y 234, donde se reduce a un diámetro de 63 mm (54 mm) que se mantiene hasta completar todo el ramal. Las figuras 33 y 34 reflejan esta fase IV de renovación de la red.

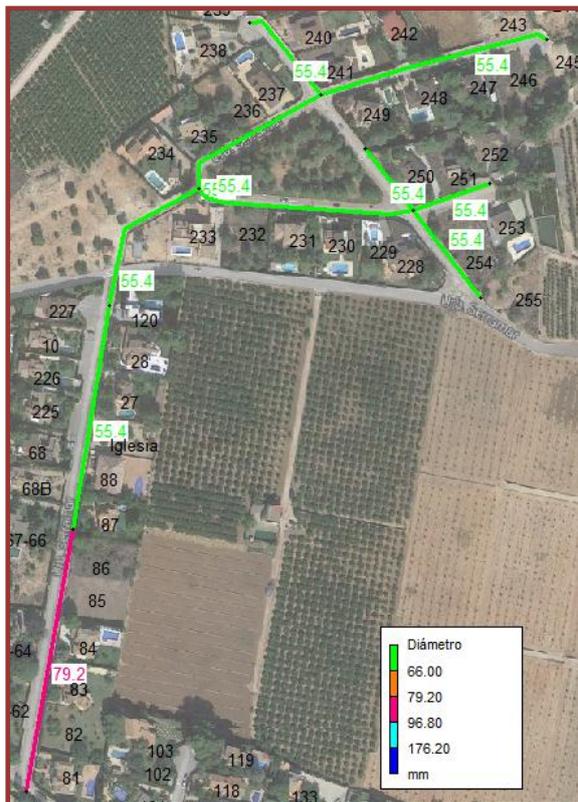


Figura 10.10 Fase IV. Propuesta A de renovación



Figura 10.11. Fase IV. Propuesta B de renovación

En la definición del alcance de cada fase se persigue repartir la longitud de sustitución de red equitativamente en cada fase cada año. En la tabla 10.4 se muestra un resumen de la afectación de cada una de las fases de renovación de la red para las dos propuestas definidas.

Tabla 10.4. Afectación de cada fase de renovación de la red

Fases	Propuesta A		Propuesta B	
	Longitud de red (m)	Viviendas afectadas	Longitud de red (m)	Viviendas afectadas
I	1.612	68	1.873	68
II	1.052	60	1.254	60
III	1.364	72	1.476	72
IV	1.060	48	1.115	48

La renovación de las redes debe ejecutarse de tal manera que suponga el menor perjuicio posible a los abonados. La estrategia que se plantea es ampliamente utilizada en la sustitución de redes y consiste en la instalación de tubería provisional de polietileno sobre acera y conexión a acometidas. De esta forma, durante los trabajos de canalización se dispondrá de servicio de agua y se minimizarán los cortes del servicio.

Por último, en virtud de Real Decreto 396/2006 de 31 de marzo donde se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto, la empresa contratada para acometer la renovación de la red deberá estar debidamente acreditada para efectuar trabajos con fibrocemento como la extracción de la red, transporte y disposición final al tratarse de un residuo peligroso. Además, están obligados a suministrar al contratista de un Plan de Trabajo.

11.- REPERCUSIÓN DEL COSTE DE RENOVACIÓN DE LA RED EN LA TARIFA DEL AGUA

11.1.- Los costes del servicio y la tarifa del agua

La gestión sostenible del agua requiere necesariamente recuperar todos los costes vinculados con el servicio de un sistema de abastecimiento y saneamiento. La tarifa del agua, como instrumento de gestión económica, social y ambiental debe reflejar fielmente los costes reales en los que se incurre para suministrar el servicio a los consumidores.

En este sentido debe citarse la Directiva 2000/60/CE por la que se establece un marco comunitario de acción en el ámbito de la política de aguas (comúnmente conocida como Directiva Marco del Agua), que en su artículo 9 adopta el principio de recuperación de costes. Por otro lado, el Real Decreto Legislativo 2/2004, exige, en su artículo 24, que las tasas nunca sean superiores al coste real del servicio o actividad por el que se cobra dicha tasa. Esta legislación implica que la determinación precisa de los costes del servicio no sea sólo una necesidad económica para una gestión eficiente, sino un imperativo legal.

Bajo este enfoque, es necesario identificar, clasificar y cuantificar los diferentes costes en que se incurre con el servicio de agua, para que puedan ser recuperados a través de la tarifa.

Dada la necesidad de conocer los costes del servicio para recuperarlos de forma completa y óptima con la tarifa, se puede establecer dos clasificaciones de costes distintas (Barberán et Costa, 2001). La primera clasificación tiene por objeto determinar la cuantía de la tarifa. La segunda clasificación tiene como finalidad contribuir a establecer la estructura de la misma.

La primera clasificación que resulta de utilidad, en este caso para determinar el nivel de la tarifa, se basa en la identificación de los costes relevantes desde la perspectiva social y ambiental que deberían ser recuperados mediante la tarifa. Estos costes son:

Costes de operación y mantenimiento. Son los necesarios para que el servicio sea prestado de forma eficaz y continuada (personal, aprovisionamientos, compra de agua, energía eléctrica, reactivos, material de oficina, servicios externos, etc).

Costes de capital/inversión. Se incluyen todos los costes procedentes de inversiones realizadas para la prestación del servicio, esto es, la amortización de todo el

inmovilizado afecto al mismo (red de tuberías, alcantarillado, plantas potabilizadoras, instalaciones electromecánicas, depósitos, vehículos, etc.).

Costes de oportunidad del capital. Es la pérdida que supone renunciar al capital destinado al servicio de abastecimiento y saneamiento en otra inversión alternativa mejor (agricultura, industria, usos recreativos, etc.).

Costes de oportunidad del recurso agua. Se refiere a la renuncia que supone destinar el agua a consumo doméstico y no utilizarla para otros fines alternativos (agricultura, industria, recreación, etc.).

Costes ambientales o externalidades negativas. Se trata del perjuicio que pueda ocasionar el servicio de abastecimiento y saneamiento al medio ambiente, como sobreexplotación de ríos y de acuíferos y el vertido de aguas contaminadas (caso de saneamiento).

Solo el primero de los costes listado es recuperado mayoritariamente por los gestores del servicio de agua en España, mientras que el resto de costes, generalmente, no son repercutidos en la tarifa de agua.

La segunda clasificación de costes establece dos categorías de costes que son de gran utilidad para definir la estructura de la tarifa.

Costes variables: aquellos que varían en función de la cantidad de agua suministrada. Se incluyen en esta categoría el coste de energía, agua importada, reactivos, servicios externos, canon de vertido, materiales para repuestos, etc.

Costes fijos: aquellos que se producen independientemente de la cantidad de agua suministrada. Los costes de personal (íntegra o parcialmente) y los costes de amortización de la infraestructura son los principales costes asociados a esta categoría.

La cuantía de cada categoría de costes es de utilidad para determinar el importe de cada parte de la tarifa, en el supuesto de que se aplica una tarifa en dos partes, una fija y otra variable en función de la cantidad de agua consumida [Álvarez García et al. (2003)]. Idealmente, los costes variables deberían ser recuperados plenamente con la parte variable de la tarifa, mientras que los costes fijos con la parte fija de la tarifa.

Sin embargo, tarifar directamente en función de la estructura de costes puede incentivar el despilfarro del agua en el caso que el sumando de costes fijos presente mucho más peso que el de costes variables. Así, si el precio del m³ de agua es bajo, la tarifa no cumpliría la función de incentivar el ahorro de este recurso natural. Por tanto, la distribución de costes fijos y variables debe tomarse como un elemento de ayuda para determinar el coste fijo y el coste variable de la tarifa, lo que debe fijarse con un análisis más detallado.

Admitiendo la existencia de estos dos sumandos se tiene diversas posibilidades de tarificación (Cabrera et García Serra, 1997). La elección de una u otra, así como los umbrales y precios que se establezcan será función de la política social que se crea más conveniente implementar y propicie más o menos el ahorro. A continuación se presentan cuatro de las estructuras tarifas más extendidas:

- 1.- La cuota de servicio (parte fija de la tarifa) incluye un volumen mínimo. Rebasado éste, el m³ de agua se paga a un precio único.
- 2.- La cuota de servicio incluye un volumen mínimo y el coste unitario del m³ de agua tiene un coste dependiente del volumen de agua consumido.
- 3.- La cuota de servicio no incluye un volumen mínimo. El m³ se paga a un precio único. Es lo que se conoce por tarifa plana.
- 4.- La cuota de servicio no incluye un volumen mínimo. El m³ se paga en varios escalones, dependiendo del consumo.

La tarifa plana (tipo 3) no propicia el ahorro, mientras que estructuras tarifarias por bloques, con escalones muy progresivos a medida que aumenta el consumo de los abonados, favorecen sobremanera las estrategias de ahorro (Cabrera et García Serra, 1997).

11.2.- La tarifa del agua en la urbanización Sierramar

La Administración de la urbanización Sierramar gestiona de manera directa e íntegramente la prestación de los servicios vinculados al ciclo del agua, asumiendo no solo la operación y funcionamiento del servicio sino también su administración con actividades como la contratación, la facturación y la recaudación.

La Administración dispone a tiempo completo de dos técnicos para el mantenimiento de la urbanización; que, entre otras funciones, asumen actividades de operación, mantenimiento y reparación de las redes de abastecimiento y saneamiento. Solo en el caso de actividades muy especializadas de mantenimiento o reparación de instalaciones (p.ej instalaciones de bombeo), la Administración recurre a la contratación de servicios externos.

Para la prestación de estos servicios a sus 218 abonados actuales, la urbanización de Sierramar cuenta con un patrimonio hidráulico-sanitario compuesto por algo más de 5 Km de red de distribución, 5 Km de alcantarillado, 2 depósitos de almacenamiento, 1 pozo, 2 instalaciones de bombeo y 1 planta depuradora. La construcción de las infraestructuras se remonta a los años 70 por lo que el estado de conservación de algunas de ellas no es el óptimo.

La tarifa de agua vigente en la urbanización Sierramar contempla únicamente los costes de operación y mantenimiento del servicio de agua. En cambio, no se computan los otros cuatro costes citados anteriormente, estos son, costes de capital, costes de oportunidad de capital, costes ambientales o externalidades negativas y costes de oportunidad del recurso. En el caso de este último se contemplaría parcialmente en la medida que estuviesen incluidos en los costes del agua importada (EGEVASA) y en las tasas a la Confederación Hidrográfica del Júcar.

La Administración de Sierramar aplica una tarifa donde no hay una parte fija y solo contempla una parte variable en función del m³ consumido por cada abonado. Así, los costes operación y mantenimiento del servicio son recuperados por medio del precio asignado al m³ de agua consumido. Este precio se calcula en función del conjunto de costes anuales vinculados al servicio de abastecimiento y saneamiento y el volumen de agua consumido anualmente. Actualmente, el precio fijado del m³ es de 0,52 €.

De los cuatro costes no incluidos en la tarifa del agua de la urbanización Sierramar, dada la naturaleza y tamaño del servicio, se puede considerar que son prescindibles o que no aplican, según el caso, los costes de oportunidad de capital, de oportunidad del recurso y los ambientales, pero en ningún caso los costes de capital/inversión, si se pretende que el servicio de agua sea sostenible.

11.3.- Recomendaciones para definir una nueva tarifa del agua

Es precisamente al aproximarse el final de la vida útil de la red de abastecimiento o de saneamiento, y surge la necesidad de renovación de las redes, cuando adquiere toda su importancia considerar el coste de capital/inversión en la definición de la tarifa del agua. Es por ello urgente repercutir este coste en la tarifa del agua con objeto de disponer de la capacidad económica para acometer una cercana renovación de la red de abastecimiento.

Con este propósito, se ha elaborado una herramienta (**ver anexo 3**) de gestión que permite calcular el coste de inversión que debe ser incluido en la tarifa del agua.

Con esta herramienta de gestión, la propia Administración de Sierramar puede tomar las decisiones que considere más convenientes en relación a los períodos de tiempo para acometer la renovación de la red o, incluso, distribuir el coste de inversión entre una parte fija y una parte variable, modificando así su actual estructura tarifaria. Una propuesta usual de distribución de estos sumandos es del orden de 25% - 75% respectivamente.

En este sentido, una nueva estructura tarifaria se presenta como una precisa intervención en la gestión del servicio con objeto de implementar una política tarifaria más justa y adecuada, tanto social como ambientalmente.

La actual estructura tarifaria de la urbanización es del tipo tarifa plana y sin cuota de servicio. Por un lado, la tarifa plana no fomenta el ahorro del agua, en cuanto que el precio fijado por el m³ del agua no varía, independientemente del volumen de agua consumido, así que ambientalmente esta tarifa tiene connotaciones negativas. Por otro lado, la ausencia de una cuota de servicio (una parte fija) se puede considerar injusta socialmente, ya que todo abonado al servicio (consume o no) debe contribuir, en la medida que se determine, a mantener (o renovar) el servicio, y así, conservar su derecho de disponer de agua cuando lo desee. En pocas palabras, no solo se debe pagar por el consumo de agua sino también por la posibilidad de poder consumirla a través de la red.

Es responsabilidad de la Administración de Sierramar y de sus vecinos decidir o no un cambio de la estructura tarifaria y en su caso consensuar la nueva tipología a implementar con sus umbrales y precios.

A modo de recomendación, el autor considera que una tarifa tipo 4 de tipo escalonada en varios bloques de consumo y con cuota de servicio que no incluya un volumen mínimo, es la más idónea para las características de este servicio. Con esta tipo de tarifa se garantiza que cuanto mayor sea el consumo, mayor será la contribución a los costes del ciclo del agua, fomentando al mismo tiempo el ahorro del agua.

El incremento del precio del m³ de agua a medida que aumenta el consumo de agua adquiere una mayor relevancia en cuanto que incide en el coste de todo el servicio, ya que más allá del mayor consumo energético por bombeo del agua del pozo, a mayor consumo de agua más rápido es el descenso del nivel dinámico del pozo, y cuando alcanza el nivel de la bomba y se detiene el bombeo, se traduce en la entrada al sistema de agua de EGEVASA, de mucho mayor coste para el servicio.

Por último, una vez que el coste de inversión de la renovación de la red de agua se haya repercutido completamente en la tarifa del agua, será necesaria una nueva revisión de la tarifa para incluir la amortización de la siguiente futura red y, además, el coste de inversión de la renovación de la red de saneamiento, en este caso, con un vida útil del orden de 70 años, como corresponde a redes de hormigón centrifugado.

A modo de ejemplo, la figura 11.1 muestra la aplicación de la herramienta para determinar la repercusión que sobre la actual tarifa del agua tiene la renovación de la red, calculada para las dos propuestas A y B, considerando que la renovación de la red inicia en el año 2021 y con un período de ejecución de 4 años.

CÁLCULO REPERCUSIÓN SOBRE LA TARIFA ACTUAL POR EL COSTE DE INVERSIÓN DE LA NUEVA RED		
DATOS RED ACTUAL	PROPUESTA A	PROPUESTA B
Material	Fibrocemento	Fibrocemento
Año actual (A)	2015	2015
Año instalación (B)	1978	1978
Vida útil (C)	50	50
Año finalización vida útil (D) = (B)+(C)	2028	2028
DATOS NUEVA RED	PROPUESTA A	PROPUESTA B
Material	Polietileno	Polietileno
Año previsto inicio instalación (E)	2021	2021
Años previstos en la renovación (F)	4	4
Estimación coste actual (G)	744,501.52 €	837,194.49 €
DATOS DE ABONADOS / CONSUMO	PROPUESTA A	PROPUESTA B
Nº de abonados actual (H)	235	235
Volumen (m3) medio anual consumido ¹ (I)	131,587.00	131,587.00
Nº facturaciones por año (J)	4	4
Volumen (m3) medio trimestral consumido ² (K)	32,896.75	32,896.75
AMORTIZACIÓN DE LA RED	PROPUESTA A	PROPUESTA B
Tasa de inflación % (s)	2.00	2.00
Año inicio amortización de la nueva red ³ (L)	2016	2016
Años de amortización de la nueva red (M) = (E)+(F)-(L)	9	9
Estimación coste de nueva red al final de su instalación ⁴ (N) (N) = (G/F) * ((1+(r/100)^5) + (1+(r/100)^6) + (1+(r/100)^7) + (1+(r/100)^8))	846,979.97 €	952,431.86 €
Amortización anual de la nueva red (O) = (N)/(M)	94,108.89 €	105,825.76 €
Amortización de la nueva red en cada facturación (P) = (O)/(J)	23,527.22 €	26,456.44 €
REPERCUSIÓN COSTE INVERSIÓN EN LA TARIFA	PROPUESTA A	PROPUESTA B
% de costes fijos sobre la tarifa del agua (Q)	25	25
% de costes variables sobre la tarifa del agua (R)	75	75
Componente fija del coste inversión (T) = ((P)*(Q)/100)/(H)	25.03	28.15
Componente variable del coste de inversión (€/m3) (U) = ((P)*(R)/100)/(K)	0.54	0.60
NOTAS:		
¹ Volumen medio anual consumido según los dos últimos años.		
² Volumen medio trimestral consumido según los dos últimos años.		
³ Año a partir del cual se actualiza la tarifa		
⁴ Fórmula no automatizada. El exponente se corresponde con cada año de instalación de la nueva red a partir del año en que se aplica la nueva tarifa. Modificar según corresponda con el número de años previstos de la instalación de la nueva red		

Figura 11.1. Repercusión en la tarifa por el coste de renovación de la red.

La herramienta presentada se estructura en los siguientes bloques:

- **DATOS DEL LA RED ACTUAL**

Se refleja el tipo de material de la red instalada, el año de instalación, la vida útil correspondiente al material instalado y el año en que finaliza la vida útil de la red.

- **DATOS DE LA NUEVA RED**

Incluye el tipo de material de la nueva red, el año previsto de inicio de la instalación (en principio al final de la vida útil de la red instalada), los años previstos de ejecución de renovación de la red y el coste a fecha actual de la red a instalar.

- **DATOS DE ABONADOS / CONSUMO**

Se especifica el número de abonados actual de la red, el volumen (m³) medio anual consumido (calculado a partir del último o de los últimos años), el número de facturaciones por año y el volumen (m³) medio consumido por período de facturación. Dado que se factura trimestralmente son 4 las facturaciones por año.

- **AMORTIZACIÓN DE LA RED**

Recoge aspectos económicos relativos al coste de la red calculado para el año fijado para su instalación y la amortización anual y trimestral de la nueva red. Se incluyen dos datos, que son la tasa inflación, donde se aplica un valor típico del 2.0%; y el año en que se fija el inicio de la amortización de la red (en el ejemplo el año 2016), año a partir del cual se repercute el coste de inversión a la tarifa actual. Como resultados se obtienen el número de años en que se estará amortizando la red, el coste final de la red en el año de su instalación y la amortización anual y la amortización por cada facturación, que en el caso de Sierramar es trimestral.

El coste de la nueva red se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$I_F = I * (1 + s)^T$$

donde se refleja el coste de la nueva red I en el momento presente, al cabo de T años y considerando una tasa de inflación s, pasa a tener un coste final I_F.

Dado que se plantea disponer de la nueva red en 9 años a partir del 2016, iniciando la ejecución en el año 2021 (4 años de ejecución), se debe calcular el coste parcial de la red para cada uno de los 4 años de ejecución. De esta forma, la fórmula que determina el coste de la nueva red al final de su instalación es la siguiente:

$$I_F = \frac{I}{4} * (1 + s)^5 + \frac{I}{4} * (1 + s)^6 + \frac{I}{4} * (1 + s)^7 + \frac{I}{4} * (1 + s)^8$$

considerando que el coste de instalación en cada una de las fases de ejecución es similar.

Un cálculo detallado del coste de inversión por la nueva red incluiría la determinación de la tasa de interés real del dinero r, esto es la, intervención conjunta de la tasa de inflación s (que puede expresarse también en términos de devaluación del dinero) y la

tasa de interés r' procedente al disponer de la parte del dinero para la inversión de la nueva red en un banco.

Sin embargo, esta última componente tiene un alto grado de incertidumbre, no solo por el propio valor del interés r' , muy fluctuante en el contexto actual, sino también porque el dinero obtenido de las facturaciones dependerá en su mayor parte del consumo de agua, el cual es susceptible de variar en los próximos años, más cuando el precio del agua en la urbanización se incrementará notablemente. Por esta razón se prescinde de calcular la tasa de interés real r' , ya que implica afinar demasiado en el proceso de cálculo cuando por el contrario hay variables con un alto grado de incertidumbre.

Además, incluir solamente la tasa inflación permite disponer de un margen de seguridad para pagar el coste de la instalación de la red, cubriendo así posibles imprevistos en el coste de la red o una caída en el consumo de agua en la urbanización. En cualquier caso, de producirse un remanente finalizada la instalación éste sería gestionado por la urbanización como mejor consideren.

- REPERCUSIÓN COSTE INVERSIÓN EN LA TARIFA

El último bloque calcula el incremento que sobre la tarifa implica el coste de inversión de la nueva red y su reparto entre la componente fija y variable de la tarifa. Primero se fija el reparto de la tarifa del agua entre costes variables y costes fijos. Un reparto típico es de un 25% como costes fijos y un 75% como costes variables. Según dicho reparto se obtiene el coste fijo y el coste variable a añadir a la actual tarifa del agua.

Considerando que la tarifa actual del servicio de agua en la urbanización es de 0,52 €/m³, la nueva tarifa de agua estaría constituida por una parte fija de 25.03 € por cada abonado a la red (independientemente de que consuman agua o no consuman) y una parte variable de 1.06 €/m³ (0,52 + 0.54) para el caso de la propuesta A de renovación de la red; y una parte fija de 28.15 € y una parte variable de 1.12 €/m³ (0,52 + 0.60) para el caso de la propuesta B de renovación de la red

12.- BIBLIOGRAFÍA

Arizmendi Barnés, L.J. (1991). *Instalaciones Urbanas. Infraestructura y Planeamiento*. Tomo II. Infraestructura Hidráulica y de evacuación de residuos. Ed. Bellisco (Madrid).

Barberán R., Costa A., Alegre A. (2001). *Los costes del servicio de abastecimiento de agua. Un análisis necesario para la regulación de precios*. Universidad de Zaragoza. P. T. N.o 15/07

Cabrera E., Almandoz J., Arregui F., García-Serra, J. (1999). *Auditoría de redes de distribución de agua*. Ingeniería del Agua Vol.6 Num.4 (diciembre 1999), pp 291-303.

Cabrera E., Cobacho R., Dubois M. (2004). *La problemática de los abastecimientos urbanos*. Revista de la Real Academia de Ciencias. Volumen 98, número 2, año 2004, pp 271-285.

Cabrera E., García-Serra J. (1997). *Problemática de los abastecimientos urbanos. Necesidad de su modernización*. Grupo Mecánica de Fluidos. UPV. ISBN 84-89487-0409.

Cardone, R., Fonseca, C. (2003). *Financing and recovery Thematic Overview*. Paper of IRC International Water and Sanitation Centre.

Fuertes V., García-Serra J., Iglesias P., López G., Martínez F., Pérez, R. (2002). Modelación y diseño de redes de abastecimiento de agua. Grupo Mecánica de Fluidos. UPV.

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (1983). *NTP 42: Bocas e hidrantes de incendios. Condiciones de instalación*. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

Instituto Tecnológico del Agua. www.cursosaqua.upv.es. *Evaluación y control de pérdidas de agua en redes urbanas*. Universidad Politécnica de Valencia.

López J., Fernández L., Navarrete P., Ramos G., Peinado T., Barba-Romero J.,; Rodríguez L., Aragón R., Azcón A., Casas S., Domingo L., Bueno D., Sobrino J., García J., Obartí J., Garay P. (1989). *Las aguas subterráneas en la Comunidad Valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización*. Instituto Geológico y Minero de España.

Parra Toro, J. (2013). *Desarrollo de un conjunto de herramientas de soporte a la decisión y su implementación en un plan de gestión técnica para la renovación de redes de abastecimiento y saneamiento de agua*. Tesis Doctoral. UPV.

Ranchal M., Rodríguez M. (2009). *Guía de buenas prácticas preventivas en las operaciones de corte de tuberías de fibrocemento*. Empresa Provincial de Aguas de Córdoba, S.A. (Emproacsa).

Rogers P.; Bhatia R., Huber A. (1997). *Water as a social and economic good: how to put the principle into practice*. Paper prepared for the Meeting of the Technical Advisory Committee of the Global Water Partnership in Namibia.

Rossman L. (2000). EPANET 2: User's manual, U.S. Environmental Protection Agency.

Wolfram Himer (2001). Regulation of urban water supply: standards of quality and control.

www.iberdrola.es/02sica/gc/.../Tarifas_T2_2014_Triptico_r0.pdf.

ANEXO 1

Consumos facturados trimestrales de Sep-13 a Ago14					
		(Sep-Nov)	(Dic_Feb)	(Mar-May)	(Jun-Ago)
Id_parcela	Tipo	m3	m3	m3	m3
1	Residencial	27	24	28	30
2	Residencial	0	0	0	0
3	Residencial	55	41	64	163
4	No urbanizada				
5	Residencial	106	31	169	240
6	Residencial	230	68	164	38
7	Residencial	82	30	121	159
8	Residencial	0	0	0	0
10	Residencial	94	73	149	187
11	Residencial	72	141	89	361
12	Residencial	510	160	531	936
13	Residencial	369	28	70	344
14	Residencial	149	73	239	401
15	Residencial	117	67	100	45
16	Residencial	192	183	73	361
17	Residencial	164	70	152	193
18	Residencial	346	130	212	432
20	Residencial	89	25	39	194
21	Residencial	224	125	207	493
22	Residencial	216	127	125	318
23	Residencial	97	66	57	102
24	Residencial	0	0	0	0
25	Residencial	14	0	66	113
26	Residencial	194	60	118	244
27	Residencial	205	91	196	472
28	Residencial	176	67	188	330
29	Residencial	153	74	191	472
30	Residencial	135	99	130	306
31	Residencial	38	36	36	46
32	Residencial	39	54	56	247
33	No urbanizada				
34	Residencial	126	45	229	226
35	Residencial	117	73	109	382
36	Residencial	150	57	307	654
38	Residencial	141	86	171	303
39	Residencial	271	82	291	326
40	Residencial	170	53	197	342
41	Residencial	135	31	144	69
42	Residencial	106	79	124	232
43	Residencial	400	181	234	354
44	Residencial	126	56	156	276
45	Residencial	272	150	248	537
46	Residencial	23	9	11	31
47	Residencial	480	230	351	794
48	Residencial	119	43	174	398
49	Residencial	222	127	163	520
50	Residencial	268	272	354	306
51	Residencial	207	151	243	350
52	Residencial	313	81	21	120
53	Residencial	366	218	294	578
54	Residencial	219	207	265	406
55	Residencial	40	27	26	144
56	Residencial	180	46	190	349
57	Residencial	311	151	311	744
58	Residencial	0	0	0	0
59	No urbanizada				

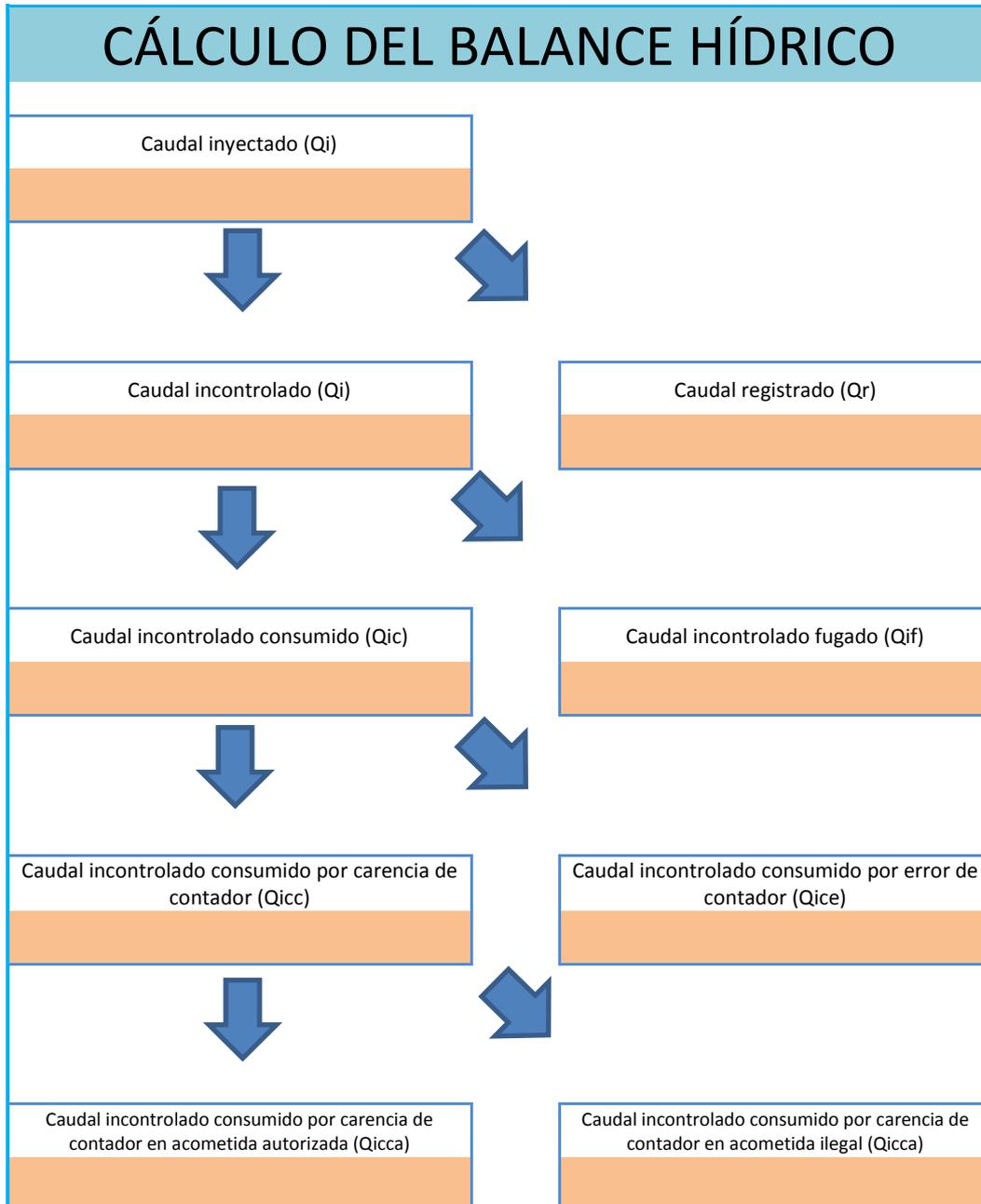
60	Residencial	73	16	31	160
61	Residencial	112	45	68	141
62	Residencial	345	64	246	73
64	Residencial	111	102	196	361
67	Residencial	101	37	104	59
68	Residencial	65	48	61	86
69	Residencial	258	118	198	411
70	Residencial	125	69	35	100
71	Residencial	210	91	220	369
72	Residencial	167	36	45	139
73	Residencial	195	163	169	247
74	Residencial	228	66	220	229
75	No urbanizada				
76	No urbanizada				
77	No urbanizada				
78	Residencial	237	136	170	443
79	Residencial	289	96	266	630
81	Residencial	233	97	286	721
82	Residencial	211	175	165	391
83	Residencial	43	53	45	97
84	Residencial	226	155	305	390
85	No urbanizada				
86	No urbanizada				
87	Residencial	521	370	398	912
88	Residencial	105	106	96	225
89	Residencial	0	0	0	33
90	Residencial	107	74	98	193
91	Residencial	195	21	231	319
92	Residencial	66	10	38	440
93	Residencial	103	26	101	236
94	Residencial	0	0	0	11
95	Residencial	151	17	114	244
96	Residencial	0	0	0	0
97	Residencial	87	38	52	40
98	Residencial	136	69	114	225
99	Residencial	311	218	355	672
100	Residencial	177	71	13	177
101	Residencial	0	0	0	0
102	Residencial	0	0	0	0
103	Residencial	98	59	69	174
104	Residencial	323	121	270	530
105	Residencial	31	31	40	14
106	Residencial	130	121	114	424
107	Residencial	75	0	50	189
108	Residencial	45	18	59	194
109	No urbanizada				
110	Residencial	76	28	41	426
111	Residencial	184	113	99	188
112	Residencial	80	32	59	252
113	Residencial	133	32	113	193
114	Residencial	527	140	160	190
115	No urbanizada				
116	Residencial	372	427	259	618
117	Residencial	194	103	150	325
118	Residencial	103	50	94	217
119	Residencial	117	76	191	258
120	Residencial	357	178	354	656
121	No urbanizada				
122	Residencial	166	17	105	510
124	Residencial	88	13	117	312
125	Residencial	106	334	102	290
126	Residencial	109	56	62	153
127	Residencial	52	46	52	88
128	Residencial	12	32	122	188
129	Residencial	30	7	168	131

130	Residencial	55	39	47	57
131	Residencial	232	89	201	288
132	Residencial	110	107	161	486
133	Residencial	390	0	166	444
134	Residencial	0	0	3	22
135	Residencial	285	186	256	185
136	Residencial	80	251	308	619
137	Residencial	71	42	33	297
138	Residencial	171	69	195	373
139	Residencial	0	0	58	99
140	Residencial	117	69	157	241
141	Residencial	69	69	74	152
142	Residencial	169	91	153	242
143	Residencial	375	545	366	534
144	Residencial	56	38	46	209
145	Residencial	102	51	123	178
146	Residencial	226	62	159	355
147	Residencial	207	116	238	319
148	Residencial	212	166	184	277
149	Residencial	11	6	0	69
150	Residencial	19	0	6	1145
151	Residencial	80	63	64	145
152	Residencial	65	21	85	211
153	Residencial	81	53	84	272
154	Residencial	318	201	250	341
155	Residencial	20	17	15	63
156	Residencial	148	67	141	288
157	Residencial	127	79	179	255
158	Residencial	77	136	22	39
159	Residencial	124	57	203	260
160	Residencial	182	103	200	250
161	Residencial	155	128	169	278
162	Residencial	121	91	143	259
163	Residencial	161	96	160	218
164	Residencial	245	148	114	232
165	Residencial				
166	No urbanizada				
167	No urbanizada				
168	No urbanizada				
169	Residencial	376	166	94	577
170	Residencial	88	34	53	116
171	Residencial	269	130	262	383
172	Residencial	253	114	188	314
173	Residencial	155	25	114	303
174	Residencial	141	76	101	199
175	No urbanizada				
176	Residencial	0	0	0	45
177	Residencial	157	175	140	193
178	Residencial	0	0	0	0
179	Residencial	25	28	150	229
180	Residencial	94	111	96	482
181	Residencial	28	31	55	93
182	No urbanizada				
183	Residencial	294	230	247	610
184	Residencial	77	62	114	204
185	Residencial	39	32	43	42
186	Residencial	121	37	51	177
187	Residencial	59	26	51	107
188	Residencial	281	84	202	423
189	Residencial	407	713	79	162
190	No urbanizada				
191	Residencial	320	48	660	1025
193	Residencial	31	31	36	192
194	Residencial	207	124	242	353
195	Residencial	116	76	299	435

196	Residencial	103	224	210	206
197	Residencial	101	50	81	231
198	Residencial	97	58	75	159
199	Residencial	123	82	306	245
200	Residencial	115	77	131	284
201	Residencial	168	137	200	199
202	No urbanizada	0	0	0	0
203	Residencial	106	73	106	250
204	Residencial	173	75	37	72
205	Residencial	77	42	33	51
206	No urbanizada				
207	Residencial	100	62	158	223
208	No urbanizada				
209	Residencial	73	38	61	123
210	Residencial	305	25	21	92
211	Residencial	62	33	99	122
212	Residencial	0	17	14	59
213	No urbanizada				
214	Residencial	271	103	207	420
215	Residencial	333	50	309	446
216	Residencial	78	21	154	35
217	No urbanizada				
218	Residencial	302	236	352	587
219	No urbanizada				
220	Residencial	173	89	179	249
221	Residencial	0	0	0	0
222	Residencial	105	58	94	169
223	Residencial	29	32	85	185
224	Residencial	196	83	247	320
225	Residencial	114	60	118	203
226	Residencial	58	23	90	202
227	Residencial	111	54	97	225
228	Residencial	52	51	47	84
229	Residencial	122	69	117	247
230	Residencial	251	150	190	369
231	Residencial	198	91	178	310
232	No urbanizada				
233	Residencial	0	0	0	98
234	Residencial	112	88	71	338
235	Residencial	263	242	268	269
236	No urbanizada				
237	Residencial	60	27	0	232
238	Residencial	73	73	66	68
239	Residencial	138	75	63	223
240	Residencial	144	304	116	252
241	Residencial	0	0	124	48
242	Residencial	186	65	0	643
243	No urbanizada				
244	Residencial	113	70	266	150
245	No urbanizada				
246	No urbanizada				
247	Residencial	182	128	94	544
248	Residencial	86	54	330	263
249	Residencial	0	7	75	64
250	Residencial	53	47	45	129
251	Residencial	0	0	130	0
252	Residencial	0	0	0	0
253	Residencial	61	32	10	86
254	No urbanizada				
255	No urbanizada				
261	Club (pistas)	35	0	132	170
262	Club (piscina)	1178	396	0	204
263	Club (edificio)	126	67	971	2841
68B	Residencial	37	0	0	0

ANEXO 2

CALCULO DEL BALANCE HÍDRICO		
PERIODO DE REALIZACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO		
Fecha de primera lectura:		
Fecha de segunda lectura:		
Nº de días entre lecturas:		
PROFUNDIDAD DEL AGUA EN EL DEPÓSITO¹		
Profundidad en la primera lectura (m)		
Profundidad en la segunda lectura (m)		
Volumen entre niveles (m3)		
AGUA INYECTADA		
Procedencia	Volumen ² (m ³)	Caudal (l/s)
Pozo		
EGEVASA		
TOTAL		
AGUA REGISTRADA		
Tipología	Volumen ³ (m ³)	Caudal (l/s)
Residencial+club		
Riego público		
TOTAL		
NOTAS:		
¹ Profundidad del agua en el depósito medida desde su techo.		
² Volumen resultante de la diferencia entre las dos medidas de contador		
³ Volumen resultante de la suma de la diferencia entre las dos medidas de contadores de todos los puntos de consumo		
La medición de lecturas de los contadores debe hacerse, en la medida de lo posible, con el máximo grado de simultaneidad posible.		



RENDIMIENTOS / INDICADORES

Rendimiento volumétrico (η)

Litros por acometida y día (l/ac*día)

Metros cúbicos por km de red y hora (m³/km*hora)

Rango	Calificación
$\eta > 0,9$	Excelente
$0,8 < \eta < 0,9$	Muy bueno
$0,7 < \eta < 0,8$	Bueno
$0,6 < \eta < 0,7$	Regular
$0,5 < \eta < 0,6$	Malo
$0,5 < \eta$	Inaceptable

Rango	Calificación
< 100	Excelente
100 - 150	Aceptable
150 - 200	Regular
> 200	Inaceptable

Rango	Calificación
< 0,2	Excelente
0,2 – 0,5	Aceptable
0,5 – 0,75	Regular
> 0,75	Inaceptable

Nº ac. a la red
(viviendas + riego)

273

Km de red

5.08

ANEXO 3

CÁLCULO REPERCUSIÓN SOBRE LA TARIFA ACTUAL POR EL COSTE DE INVERSIÓN DE LA NUEVA RED		
DATOS RED ACTUAL	PROPUESTA A	PROPUESTA B
Material		
Año actual (A)		
Año instalación (B)		
Vida útil (C)		
Año finalización vida útil (D) = (B)+(C)		
DATOS NUEVA RED	PROPUESTA A	PROPUESTA B
Material		
Año previsto inicio instalación (E)		
Años previstos en la renovación (F)		
Estimación coste actual (G)		
DATOS DE ABONADOS / CONSUMO	PROPUESTA A	PROPUESTA B
Nº de abonados actual (H)		
Volumen (m3) medio anual consumido ¹ (I)		
Nº facturaciones por año (J)		
Volumen (m3) medio trimestral consumido ² (K)		
AMORTIZACIÓN DE LA RED	PROPUESTA A	PROPUESTA B
Tasa de inflación % (s)		
Año inicio amortización de la nueva red ³ (L)		
Años de amortización de la nueva red (M) = (E)+(F)-(L)		
Estimación coste de nueva red al final de su instalación ⁴ (N) (N) = (G/F) * ((1+(r/100)^5) + (1+(r/100)^6) + (1+(r/100)^7) + (1+(r/100)^8))		
Amortización anual de la nueva red (O) = (N)/(M)		
Amortización de la nueva red en cada facturación (P) = (O)/(J)		
REPERCUSIÓN COSTE INVERSIÓN EN LA TARIFA	PROPUESTA A	PROPUESTA B
% de costes fijos sobre la tarifa del agua (Q)		
% de costes variables sobre la tarifa del agua (R)		
Componente fija del coste inversión (T) = ((P)*(Q)/100)/(H)		
Componente variable del coste de inversión (€/m3) (U) = ((P)*(R)/100)/(K)		
NOTAS:		
¹ Volumen medio anual consumido según los dos últimos años. ² Volumen medio trimestral consumido según los dos últimos años. ³ Año a partir del cual se actualiza la tarifa ⁴ Fórmula no automatizada. El exponente se corresponde con cada año de instalación de la nueva red a partir del año en que se aplica la nueva tarifa. Modificar según corresponda con el número de años previstos de la instalación de la nueva red		