



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Análisis de las alternativas de diseño hidráulico de las
redes del proyecto de modernización de los regadíos de los
sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar
(Valencia).

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

AUTOR/A: García López, José Rafael

Tutor/a: Iglesias Rey, Pedro Luis

Cotutor/a: García Todolí, Salvador

CURSO ACADÉMICO: 2025/2026

Trabajo Fin de Máster

ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS DE DISEÑO HIDRÁULICO DE LAS REDES DEL PROYECTO DE MODERNIZACIÓN DE LOS REGADÍOS DE LOS SECTORES 42, 43 Y 44 DE LA ACEQUIA REAL DEL JÚCAR (VALENCIA)

Intensificación: HIDRÁULICA URBANA

Autor:

JOSÉ RAFAEL GARCÍA LÓPEZ

Tutor:

PEDRO LUIS IGLESIAS REY

Cotutor/es:

SALVADOR GARCÍA TODOLÍ

Febrero, 2026



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título del TFM en español: Análisis de las alternativas de diseño hidráulico de las redes del proyecto de modernización de los regadíos de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia).

Título del TFM en inglés: Analysis of hydraulic design alternatives for the network systems of the irrigation modernization project of Sectors 42, 43 and 44 of the Acequia Real del Júcar (Valencia).

Título del TFM en Valenciano: Anàlisi de les alternatives de disseny hidràulic de les xarxes del projecte de modernització dels regadius dels sectors 42, 43 i 44 de la Séquia Reial del Xúquer (València).

Alumno: José Rafael García López.

Tutor: Pedro Luis Iglesias Rey

Cotutor/es:

Salvador García Todolí

Director experimental: NA

Fecha de Lectura: 02/02/2026

Resumen

En español (máximo 5000 caracteres)

El presente trabajo tiene como objetivo analizar las diferentes alternativas de diseño que pudiesen realizarse en el proyecto "OBRAS MEDIOAMBIENTALES Y DE ADECUACIÓN DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE LOS SECTORES 42, 43 Y 44 DE LA ACEQUIA REAL DEL JÚCAR (VALENCIA)". Para ello se realiza en primer lugar una revisión del proyecto original, verificando cálculos y elaborando los modelos matemáticos de las diferentes soluciones propuestas. A partir de dicha revisión, se plantea la optimización de los diámetros de tubería mediante la evaluación de distintas hipótesis de diseño, garantizando en todo momento el correcto funcionamiento hidráulico de la red, satisfaciendo las restricciones de presiones mínimas tanto en los hidrantes como en las tomas de las parcelas y manteniendo las velocidades dentro del margen definido en el proyecto. A partir de este análisis de la solución original se realiza un estudio de las siguientes alternativas:

- Alternativas sin modificación del trazado.

- o Revisión del diseño actual. Propuesta de correcciones y mejoras.

- o Análisis del diseño mediante el empleo de un sistema por turnos con análisis del empleo de 4,5

6 turnos.

- o Determinación de la garantía de suministro de cada una de las soluciones de riego mediante turnos.

- o Análisis del diseño mediante un riego a la demanda.

- Alternativas con modificación del trazado

- o Análisis de soluciones basadas en la modificación del trazado de las tuberías principales.

- o Análisis de soluciones basadas en la modificación del trazado de las conducciones de distribución de agua a parcela y la ubicación de los hidrantes multiusuario.

- o Análisis de soluciones basadas en la reubicación de los cabezales de riego de cada sector.

Se realizará finalmente un análisis comparativo de las principales soluciones y conclusiones obtenidas. Para ello se dispondrá en todas las alternativas de un modelo matemático para verificar que se satisfacen los criterios de presión y velocidad definidos en el proyecto.

En valenciano (máximo 5000 caracteres)

El present treball té com a objectiu analitzar les diferents alternatives de disseny que pogueren realitzar-se en el projecte "OBRES MEDIAMBIENTALS I D'ADEQUACIÓ DE LES XARXES DE DISTRIBUCIÓ DELS SECTORS 42, 43 I 44 DE LA SÉQUIA REAL DEL XÚQUER (VALÈNCIA)". Per a això es realitza en primer lloc una revisió del projecte original, verificant càlculs i elaborant els models matemàtics de les diferents solucions proposades. A partir d'esta revisió, es planteja l'optimització dels diàmetres de canonada mitjançant l'avaluació de diferents hipòtesis de disseny, garantint en tot moment el correcte funcionament hidràulic de la xarxa, satisfent les restriccions de pressions mínimes tant en els hidrants com en les preses de les parcel·les i mantenint les velocitats dins del marge definit en el projecte. A partir d'esta anàlisi de la solució original es realitza un estudi de les següents alternatives:

- Alternatives sense modificació del traçat.

- o Revisió del disseny actual. Proposta de correccions i millores.

- o Anàlisi del disseny mitjançant l'ús d'un sistema per torns amb anàlisi de l'ús de 4,5, 6 torns.

- o Determinació de la garantia de subministrament de cada una de les solucions de reg mitjançant torns.

- o Anàlisi del disseny mitjançant un reg a la demanda.

- Alternatives amb modificació del traçat

- o Anàlisi de solucions basades en la modificació del traçat de les canonades principals.

- o Anàlisi de solucions basades en la modificació del traçat de les conduccions de distribució d'aigua a parcel·la i la ubicació dels hidrants multiusuari.

- o Anàlisi de solucions basades en la reubicació dels capçals de reg de cada sector.

Es realitzarà finalment una anàlisi comparativa de les principals solucions i conclusions obtingudes.

Per a això es disposarà en totes les alternatives d'un model matemàtic per a verificar que se satisfan els criteris de pressió i velocitat definits en el projecte.

En inglés (máximo 5000 caracteres)

The objective of this study is to analyze the different design alternatives that could be

implemented in the project “ENVIRONMENTAL WORKS AND ADAPTATION OF THE DISTRIBUTION NETWORKS OF SECTORS 42, 43 AND 44 OF THE ACEQUIA REAL DEL JÚCAR (VALENCIA)”. To this end, a review of the original project is first carried out, including the verification of calculations and the development of mathematical models for the different proposed solutions. Based on this review, the optimization of pipe diameters is proposed through the evaluation of different design hypotheses, ensuring at all times the correct hydraulic operation of the network, meeting the minimum pressure constraints both at hydrants and at plot intakes, and maintaining flow velocities within the limits defined in the project. Based on the analysis of the original solution, the following alternatives are studied:

- Alternatives without modification of the layout
 - o Review of the current design. Proposal of corrections and improvements.
 - o Analysis of the design using a rotational irrigation system, considering the use of 4, 5 or 6 turns.
 - o Determination of the supply reliability of each rotational irrigation solution.
 - o Analysis of the design using on-demand irrigation.
 - Alternatives with modification of the layout
 - o Analysis of solutions based on modifications to the layout of the main pipelines.
 - o Analysis of solutions based on modifications to the layout of the water distribution lines to the plots and the location of multi-user hydrants.
 - o Analysis of solutions based on the relocation of the irrigation headworks of each sector.
- Finally, a comparative analysis of the main solutions and conclusions obtained will be carried out. For all alternatives, a mathematical model will be developed to verify compliance with the pressure and velocity criteria defined in the project.

Palabras clave español (máximo 5): Riego, Caudal, Hidrante, Tuberías, Presión.

Palabras clave valenciano (máximo 5): Reg, Cabal, Hidrant, Canonades, Pressió.

Palabras clave inglés (máximo 5): Irrigation, Flow, Hydrant, Pipes, Pressure.

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivos generales	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
1.2.3 Alcances y limitaciones	5
CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICO-CONCEPTUALES	6
2.1 Elementos del proyecto del sistema de riego original	6
2.1.1 Red en alta y red de transporte	6
2.1.2 Cabezales de riego comunitario.....	6
2.1.3 Redes de distribución secundarias	9
2.1.4 Hidrantes multiusuario	9
2.1.5 Redes terciarias.....	10
2.2 Ecuaciones fundamentales para cálculos hidráulicos	10
2.2.1 Ecuación de la energía.....	11
2.3 Parámetros agronómicos de diseño.	13
2.4 Estimación de caudales	14
2.4.1 Caudales por turnos	14
2.4.2 Caudales por riego a la demanda: Método de Clement	14
2.5 Métodos de diseño	15
2.5.1 Dimensionamiento de tuberías por el método de pendiente hidráulica.....	15
2.5.2 Dimensionamiento de válvulas y contadores volumétricos	16
2.6 Topología del sistema de redes de riego	18
2.6.1 Sector 42.....	19
2.6.2 Sector 43.....	21
2.6.3 Sector 44.....	25

2.7 Superficie de parcelas	30
2.7.1 Parcelas del sector 42	30
2.7.2 Parcelas del sector 43	31
2.7.3 Parcelas del sector 44	32
2.8 Aspectos y cálculos económicos.....	33
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....	35
3.2.1 Fase I: Revisión y mejora de proyecto original.....	35
3.2.2 Fase II: Análisis de alternativas sin modificación del trazado.....	36
3.2.3 Fase III: Análisis de alternativas con modificación de trazado.....	38
3.2.4 Fase IV: Comparación de soluciones y alternativas	39
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	40
4.1 Sector 42.....	40
4.1.1 Fase I: Revisión y mejora de proyecto original.....	40
4.1.2 Fase II: Análisis de alternativas sin modificación del trazado.....	43
4.1.2.1 Diseño a la demanda con garantía suministro del 99%.....	43
4.1.2.2 Diseño a la demanda con garantía suministro del 95%.....	44
4.1.2.3 Diseño a la demanda con caudal de diseño para 4 turnos	45
4.1.2.4 Diseño a la demanda con caudal de diseño para 6 turnos	46
4.1.2.5 Calculo de la garantía suministro para las alternativas diseñadas.....	47
4.1.3 Fase III: Análisis de alternativas con modificación de trazado.....	48
4.1.4 Fase IV: Comparación de soluciones y alternativas	51
4.2 Sector 43.....	52
4.2.1 Fase I: Revisión y mejora de proyecto original	52
4.2.2 Fase II: Análisis de alternativas sin modificación del trazado.....	55
4.2.2.1 Diseño a la demanda con garantía suministro del 99%.....	55
4.2.2.2 Diseño a la demanda con garantía suministro del 95%.....	56
4.2.2.3 Diseño a la demanda con caudal de diseño para 4 turnos	57

4.2.2.4 Diseño a la demanda con caudal de diseño para 6 turnos	58
4.2.2.5 Calculo de la garantía suministro para las alternativas diseñadas.....	59
4.2.3 Fase III: Análisis de alternativas con modificación del trazado.....	60
4.2.4 Fase IV: <i>Comparación de soluciones y alternativas</i>	63
4.3 Sector 44.....	64
4.3.1 Fase I: <i>Revisión y mejora de proyecto original</i>	64
4.3.2 Fase II: <i>Análisis de alternativas sin modificación del trazado</i>	67
4.3.2.1 Diseño a la demanda con garantía suministro del 99%.....	67
4.3.2.2 Diseño a la demanda con garantía suministro del 95%.....	68
4.3.2.3 Diseño a la demanda con caudal de diseño para 4 turnos	69
4.3.2.4 Diseño a la demanda con caudal de diseño para 6 turnos	71
4.3.2.5 Calculo de la garantía de suministro para las alternativas diseñadas.	72
4.3.3 Fase III: Análisis de alternativas con modificación del trazado.....	73
4.3.4 Fase IV: <i>Comparación de soluciones y alternativas</i>	76
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS	78
5.1 Sector 42.....	78
5.1.1 <i>Revisión y mejora de proyecto original</i>	78
5.1.2 <i>Análisis de alternativas sin modificación del trazado</i>	81
5.1.3 <i>Análisis de alternativas con modificación del trazado</i>	83
5.2 Sector 43.....	84
5.2.1 <i>Revisión y mejora de proyecto original</i>	84
5.2.2 <i>Análisis de alternativas sin modificación del trazado</i>	86
5.2.3 <i>Análisis de alternativas con modificación del trazado</i>	87
5.3 Sector 44.....	88
5.3.1 <i>Revisión y mejora de proyecto original</i>	88
5.3.2 <i>Análisis de alternativas sin modificación del trazado</i>	91
5.3.3 <i>Análisis de alternativas con modificación del trazado</i>	93

<i>5.4 Análisis final de las alternativas</i>	<i>94</i>
<i>CONCLUSIONES.....</i>	<i>95</i>
<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	<i>97</i>
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	<i>98</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS.....</i>	<i>100</i>

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se hace más relevante una gestión eficiente del agua debido a fenómenos que provocan episodios más frecuentes de escasez del recurso hídrico, inclusive en sitios caracterizados por tener enorme abundancia del preciado líquido. En el caso particular de la provincia de Valencia, uno de los sectores económicos más afectados por este problema es el sector agrícola, el cual se ha visto muy impactado por las recientes sequías que han provocado una reducción en la disponibilidad de agua para el riego de los cultivos de los alimentos. Tomando en cuenta toda esta situación, se ha decidido analizar en este trabajo distintas soluciones y alternativas para la mejora del sistema de redes de riego de los sectores 42, 43 y 44 de la Comunidad de Regantes de la Acequia Real del Júcar en la provincia de Valencia, considerando el proyecto “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, el cual estudia diversas actuaciones para la modernización del sistema de regadío de dichos sectores.

Este trabajo es descrito en el capítulo I, el cual establece los antecedentes que justifican dicho estudio y sus objetivos. De la misma forma se establecen los alcances y limitaciones del análisis realizado en este trabajo. En el capítulo II se detallan los fundamentos teóricos detrás del análisis de las alternativas propuestas en este trabajo y se presentan los datos tomados del proyecto anteriormente mencionado, que nos servirán de base para realizar un análisis de manera adecuada. En el capítulo III se describen las fases que componen la metodología de análisis de estudio, la cual consiste en una revisión y comprobación del diseño original, que será comparado con distintas alternativas planteadas. Dichas alternativas consistirán en diseños con y sin modificaciones en el trazado de la red. La metodología de análisis anteriormente mencionada nos ayudará en el proceso de propuesta de alternativas que sean viables desde el punto de vista técnico y económico, disponiendo de diferentes sistemas de diseño para la modernización de los regadíos, siendo uno de riego a la demanda y el otro es el riego por turnos. Son dos alternativas que llevan asociados costes y riesgos, y cuyo alcance es analizado gracias al proyecto seleccionado. También se usan simulaciones de modelos matemáticos con el software EPANET que tratan de representar lo mejor posible la topología y el comportamiento hidráulico de dichas redes y la determinación de la garantía de suministro de estas. Por último, los capítulos IV y V presentan los resultados del estudio y las reflexiones que conforman el análisis de dichos resultados respectivamente. Este análisis nos permitirá llegar a las mejores conclusiones respecto a las soluciones propuestas de mejora del sistema de redes de riego de los sectores 42, 43 y 44 de la Comunidad de Regantes de la Acequia Real del Júcar.

CAPÍTULO I: MARCO GENERAL

1.1 Antecedentes

La Acequia Real del Júcar (ARJ) fue construida por primera vez en el siglo XIII durante el reinado del Rey D. Jaime. Luego fue nuevamente construida en el siglo XVII durante el reinado de Carlos III. Actualmente riega aproximadamente 20.358,34 hectáreas de frutales, cítricos, arrozal y huerta con aguas que parten del azud de Antella en el río Júcar y son conducidas hasta la Acequia de Favara en el poblado de Albal, al sur de Valencia, luego de cruzar unos 20 municipios después de realizar un recorrido de 54 kilómetros. Dichas hectáreas están agrupadas en 45 sectores de riego gestionadas por la comunidad de regantes de la Acequia Real del Júcar.

El sistema de riego de la Acequia Real del Júcar ha sido estructurado en cuatro grados: a) Red en alta, b) Red de transporte o principal que llega hasta los cabezales de riego, c) redes de distribución que parten desde los hidrantes de riego hasta los hidrantes (secundarias) y desde hidrantes a las parcelas (terciarias) y d) instalación en parcela.

A cada uno de los componentes del sistema de riego anteriormente mencionados se le han realizado mejoras a través de distintos proyectos para hacer el sistema de riego mucho más eficiente. El proyecto “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)” fue redactado con el fin de mejorar el riego de los sectores 42, 43 y 44, los cuales son objeto de este trabajo. A continuación, se ilustra en la Figura 1 la zona regable donde se ubican los sectores 42, 43 y 44:



Figura 1. Zona regable de la ARJ, sectores 42, 43 y 44 y Red en Alta (Memoria. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023).

Dicho proyecto definió, justificó y valoró las actuaciones necesarias para las obras de modernización de los regadíos con la ejecución de los cabezales de riego y redes de distribución secundarias y terciarias de los sectores 42, 43 y 44 de la Comunidad de Regantes de la ARJ.

La delimitación geográfica de los sectores objeto de estudio se muestra en la Figura 2 y se describe a continuación:

- Sector 42: la superficie regable está ubicada en los términos municipales de Picassent y Silla. Sus límites son el sector 43 al norte, la carretera A-7 al sur, la propia Acequia Real del Júcar al oeste y la carretera V-31 al este.
- Sector 43: la superficie regable está ubicada en los términos municipales de Alcàsser, Beniparrell y Silla. Esta limitado por el sector 44 al norte, por el sector 42 al sur, por el barrando de Picassent al oeste y por los polígonos industriales de Beniparrell y Silla al este.
- Sector 44: la superficie regable está ubicada en los términos municipales de Albàl, Beniparrell y Alcàsser. Esta limitado al norte por el término municipal de Albàl, al sur por el sector 43, al oeste con la línea del AVE Valencia- Alicante y al este por los polígonos industriales de Beniparrell y Albàl y la carretera CV-33.

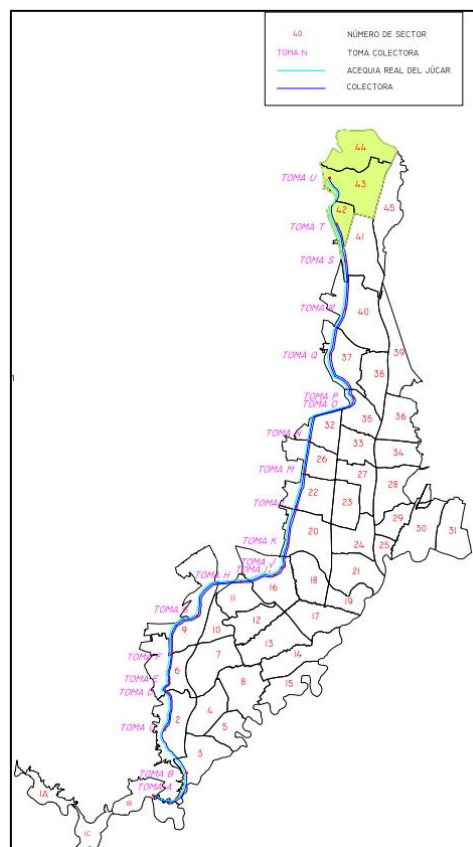


Figura 2. Emplazamiento de las obras en los sectores 42,43 y 44 de ARJ (Memoria. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos generales

- 1) Realizar una revisión y comprobación de los cálculos hidráulicos de las redes de distribución secundarias y terciarias del proyecto “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”.
- 2) Optimizar el dimensionamiento de dichas redes, considerando distintos criterios de diseño a la demanda o por turnos y modificando el trazado de la red.

1.2.2 Objetivos específicos

- 1) Comprobar los cálculos hidráulicos del proyecto “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)” y realizar los ajustes necesarios en caso de encontrarse alguna discrepancia en dichos cálculos siguiendo los criterios aplicados.
- 2) Analizar la red de riego del proyecto original, considerando turnos por uniformidad de caudales en los hidrantes.
- 3) Redimensionar la red de riego de cada sector analizado, optimizando únicamente los diámetros de está, considerando criterios de diseño a la demanda con diferentes garantías de suministro.
- 4) Redimensionar dicha red optimizando únicamente los diámetros de está, considerando 4 y 6 turnos de riego diarios.
- 5) Calcular la garantía de suministro de las redes del proyecto original, del ajuste mínimo del proyecto original y de los diseños de la red con diferentes tipos de turnos.
- 6) Optimizar dicha red modificando el trazado de dicha red y cumpliendo con los requerimientos hidráulicos establecidos en el proyecto original, utilizando el software EPANET.
- 7) Seleccionar la alternativa más viable considerando criterios hidráulicos y económicos.

1.2.3 Alcances y limitaciones

El alcance de este estudio abarca los sectores de riego 42, 43 y 44 de la comunidad de regantes de Acequia Real del Júcar y no contempla otros sectores debido a que el proyecto tomado como base solo considera dichos sectores.

El estudio se limita al análisis de las redes secundarias y terciarias de los sectores de riego mencionados, desde los cabezales de riego hasta las tomas en parcelas. La red en alta y la red de transporte no se consideran, salvo para los datos de presiones en cabecera.

El único método de dimensionamiento es el método de pendiente hidráulica, pero solo considerando la opción de normalización de diámetros superiores o inferiores al diámetro teórico. Otras combinaciones para la elección del diámetro como desdoblamientos o combinaciones híbridas de diámetros superiores e inferiores se dejan para otros estudios.

No se realizarán análisis en régimen transitorio, por lo que el dimensionamiento de elementos de protección queda fuera del alcance de análisis de este trabajo, el cual se limitará al análisis en régimen permanente.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICO-CONCEPTUALES

2.1 Elementos del proyecto del sistema de riego original

El sistema de riego estudiado por el proyecto “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)” está compuesto por los siguientes elementos:

2.1.1 Red en alta y red de transporte

La red en alta es aquella conducción presurizada que sirve de derivación de agua desde el embalse de Tous paralelo al canal principal de la Acequia Real del Júcar.

La red de transporte es aquella que deriva agua de la red en alta hasta los cabezales de riego.

2.1.2 Cabezales de riego comunitario

Para cada sector de riego, se ha previsto la instalación de un cabezal de riego comunitario de los cuales las redes de distribución secundarias parten. Cada cabezal de riego tiene los siguientes componentes:

- Cabezal de riego comunitario sector 42.

Este cabezal de riego se abastece desde la tubería de la red de transporte de DN 400 mm. Al principio del cabezal hay una válvula de mariposa motorizada, esta seguido de un filtro cazapiedras. Ambos elementos tienen un diámetro nominal DN 400 mm.

Luego, se dispone de un filtro automático autolimpiante DN 200 mm, un caudalímetro electromagnético DN 300 mm y de una válvula de seccionamiento DN 400 mm al término del colector. Este colector general abastece las redes de distribución secundarias por gravedad (con la presión proveniente desde la Red de Transporte), sin necesidad de aporte adicional de presión.

También se han previsto transductores de presión, manómetros, carretes telescópicos de desmontaje y ventosas necesarios para las labores de explotación y mantenimiento.

Como sistema de abonado para ambos sectores se ha previsto de un depósito de 15 m³ y uno de 5 m³. Cada depósito está equipado con patas que abastecen al equipo de inyección de abono.

También se ha previsto de un bypass a la válvula de entrada que mantiene las redes en carga cuando no se lleva a cabo el riego o cuando es necesario regar algunos cultivos de hortícolas en invierno. Se han previsto conducciones en DN 150 mm que faciliten el suministro de agua filtrada sin abonado para los cultivos ecológicos del sector 42, que consta de una derivación y una válvula de compuerta de DN150 mm, un contador Woltman de DN100 y un colector DN 150mm.

La vista planta de la instalación hidráulica y electromecánica prevista en el cabezal del sector 42 ilustrada en la Figura 3 se muestra a continuación:

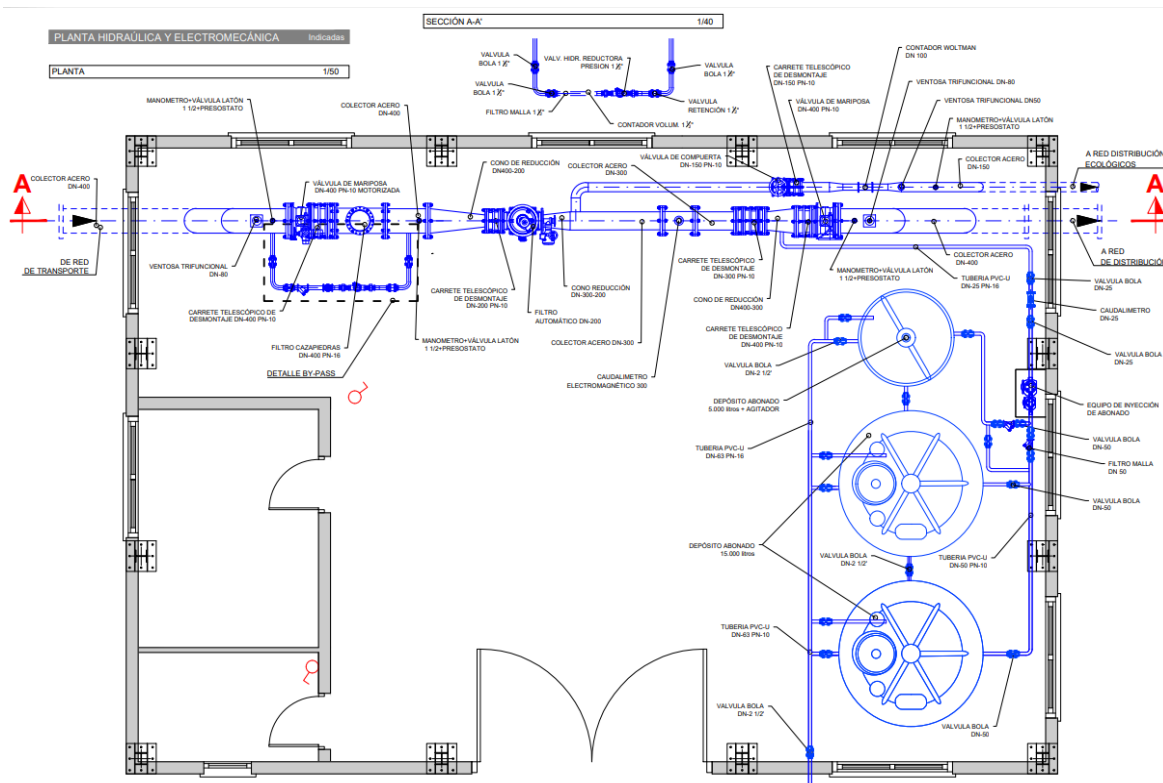


Figura 3. Vista en planta de instalación hidráulica y electromecánica cabezal sector 42 (Memoria. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023).

- Cabezal de riego comunitario sector 43.

El cabezal se abastece desde el conducto de la red de transporte de DN 500 mm. Al principio del cabezal hay una válvula de mariposa motorizada de DN 500 mm, sucedida de un filtro cazapiedras de DN 500 mm. Tras este, se encuentra un filtro automático autolimpiante DN 300 mm, un caudalímetro electromagnético de DN 300 mm y una válvula de seccionamiento de DN 500 mm al final del colector. Este colector general abastece la red de distribución por gravedad (con la presión proveniente desde la Red de Transporte), sin necesidad de aporte adicional de presión.

Al igual que el cabezal del sector 42 se han previsto transductores de presión, manómetros, carretes telescópicos de desmontaje y ventosas necesarios para las labores de explotación y mantenimiento.

Como sistema de abonado para ambos sectores se ha previsto de tres depósitos de 15 m³. Cada depósito está equipado con patas que abastecen al equipo de inyección de abono. De la misma forma se ha previsto de un bypass a la válvula de entrada que mantiene las redes en carga cuando no se lleva a cabo el riego o cuando es necesario regar algunos cultivos de hortícolas en invierno.

La vista en planta de la instalación hidráulica y electromecánica prevista en el cabezal del sector 43 se ilustra en la Figura 4 mostrada a continuación:

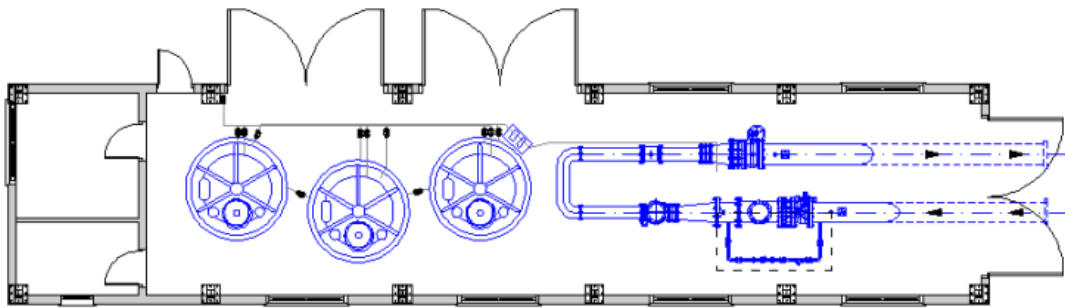


Figura 4. Vista en planta de instalación hidráulica y electromecánica cabezal sector 43 (Memoria. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023).

- Cabezal de riego comunitario sector 44.

El cabezal se abastece desde la conducción de la red de transporte de DN 500 mm. Al principio del cabezal hay válvula de mariposa motorizada DN 500 mm, tras la cual se encuentra un filtro cazapiedras en DN 500 mm. A este filtro lo sucede un filtro automático autolimpiante de DN 400 mm, un caudalímetro electromagnético de DN 400 mm y una válvula de seccionamiento de DN 500 mm al final del colector de distribución DN 500 mm. Este colector general abastece la red de distribución por gravedad (con la presión proveniente desde la Red de Transporte), sin necesidad de aporte adicional de presión.

Al igual que los cabezales del sector 42 y 43 se han previsto transductores de presión, manómetros, carretes telescópicos de desmontaje y ventosas necesarios para las labores de explotación y mantenimiento.

Como sistema de abonado para ambos sectores se ha previsto de tres depósitos de 15 m³. Cada depósito está equipado con patas que abastecen al equipo de inyección de abono.

De la misma forma se ha previsto de un bypass a la válvula de entrada que mantiene las redes en carga cuando no se lleva a cabo el riego o cuando es necesario regar algunos cultivos de hortalizas en invierno.

Se han previsto conductos de DN 150 mm que faciliten el suministro de agua filtrada sin abonado para los cultivos ecológicos del sector 44, compuesta por una válvula de compuerta de DN 150 mm, contador Woltman de DN 100mm y un colector de DN 150mm.

En la Figura 5 se muestra vista en planta de instalación hidráulica y electromecánica prevista en el cabezal del sector 44:

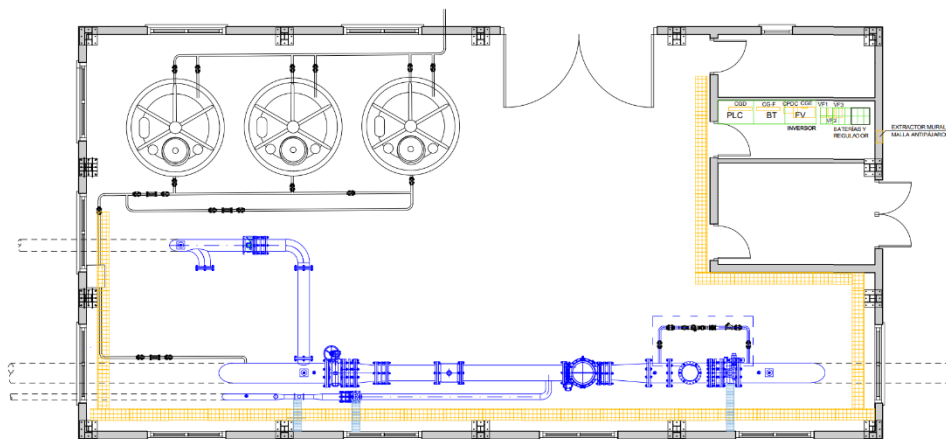


Figura 5. Vista en planta de instalación hidráulica y electromecánica cabezal sector 42 (Memoria. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023).

2.1.3 Redes de distribución secundarias

Las redes secundarias suministran de agua a los hidrantes multiusuario en los que están agrupados las parcelas que componen cada uno de los sectores de riego. Estas redes parten desde los cabezales de riego hasta dichos hidrantes. Las tuberías de dichas redes se han previsto que serán de PVC-O.

2.1.4 Hidrantes multiusuario

El hidrante está compuesto de una acometida que parte desde las redes de distribución secundarias en polietileno con soldadura a tope, una pieza brida anti-tracción de DN 110, una salida con un manómetro y una salida equipada con una válvula de bola y un acople tipo racor Barcelona, a partir del cual se dispone de toma de agua para mantenimiento. Tras esta pieza se sitúa la válvula de seccionamiento de DN 100 tras la cual se sitúa un filtro metálico de malla de DN 100 con apertura mediante palometilla y grado de filtración de 3 mm.

Después del filtro hay un colector de DN 160 de polipropileno en el cual se dispone un total de 16 tomas en total.

De estas tomas parten las tomas correspondientes a las parcelas de riego, las cuales están compuestas de una válvula de cerramiento, un contador volumétrico y una válvula hidráulica para apertura y cierre. También se incluye un manómetro y una ventosa trifuncional en el colector. Para el control y telemando a nivel de tomas, los hidrantes cuentan con terminales remotos de campo. Estos terminales también sirven para la lectura de los contadores. El detalle de los hidrantes se ilustra en la Figura 6 mostrada a continuación:

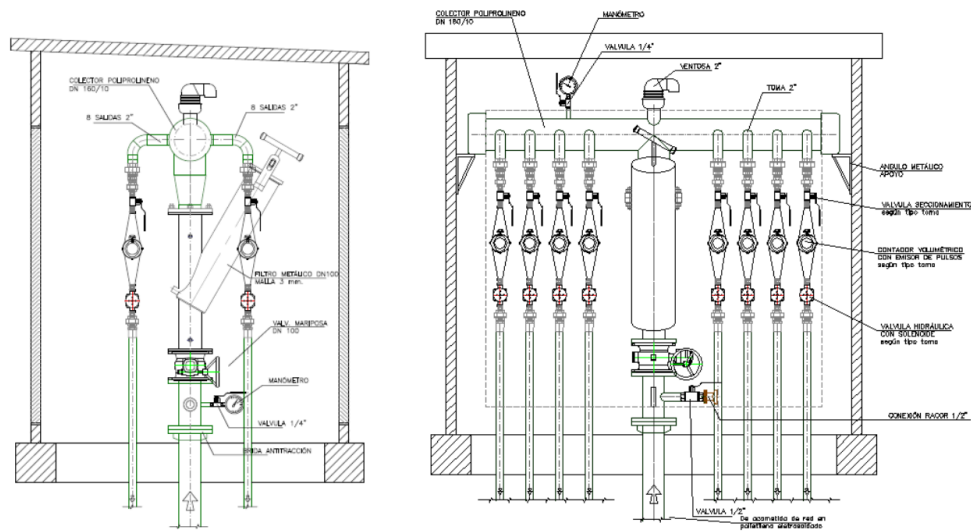


Figura 6. Secciones de hidrantes multiusuarios del proyecto (Memoria. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023).

2.1.5 Redes terciarias

Las redes terciarias son los conductos que parten desde cada una de las tomas de los hidrantes multiusuarios y suministran de agua potable a cada una de las parcelas de riego de los sectores.

2.2 Ecuaciones fundamentales para cálculos hidráulicos

Para suministrar los caudales de agua demandados a través de las tuberías es necesario que dicho fluido tenga la energía necesaria para que se produzca el flujo de este desde un punto a otro. Dicha energía, que se expresa hidráulicamente como altura, se manifiesta en forma de energía de presión (altura de presión), energía potencial (altura o cota topográfica) y/o energía cinética (altura de velocidad). Mientras se produce el flujo de agua en las redes, se producen pérdidas de energía en el fluido, debido a la fricción con las paredes de las tuberías (pérdidas continuas o por fricción) y a discontinuidades en la conducción (pérdidas localizadas o menores).

Tanto la energía como el caudal circulante entre dos puntos de una red, que son indispensables para garantizar el suministro de agua, se pueden calcular con la ecuación de la energía y ecuación de continuidad respectivamente.

2.2.1 Ecuación de la energía

Sea una instalación, con dos puntos (1 y 2) conectados por una tubería, la energía total en cada uno de los puntos se expresa con la ecuación de la energía mostrada a continuación:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{12} \quad (1)$$

Donde:

z_1 = Altura topográfica del punto 1.

z_2 = Altura topográfica del punto 2.

$\frac{p_1}{\gamma}$ = Presión del punto 1.

$\frac{p_2}{\gamma}$ = Presión del punto 2.

$\frac{v_1^2}{2g}$ = Altura de velocidad en el punto 1.

$\frac{v_2^2}{2g}$ = Altura de velocidad en el punto 2.

h_{12} = Pérdidas de energía entre los puntos 1 y 2.

La ecuación de la energía es una extensión de la ecuación de Bernoulli, la cual a su vez está basada en la ecuación de la conservación de la energía mecánica, pero aplicada al flujo de un fluido, en la que se agregan las pérdidas de energía (Mott, 2006).

Dichas pérdidas se expresan con signo positivo. En este trabajo, las pérdidas continuas en las tuberías del modelo se calcularán en EPANET con la ecuación de Darcy-Weisbach mostrada a continuación:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (2)$$

Donde:

h_f = Pérdidas por fricción en tuberías.

f = Coeficiente de fricción.

L = Longitud de las tuberías.

D = Diámetro de las tuberías.

v = Velocidad media del agua en la tubería.

g = Aceleración de la gravedad.

El coeficiente de fricción se calcula con la ecuación de Swamee-Jain, la cual se muestra a continuación:

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{D}{\epsilon} \right)} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (3)$$

Donde:

f = Coeficiente de fricción.

D = Diámetro de tubería.

N_R = Número de Reynolds.

ϵ = Rugosidad de tubería.

El número de Reynolds se calcula con la siguiente expresión:

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} = \frac{vD}{\nu} \quad (4)$$

Donde:

v = Velocidad media del agua en la tubería.

D = Diámetro de tubería.

ρ = Densidad del agua (1000 kg/m³).

η = Viscosidad dinámica del agua.

ν = Viscosidad cinemática del agua (1.1 x 10⁻⁶ m²/s)

Las pérdidas locales son mucho menores que las pérdidas continuas (Iglesias Rey & Martínez Solano, 2012), pero en un sistema de riego, las pérdidas localizadas producidas por las válvulas hidráulicas, contadores y filtros son considerables, por lo que se deben calcular. Estas pérdidas localizadas se pueden calcular con la siguiente ecuación:

$$h_L = k \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

Donde:

h_L = Pérdidas por fricción en tuberías.

k = Coeficiente de pérdidas menores del accesorio.

v = Velocidad del agua en la tubería.

g = Aceleración de la gravedad.

En los hidrantes multiusuario las pérdidas locales en las válvulas hidráulicas y contadores son significativos, por lo que estos accesorios deben dimensionarse. Dicho dimensionamiento se explicará más adelante

En otro sentido, la velocidad del agua en un sistema de riego es muy pequeña, lo cual implica que la altura o energía cinética que depende de la velocidad puede despreciarse (Arregui de la Cruz et al., 2017). Por otro lado, la suma de la altura topográfica y la de presión es la altura piezométrica. Considerando todo lo anterior y que los puntos 1 y 2 mencionados anteriormente son los nudos i y j respectivamente, conectados por una línea cualquiera en nuestro modelo. la ecuación de la energía se reduce a la siguiente ecuación:

$$h_{ij} = H_i - H_j = h_{ij}(Q_{ij}) \quad (6)$$

Donde:

H_i = Altura piezométrica en nudo i.

H_j = Altura piezométrica en nudo j.

Q_{ij} = Caudal circulando en la línea que conecta los nudos i y j.

h_{ij} = Pérdidas de altura en el fluido en función del caudal Q_{ij} .

Esta representación de la ecuación de la energía es la que usa EPANET para el cálculo de las presiones y alturas piezométricas en los nudos conectados por líneas (Rossman & Martínez Alzamora, 2001). Las pérdidas por fricción se calculan con la ecuación de Darcy-Weisbach.

Los hidrantes multiusuarios, cabezales y tomas a parcelas serán representados como nudos.

2.3 Parámetros agronómicos de diseño.

Estos parámetros permiten conocer las demandas de agua de las parcelas de cada uno de los sectores de riego analizados según el área de superficie regable y calcular la probabilidad de apertura de las tomas.

Para determinar los caudales de riego hay que tener en cuenta ciertos parámetros agronómicos, que según el proyecto “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)” son los siguientes:

- Necesidades totales de agua de riego (NTr) = 42,83 m³/Ha/día
- Tiempo de riego (tr) = 3 horas/turno/día
- Frecuencia de riego (Fr) = 1 día

- Caudal instantáneo por unidad de superficie (Q_i) = $14,28 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{ha} = 3,97 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$
- Jornada efectiva de riego (JER) = 18 horas

2.4 Estimación de caudales

2.4.1 Caudales por turnos

Para un riego por turnos, el caudal demandado por cada parcela a través de las tomas es igual al producto del caudal instantáneo por unidad de superficie (Q_i) por el área de la superficie regable de cada parcela, mientras que el caudal demandado por los hidrantes es igual a la suma de los caudales demandados por las parcelas alimentadas por cada hidrante dividido entre el número de turnos establecido. Esto quiere decir que los turnos son por tomas en parcelas y dentro de cada hidrante hay varios turnos de riego.

Por último, el caudal demandado por cada sector por medio de su cabezal de riego es igual al producto de las necesidades totales de agua de riego (N_{Tr}) por el área de la superficie de cada sector por 24 horas dividido entre el producto del número de turnos seleccionado por el tiempo y la frecuencia de riego.

Estos caudales demandados son los caudales de diseño que se utilizan en la variación del método de pendiente hidráulica, el cual será explicado más adelante.

2.4.2 Caudales por riego a la demanda: Método de Clement

Para el dimensionamiento de las redes de riego a la demanda, los caudales de diseño se calculan con el método de Clement (Clément, 1966), el cual se puede expresar en la siguiente ecuación:

$$Q_{diseño} = \sum_{i=1}^n p_i q_i + U \sqrt{\sum_{i=1}^n p_i (1 - p_i) q_i^2} \quad (7)$$

Donde:

$Q_{diseño}$ = Caudal de diseño para cada tramo de tubería secundarias.

p_i = Probabilidad de apertura de cada toma.

q_i = Caudal demandado por cada parcela.

U = Factor variable con relación a la garantía de suministro empleada

La probabilidad de funcionamiento de cada toma se calcula como el cociente del tiempo de riego entre la jornada efectiva de riego (Planells et al., 1999). Este parámetro indica la probabilidad de que una toma en parcela este abierta.

Para calcular el caudal de diseño para cada tramo de tubería secundaria se toman en cuenta los caudales demandados por las parcelas (q_i) que son alimentadas por dicha tubería. Los caudales demandados por las parcelas se calculan de la misma forma que en el apartado 2.4.1.

El valor de U se obtiene de la función de distribución normal o campana de Gauss de media 0 y varianza 1, asociado a la garantía de suministro establecida (% GS).

2.5 Métodos de diseño

2.5.1 Dimensionamiento de tuberías por el método de pendiente hidráulica

El propósito de este método de dimensionamiento de redes es seleccionar el diámetro de una serie de conductos intentando conservar la misma pendiente hidráulica en todas ellas, garantizando la presión de servicio requerida en la red con diámetros óptimos (Fuertes Miquel et al., 2003). Al suponer que queremos obtener el diámetro de una tubería i que por el que circula un caudal q_i con el fin de que el valor de la pendiente hidráulica sea j^* , el diámetro resultante usando la ecuación de pérdidas de Darcy es:

$$D_i = \sqrt[5]{\frac{8 f_i Q_i^2}{\pi^2 g j^*}} \quad (8)$$

Donde:

D_i = Diámetro calculado

f_i = Factor de fricción

Q_i = Caudal de diseño

j^* = Pendiente hidráulica de referencia

g = Aceleración de la gravedad

El problema radica en seleccionar el valor de la pendiente hidráulica de referencia y la serie de tuberías a dimensionar.

Como nuestra red de riego es una red ramificada por gravedad, el dimensionamiento es realizado siguiendo una sucesión de rutas de tubería, empezando por la ruta que une la cabecera de la red con el nudo de consumo i que resulta más crítico respecto a la presión mínima de servicio y por consiguiente, dicha ruta es la ruta crítica.

El nudo crítico es aquel que tenga el valor mínimo de la pendiente hidráulica disponible y la ruta crítica estará compuesto por las tuberías que unen el nudo crítico con la cabecera. Dicha pendiente se calcula con la siguiente ecuación:

$$j_{disp,i} = \frac{h_f \text{ admisible } (0 \rightarrow i)}{\sum_{j \in S_i} L_j} = \frac{H_0 - H_{min,i}}{\sum_{j \in S_i} L_j} = \frac{H_0 - \left(z_i + \frac{P_{min,i}}{\gamma} \right)}{\sum_{j \in S_i} L_j} \quad (9)$$

Donde:

H_0 = altura piezométrica en cabecera

z_i = Cota del nudo i

$\frac{P_{min,i}}{\gamma}$ = Presión mínima de servicio en el nudo i

L_j = Longitud de tubería desde cabecera a nudo i

$j_{disp,i}$ = Pendiente hidráulica disponible en ruta entre cabecera y nudo i

Para la elección del diámetro de la solución, se limitó únicamente a 2 posibles soluciones las cuales fueron normalizando el diámetro teórico calculado con diámetros menores y normalizando el diámetro teórico con diámetros mayores. Es importante destacar que se pueden realizar múltiples soluciones haciendo combinaciones y no necesariamente normalizando con diámetros inferiores y superiores. Por lo tanto, en el alcance de este trabajo se dimensionaron las redes con esta variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida.

2.5.2 Dimensionamiento de válvulas y contadores volumétricos

Para el dimensionamiento de válvulas hidráulicas y los contadores volumétricos se establece un listado de tomas en función del caudal nominal de dichas válvulas y contadores. Dicho listado se muestra a continuación:

Tabla 1. Tomas en función del caudal nominal de válvulas y contadores (Anejo 11.- Hidrantes y Acometidas. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023)

Tipo de Toma	Caudal (m ³ /h)	Contador Volumétrico	Válvula Hidráulica
Toma A	$Q \leq 2,4$	DN 20 mm	DN 1"
Toma B	$2,4 < Q \leq 4,8$	DN 25 mm	DN 1 ½"
Toma C	$4,8 < Q \leq 7,1$	DN 30 mm	DN 1 ½"
Toma D	$7,1 < Q \leq 11,9$	DN 40 mm	DN 1 ½"
Toma E	$11,9 < Q \leq 29,8$	DN 50 mm	DN 2"
Toma F	$29,8 < Q \leq 47,6$	DN 65 mm	DN 2 ½"

Para calcular las pérdidas locales de la válvula hidráulica y del contador volumétrico se emplea el coeficiente K_v suministrado por las marcas comerciales de estos. A partir de este coeficiente se calcula la pérdida de carga en función del caudal.

En la Figura 7 y Figura 8, se muestran las gráficas que relacionan las pérdidas de carga con el caudal:

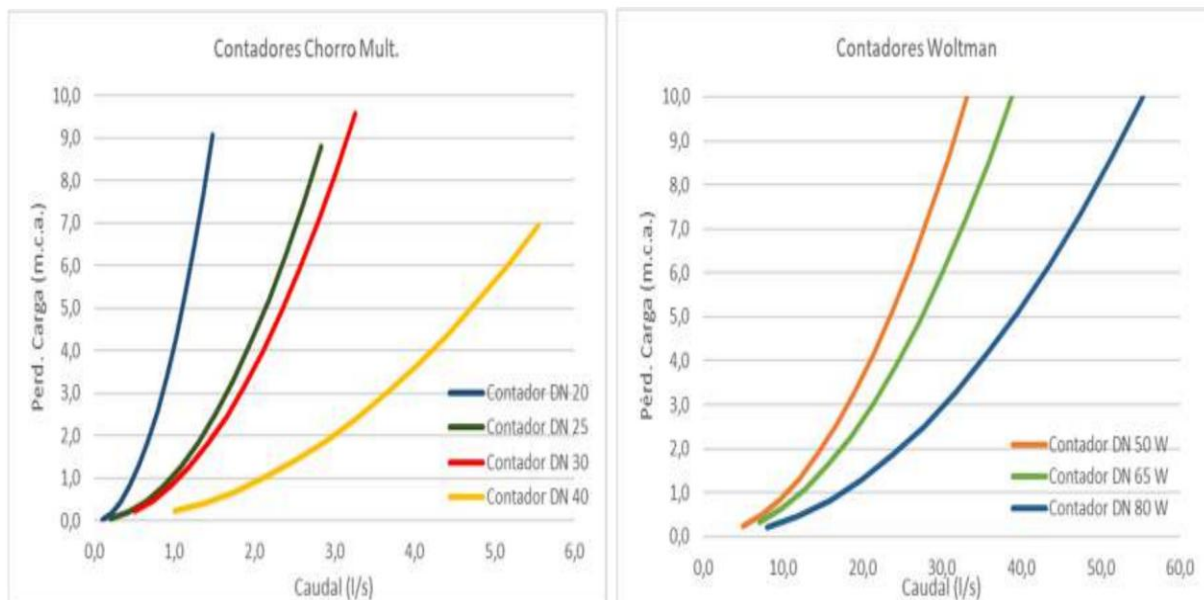


Figura 7. Pérdidas de carga en función del caudal de contadores (Anejo 11.- Hidrantes y Acometidas. "Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)", 2023)

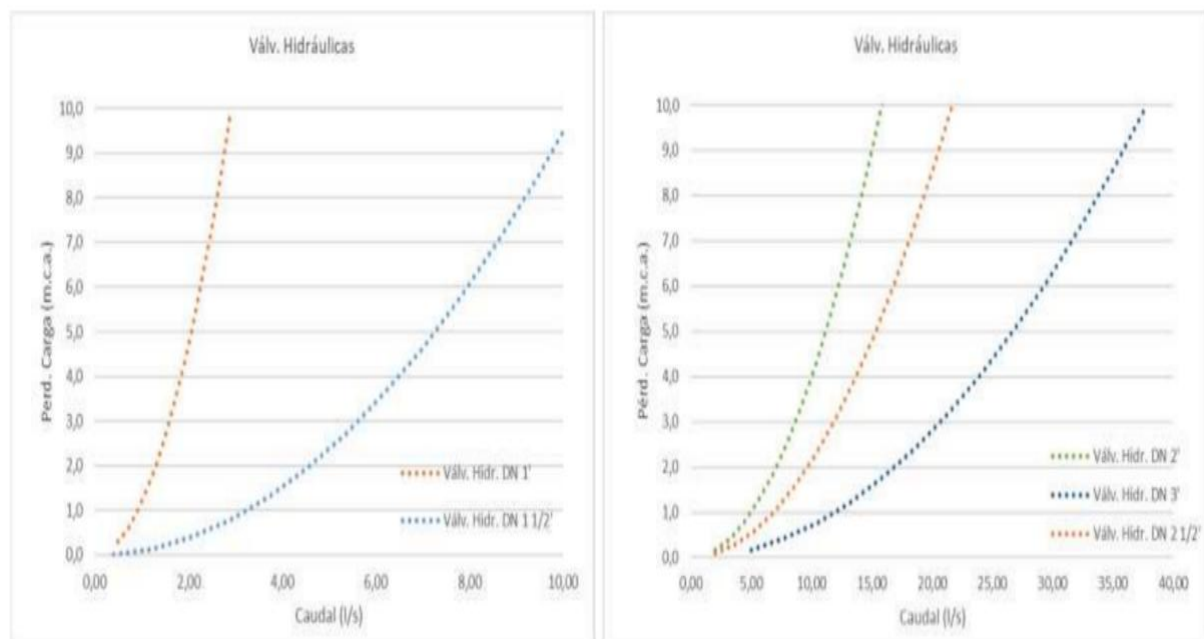


Figura 8. Pérdidas de carga en función del caudal de válvulas hidráulicas (Anejo 11.- Hidrantes y Acometidas. "Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)", 2023)

2.6 Topología del sistema de redes de riego

La delimitación de cada uno de los sectores de riego se ilustra en la Figura 9, en la que se pueden ver las tomas de la red en alta, los cabezales de riego y la red de transporte. Esta figura se muestra a continuación:

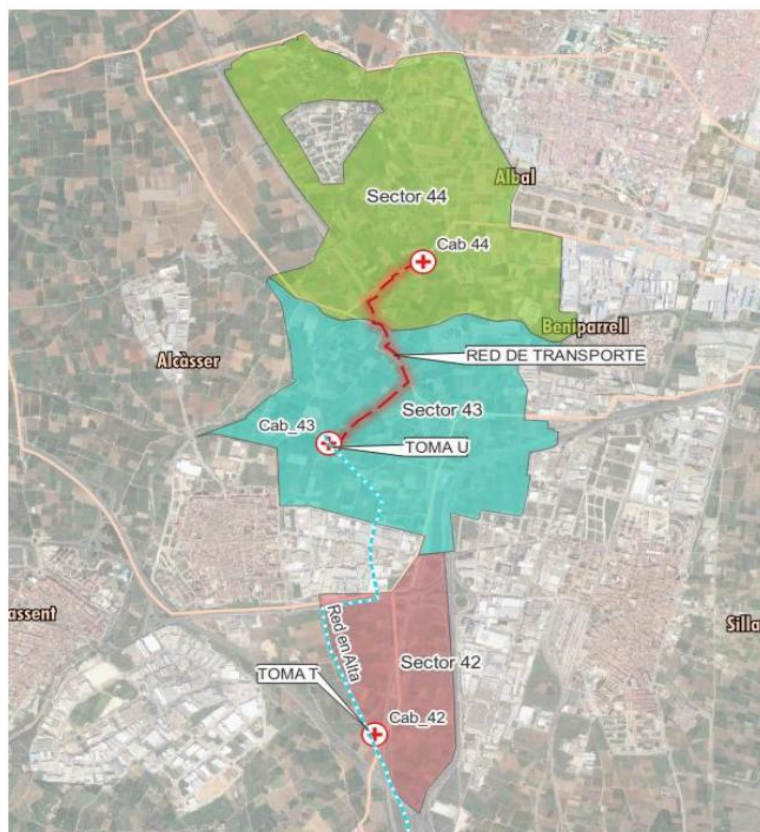


Figura 9. Planta distribución sectores Acequia Real del Júcar. Fuente: Anejo 10.- Cálculos hidráulicos del proyecto "Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)".

El sector 42 se abastece a través de la Toma T de la Red en Alta, por medio de una red de transporte de 80 metros, debido a que el cabezal se encuentra cerca de dicha toma, de la que se abastece. De este cabezal nace la red de distribución secundaria que abastecerán los hidrantes. La Toma T tiene una altura piezométrica disponible de 55,89 m.

Los sectores 43 y 44 se abastecen de la Toma U de la Red en Alta por medio de una red de transporte. Los cabezales de riego de los sectores 43 y 44 están conectados a dicha red de transporte. De estos cabezales parten las redes de distribución secundarias. La toma U tiene una altura piezométrica disponible de 57,94 m.

2.6.1 Sector 42

En la Figura 10 se observa la topología de la red original, destacando las conducciones secundarias hasta los hidrantes. En la Tabla 2 se detallan las cotas para cada hidrante, y en la Tabla 3 se identifica las tuberías secundarias con su longitud y el diámetro nominal.

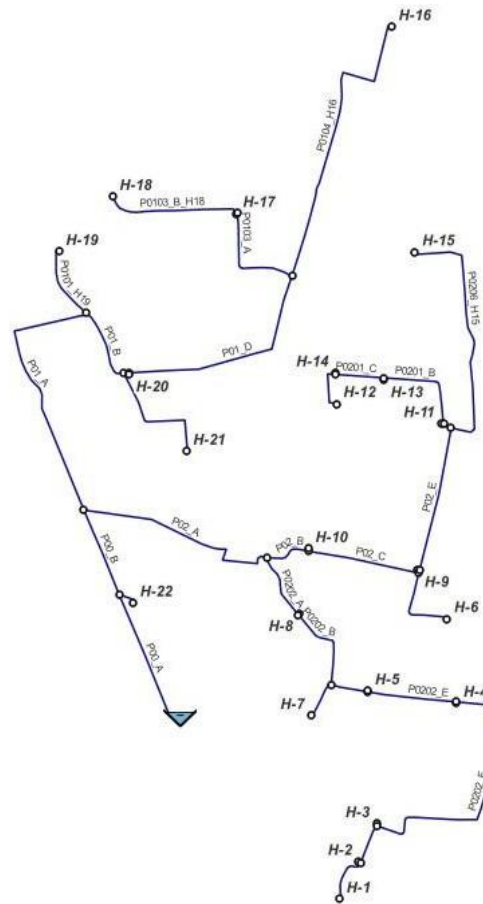


Figura 10. Topología red distribución secundaria sector 42. Fuente: Anejo 10.- Cálculos hidráulicos del proyecto “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”.

Tabla 2. Elevación de hidrantes del sector 42 (Anejo 10.- Cálculos hidráulicos. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2025)

HIDRANTE	Cota (m)
H-01	20.11
H-02	18.51
H-03	17.53
H-04	17.86
H-05	18.59
H-06	17.86
H-07	18.35
H-08	19.69
H-09	18.25
H-10	20.34
H-11	18.71

HIDRANTE	Cota (m)
H-12	20.43
H-13	19.47
H-14	20.55
H-15	18.11
H-16	17.6
H-17	20.78
H-18	23.36
H-19	24.04
H-20	22.64
H-21	21.56
H-22	22.07

Tabla 3. Dimensiones de tuberías originales del sector 42 (Anejo 10.- Cálculos hidráulicos. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2025)

ID TUBERIA	Long (m)	DN (mm)
P00_A	260.3	315
P00_A_H22	36.1	160
P00_B	168.5	315
P0102_H21	230.1	160
P0103_A	201.6	160
P0103_B_H18	250	140
P0104_H16	561.5	110
P01_A	497.7	250
P01_B	141	200
P01_C	9.2	200
P01_C_H20	2.3	110
P01_D	412.8	200
P0201_A	18.5	160
P0201_A_H11	4	140
P0201_B	178.2	160
P0201_B_H13	3.7	125
P0201_C	91.5	160
P0201_C_H14	2.5	125
P0201_D_H12	80	125
P0202_H7	71.1	140
P0202_A	123.8	200
P0202_A_H8	3	140

ID TUBERIA	Long (m)	DN (mm)
P0202_B	165.2	200
P0202_C	70.5	160
P0202_C_H5	1.5	125
P0202_E	167.4	160
P0202_E_H4	3	110
P0202_F	491.9	160
P0202_F_H3	5.5	140
P0202_G	73.5	160
P0202_G_H2	4.4	140
P0202_H_H1	94.8	140
P0204_H6	151	110
P0206_H15	461.8	160
P02_A	395.4	225
P02_B	84.9	200
P02_B_H10	4.4	140
P02_C	211.7	200
P02_D	6.1	200
P02_D_H9	3.9	125
P02_E	267.5	200
P0101_H19	140	160
P0103_A_H17	3.2	140

En la Figura 11 se observa el trazado de las tuberías secundarias hasta los hidrantes y en la Figura 12 se observa el trazado de las tuberías secundarias y terciarias hasta la parcela. Fue importante y muy útil realizar este trazado en QGISred ya que por medio de este programa se pudo exportar la red con todas sus características del modelo original hasta EPANET y, además, verificar el funcionamiento.

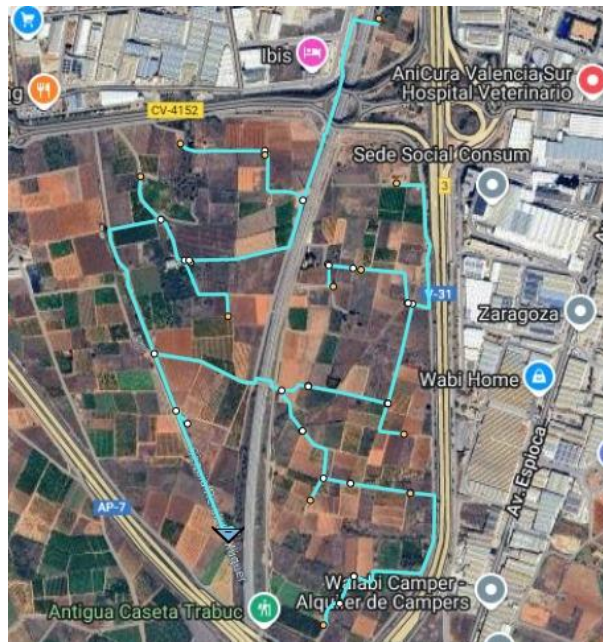


Figura 11. Topología red distribución secundaria sector 42 en QGISred.

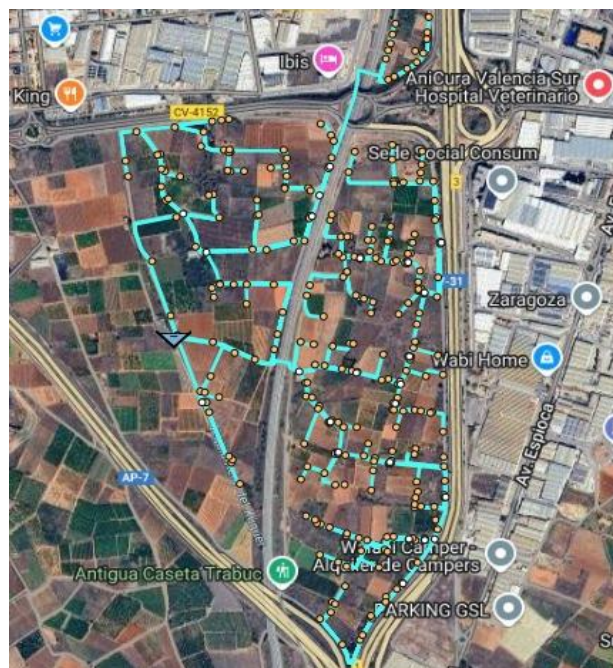


Figura 12. Topología red distribución secundaria y terciaria del sector 42 en QGISred.

2.6.2 Sector 43

En la Figura 13 se observa la topología de la red original, destacando las conducciones secundarias hasta los hidrantes. En la Tabla 4 se detallan las cotas para cada hidrante, y en la Tabla 5 se identifica las tuberías secundarias con su longitud y el diámetro nominal.

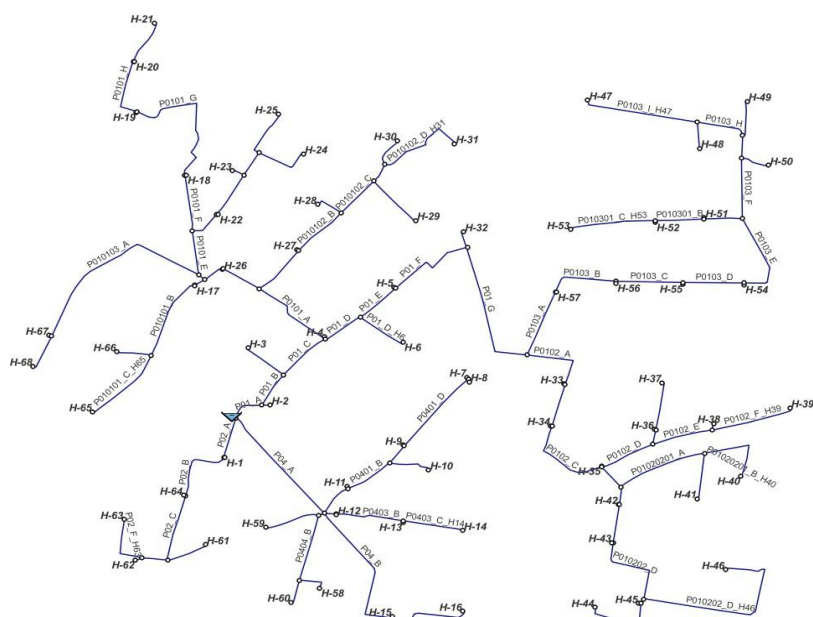


Figura 13. Topología red distribución secundaria sector 43. Fuente: Anejo 10.- Cálculos hidráulicos del proyecto “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”.

Tabla 4. Elevación de hidrantes del sector 43 (Anejo 10.- Cálculos hidráulicos. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2025)

HIDRANTE	Cota (m)	HIDRANTE	Cota (m)
H-01	20.18	H-24	16.89
H-02	19.17	H-25	16.81
H-03	18.73	H-26	18.39
H-04	17.15	H-27	17.33
H-05	15.59	H-28	16.73
H-06	16.18	H-29	15
H-07	15.6	H-30	15.1
H-08	15.19	H-31	14.25
H-09	17.37	H-32	14.17
H-10	16.48	H-33	13.35
H-11	18.57	H-34	13.81
H-12	19.16	H-35	13.13
H-13	18.5	H-36	11.39
H-14	16.88	H-37	11.68
H-15	20.69	H-38	10.2
H-16	19.47	H-39	9.86
H-17	19.9	H-40	10.33
H-18	17.38	H-41	11.55
H-19	18.27	H-42	13.14
H-20	17.7	H-43	14.1
H-21	16.68	H-44	16.18
H-22	18.41	H-45	14.68
H-23	17.8	H-46	12.32

HIDRANTE	Cota (m)
H-47	12.41
H-48	10.33
H-49	10.5
H-50	9.28
H-51	9.98
H-52	10.72
H-53	12.11
H-54	10.38
H-55	11.32
H-56	11.98
H-57	13

HIDRANTE	Cota (m)
H-58	21.69
H-59	20.99
H-60	22.68
H-61	22.14
H-62	24.31
H-63	23.96
H-64	21.9
H-65	21.77
H-66	20.96
H-67	21.63
H-68	22.11

Tabla 5. Dimensiones de tuberías originales del sector 43 (Rosell Esteve, 2023a)

ID TUBERIA	Long (m)	DN (mm)
P00	16	500
P01_A	89.5	450
P01_A_H2	22.6	160
P01_B	103.1	400
P01_B_H3	124.5	140
P01_C	150.7	400
P01_C_H4	9	160
P01_D	110.3	315
P01_D_H6	138.9	140
P01_E	123.3	315
P01_E_H5	5	140
P01_F	246.5	315
P01_F_H32	51.8	140
P01_G	388.5	315
P0101_A	233.1	250
P0101_B	110.8	250
P0101_B_H26	5	125
P0101_C	58.1	250
P0101_D	22.1	250
P0101_E	124.3	225
P0101_F	157	225
P0101_F_H18	5	160
P0101_G	403.1	225
P0101_G_H19	5	140
P0101_H	176.5	160
P0101_H_H20	5	125
P0101_I_H21	127.1	110
P010101_A	30.3	200

ID TUBERIA	Long (m)	DN (mm)
P010101_A_H17	5	200
P010101_B	236.9	160
P010101_B_H66	93.4	125
P010101_C_H65	228.5	160
P010102_A	150	225
P010102_A_H27	5	160
P010102_B	155.9	225
P010102_B_H28	77.8	140
P010102_C	123.1	225
P010102_D	55.1	160
P010102_D_H29	156.9	125
P010102_D_H30	86.8	125
P010102_D_H31	247.8	140
P010103_A	537.8	200
P010103_A_H67	6.9	140
P010103_B_H68	103.7	160
P010104_A	86.4	225
P010104_A_H22	5	110
P010104_B	131.6	200
P010104_B_H23	33.6	110
P010104_C	73.7	160
P010104_C_H25	138.9	110
P010104_D_H24	145.5	125
P0102_A	193.4	200
P0102_A_H33	5	140
P0102_B	122	200
P0102_B_H34	5	125
P0102_C	248.6	200

ID TUBERIA	Long (m)	DN (mm)
P0102_C_H35	5	110
P0102_D	148.9	160
P0102_E	161.7	160
P0102_E_H38	20.2	110
P0102_F_H39	221.9	140
P010201_A	42.4	160
P010201_A_H36	5	110
P010201_B_H37	137	125
P010202_A	74.9	200
P010202_B	50	200
P010202_B_H42	5	110
P010202_C	109.2	200
P010202_C_H43	5	110
P010202_D	237.7	200
P010202_D_H46	530.5	140
P010202_E	14.3	160
P010202_E_H45	5.7	110
P010202_F_H44	194.6	110
P01020201_A	242.2	160
P01020201_A_H41	129.7	110
P01020201_B_H40	209.7	125
P0103_A	191.9	225
P0103_A_H57	5	140
P0103_B	186.7	225
P0103_B_H56	5.3	160
P0103_C	176.1	225
P0103_C_H55	5	140
P0103_D	160.1	225
P0103_D_H54	5.1	140
P0103_E	259	225
P0103_F	169.6	225
P0103_F_H50	75.7	125
P0103_G	64.1	225
P0103_G_H49	102.8	110
P0103_H	132.7	225
P0103_H_H48	73.6	140
P0103_I_H47	303.2	200

ID TUBERIA	Long (m)	DN (mm)
P010301_A	101	160
P010301_A_H51	5	140
P010301_B	128.4	160
P010301_B_H52	5	160
P010301_C_H53	229.9	160
P02_A	115.2	200
P02_A_H1	5	200
P02_B	190.1	200
P02_B_H64	5.8	125
P02_C	187.4	200
P02_C_H61	111.4	125
P02_D	68.5	200
P02_D_H62	18.3	125
P02_F_H63	154.9	140
P04_A	357.4	200
P04_B	407	200
P04_B_H15	5	125
P04_C_H16	210.1	160
P0401_A	94.9	200
P0401_A_H11	7.3	140
P0401_B	134.1	200
P0401_B_H10	111.4	125
P0401_C	60.9	200
P0401_C_H9	5	140
P0401_D	252.6	160
P0401_D_H7	6.5	125
P0401_D_H8	8.2	110
P0403_A	30.5	200
P0403_A_H12	5	110
P0403_B	178.8	160
P0403_B_H13	5	110
P0403_C_H14	159.3	125
P0404_A	16.3	225
P0404_A_H58	76.2	140
P0404_A_H59	146.9	140
P0404_B	189.3	160
P0404_C_H60	69.8	160

En la Figura 14 se observa el trazado de las tuberías secundarias hasta los hidrantes y en la Figura 15 se observa el trazado de las tuberías secundarias y terciarias hasta la parcela. Fue importante y muy útil, realizar este trazado en QGISred ya que por medio de este programa se pudo exportar la red con todas sus características del modelo original hasta EPANET y además, verificar el funcionamiento.



Figura 14. Topología red distribución secundaria sector 43 en QGISred..

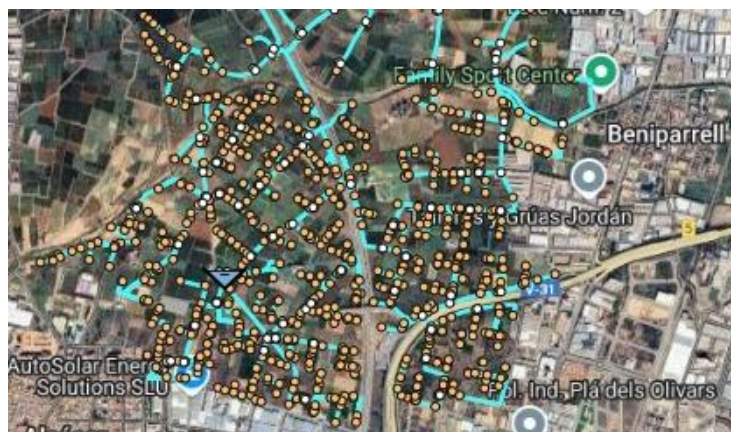


Figura 15. Topología red distribución secundaria y terciaria del sector 43 en QGISred.

2.6.3 Sector 44

En la Figura 16 se observa la topología de la red original, destacando las conducciones secundarias hasta los hidrantes. En la Tabla 6 se detallan las cotas para cada hidrante, y en la Tabla 7 se identifica las tuberías secundarias con su longitud y el diámetro nominal.

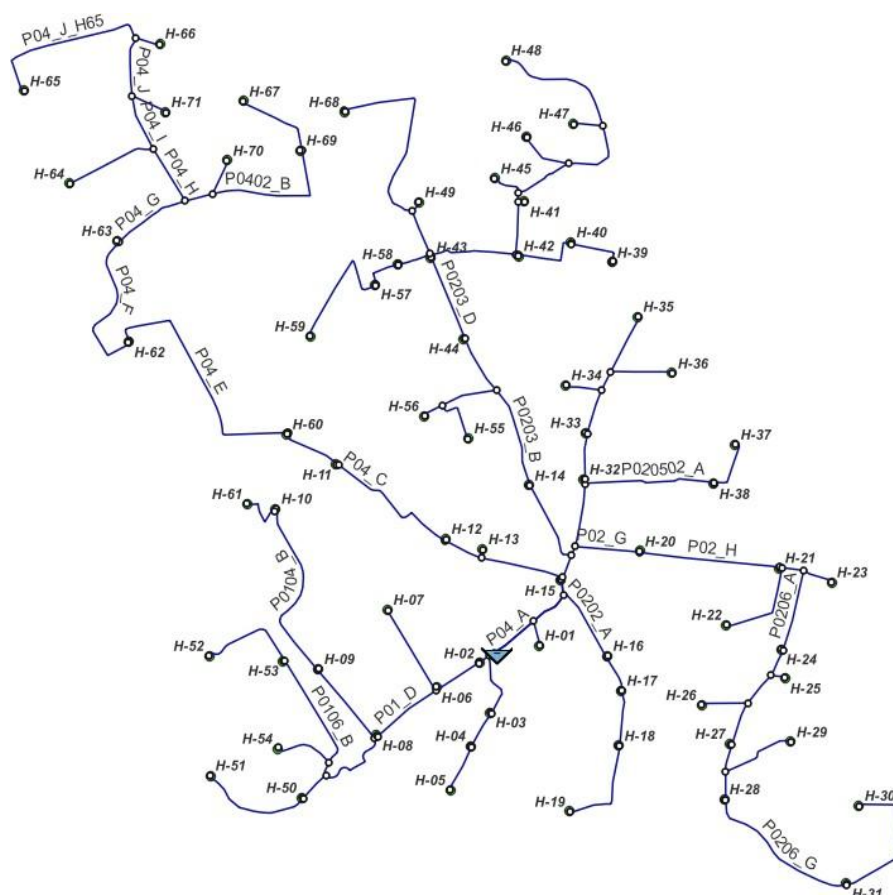


Figura 16. Topología red distribución secundaria sector 44. Fuente: Anejo 10.- Cálculos hidráulicos del proyecto “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”.

Tabla 6. Elevación de hidrantes del sector 44 (Rosell Esteve, 2023a)

HIDRANTE	Cota (m)	HIDRANTE	Cota (m)
H-01	14.76	H-18	11.42
H-02	13.92	H-19	12.46
H-03	12.52	H-20	9.27
H-04	13.2	H-21	8.78
H-05	13.75	H-22	9.38
H-06	13.89	H-23	8.55
H-07	15.07	H-24	8.54
H-08	14.29	H-25	9.32
H-09	14.81	H-26	10.25
H-10	18.92	H-27	10.47
H-11	19.07	H-28	10.72
H-12	16.71	H-29	9.03
H-13	15.1	H-30	8.34
H-14	14.46	H-31	9.19
H-15	14.01	H-32	10.02
H-16	11.32	H-33	10.05
H-17	10.65	H-34	10.68

HIDRANTE	Cota (m)
H-35	10.45
H-36	9.54
H-37	8.88
H-38	9.14
H-39	10.52
H-40	11.61
H-41	12.33
H-42	11.84
H-43	15.85
H-44	14.5
H-45	13.45
H-46	12.26
H-47	12.39
H-48	14.82
H-49	14.68
H-50	16.35
H-51	16.3
H-52	19.93
H-53	14.97

HIDRANTE	Cota (m)
H-54	17.51
H-55	19.36
H-56	20.09
H-57	19.99
H-58	18.4
H-59	21.37
H-60	19.84
H-61	18.32
H-62	22.28
H-63	23.37
H-64	24.35
H-65	25.76
H-66	22.46
H-67	22.74
H-68	15.55
H-69	21.31
H-70	24.33
H-71	25.78

Tabla 7. Dimensiones de tuberías originales del sector 44 (Rosell Esteve, 2023a)

ID TUBERIA	Long (m)	DN (mm)
P00	9	500
P01_A	15.4	200
P01_B	32.6	200
P01_C	141.7	200
P01_C_H02	2.3	140
P01_C_H06	9.9	140
P01_D	201	160
P01_D_H08	5.1	140
P01_E	8.9	160
P01_F	210.6	140
P01_G	87.4	140
P01_G_H50	3.4	125
P0101_A	175.5	110
P0101_A_H03	3.8	110
P0101_B	104.7	110
P0101_B_H04	3.6	110

ID TUBERIA	Long (m)	DN (mm)
P0101_C	134	110
P0102_H07	252.4	140
P0103_H51	306.1	140
P0104_A	241.7	110
P0104_A_H09	3.6	110
P0104_B	506.1	110
P0104_B_H10	4.9	110
P0104_C_H61	130	110
P0106_A	35.8	140
P0106_A_H54	169	125
P0106_B	322.2	140
P0106_B_H53	5.1	125
P0106_C_H52	280	140
P02_A	136.9	400
P02_A_H01	67.6	140
P02_B	110.8	400

ID TUBERIA	Long (m)	DN (mm)
P02_C	39.9	400
P02_C_H15	3.7	110
P02_D	7.2	400
P02_E	64.8	355
P02_F	24.6	250
P02_G	175.3	200
P02_G_H20	2.5	140
P02_H	384.4	160
P02_H_H21	3	125
P02_I	7.6	160
P02_J	59.7	160
P02_J_H23	88.5	110
P0202_A	208.9	125
P0202_A_H16	4.8	125
P0202_B	101.9	110
P0202_B_H17	4.2	110
P0202_C	148.9	110
P0202_C_H18	3.7	110
P0202_D	274.7	110
P0203_A	231.7	250
P0203_A_H14	3.8	110
P0203_B	274.9	250
P0203_B_H44	3.3	160
P0203_C	164	225
P0203_C_H43	2.8	110
P0203_D	235	200
P0203_D_H68_2	5.2	110
P0203_E	5.1	200
P0203_F	5.9	200
P0203_G	125.6	200
P0203_G_H49	30.3	110
P0203_H_H68	549.9	110
P020301	154.4	110
P020301_H55	140.4	110
P020301_H56	63.3	110
P020302_A	236.6	160
P020302_B	139.8	125
P020302_B_H41	15.5	125
P020302_C	24.4	125
P020302_C_H45	87.4	125
P020302_D	162.3	125
P020302_D_H46	145.2	125

ID TUBERIA	Long (m)	DN (mm)
P020302_D_H46_2	3	125
P020302_E	199.5	110
P020302_E_H47	80.5	110
P020302_F_H48	359.6	110
P02030202_A	6.2	110
P02030202_A_H42	5	110
P02030202_B	188.7	110
P02030202_B_H40	3.4	110
P02030202_C	141.1	110
P02030202_D_H39	4.5	110
P020303_A	91.3	200
P020303_A_H58	2.5	110
P020303_B	107.8	200
P020303_B_H57	2.5	160
P020303_B_H59	359.8	200
P0204_I_H22	255.6	160
P0205_A	170.5	160
P0205_B	11	125
P0205_B_H32	4.5	140
P0205_C	124	140
P0205_C_H33	6	140
P0205_D	122.6	140
P0205_D_H34	100.3	125
P0205_E	56	140
P0205_E_H36	168.8	140
P0205_F_H35	167.1	110
P020502_A	354	125
P020502_A_H38	4.8	125
P020502_B_H37	150.2	125
P0206_A	220.8	140
P0206_A_H24	5.5	110
P0206_B	75.5	140
P0206_B_H25	39.3	125
P0206_C	97.4	125
P0206_C_H26	127.5	125
P0206_D	120.6	125
P0206_D_H27	4.8	110
P0206_E	72.7	125
P0206_E_H29	206.8	125
P0206_F	76.4	110
P0206_F_H28	4.1	110
P0206_G	430.9	110

ID TUBERIA	Long (m)	DN (mm)
P0206_G_H31	4.7	110
P0206_H_H30	414.4	110
P04_A	528.8	355
P04_A_H13	23.3	125
P04_B	109.7	355
P04_B_H12	4	125
P04_C	379.1	355
P04_C_H11	6.1	160
P04_D	168.3	355
P04_D_2	5.6	250
P04_D_H60	3.4	160
P04_E	672.4	355
P04_E_H62	4.4	160
P04_F	434.6	250

ID TUBERIA	Long (m)	DN (mm)
P04_F_H63	6.2	160
P04_G	216.6	250
P04_H	163	250
P04_H_H64	251.8	160
P04_I	156.9	225
P04_I_H71	104.1	125
P04_J	157.5	225
P04_J_H65	468.3	200
P04_J_H66	71.8	140
P0402_A	76.9	125
P0402_A_H70	99.4	125
P0402_B	392.5	125
P0402_B_H67	228.1	125
P0402_B_H69	4.6	110

En la Figura 17 se observa el trazado de las tuberías secundarias hasta los hidrantes y en la Figura 18 se observa el trazado de las tuberías secundarias y terciarias hasta la parcela. Fue importante y muy útil, realizar este trazado en QGISred ya que por medio de este programa se pudo exportar la red con todas sus características del modelo original hasta EPANET y además, verificar el funcionamiento.

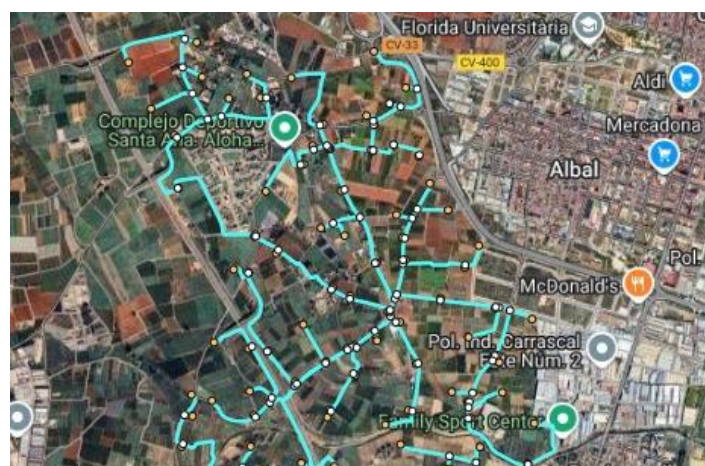


Figura 17. Topología red distribución secundaria sector 44 en QGIS.

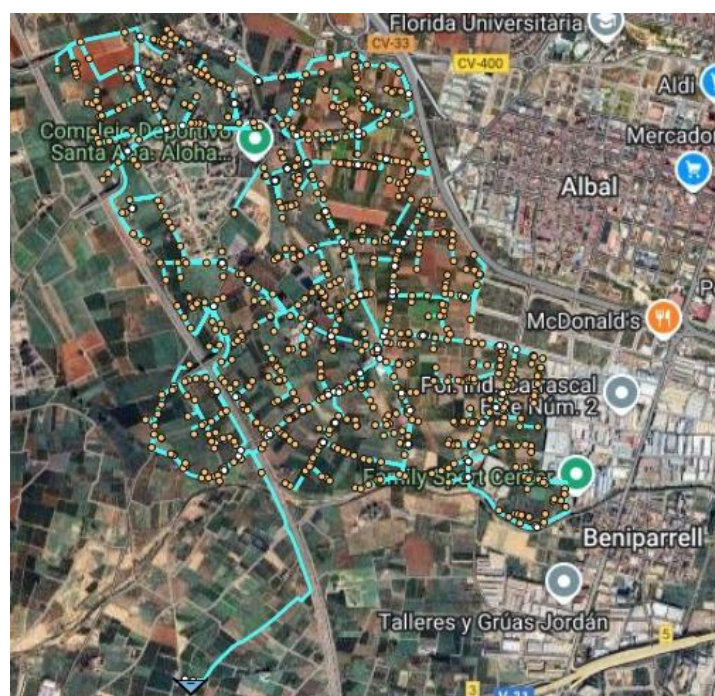


Figura 18. Topología red distribución secundaria y terciaria del sector 44 en QGISred.

2.7 Superficie de parcelas

La superficie de las parcelas que conforman a los sectores de riego, junto a los hidrantes y tomas que alimentan a dichas parcelas se muestran en las siguientes tablas:

2.7.1 Parcelas del sector 42

En la Tabla 8 se observa la superficie regable por cada hidrante, esto permite saber la cantidad de caudal demandado como resultado del producto del Caudal instantáneo por unidad de superficie mencionado en el apartado 2.3 y la superficie regable por cada hidrante. En el apartado 2.1 de los anexos, se detallan las superficies regables por parcela.

Tabla 8. Superficie regable sector 42 (Rosell Esteve, 2023b)

Hidrante	Superf. (has)
H1	4.17
H2	3.72
H3	3.59
H4	1.95
H5	3.01
H6	2.76
H7	3.46
H8	3.88
H9	2.97

Hidrante	Superf. (has)
H10	3.81
H11	2.89
H12	2.94
H13	2.71
H14	2.56
H15	4.74
H16	1.87
H17	4.57
H18	2.7

Hidrante	Superf. (has)
H19	5.76
H20	9.29

Hidrante	Superf. (has)
H21	4.88
H22	5.38

2.7.2 Parcelas del sector 43

En la Tabla 9 se observa la superficie regable por cada hidrante, esto permite saber la cantidad de caudal demandado como resultado del producto del Caudal instantáneo por unidad de superficie mencionado en el apartado 2.3 y la superficie regable por cada hidrante. En el apartado 2.2 de los anexos, se detallan las superficies regables por parcela.

Tabla 9. Superficie regable sector 43 (Rosell Esteve, 2023b)

Hidrante	Superf. (has)
H1	8.46
H2	4.77
H3	3.78
H4	4.77
H5	3.65
H6	3.66
H7	3.01
H8	1.75
H9	3.66
H10	3.05
H11	3.71
H12	1.87
H13	2.53
H14	3.19
H15	3.33
H16	4.14
H17	7.22
H18	4.79
H19	3.92
H20	3.16
H21	2.42
H22	2.63
H23	2.34
H24	3.38
H25	2.49
H26	2.94

Hidrante	Superf. (has)
H27	4.97
H28	3.84
H29	2.85
H30	2.83
H31	3.55
H32	3.62
H33	3.66
H34	2.94
H35	2.39
H36	2.02
H37	3.35
H38	2.58
H39	3.82
H40	3.03
H41	2.63
H42	1.95
H43	2.63
H44	2.46
H45	2.4
H46	3.92
H47	10.59
H48	4.38
H49	1.95
H50	3
H51	4.02
H52	5.89

Hidrante	Superf. (has)
H53	6.53
H54	3.98
H55	4.09
H56	4.67
H57	4.24
H58	3.79
H59	3.48
H60	3.29

Hidrante	Superf. (has)
H61	3.03
H62	2.78
H63	4.03
H64	2.9
H65	2.62
H66	2.84
H67	4.17
H68	3.99

2.7.3 Parcelas del sector 44

En la Tabla 10 se observa la superficie regable por cada hidrante, esto permite saber la cantidad de caudal demandado como resultado del producto del Caudal instantáneo por unidad de superficie mencionado en el capítulo 2.3 y la superficie regable por cada hidrante. En el apartado 2.3 de los anexos, se detallan las superficies regables por parcela.

Tabla 10. Parcelas del sector 44 (Rosell Esteve, 2023b)

Hidrante	Superf. (has)
H1	4.01
H2	2.66
H3	2.91
H4	3.14
H5	4.19
H6	3.12
H7	4.22
H8	3.8
H9	3.34
H10	2.89
H11	7.01
H12	2.89
H13	2.95
H14	2.46
H15	2.63
H16	3.78
H17	2.3
H18	5.45
H19	3.5

Hidrante	Superf. (has)
H20	3.6
H21	2.85
H22	5.69
H23	2.33
H24	2.18
H25	3
H26	2.96
H27	1.9
H28	2.59
H29	2.86
H30	3.01
H31	2.81
H32	4.12
H33	3.57
H34	3.08
H35	2.58
H36	3.96
H37	3.4
H38	3.38

Hidrante	Superf. (has)
H39	3.54
H40	2.35
H41	3.6
H42	3.66
H43	2.42
H44	7.24
H45	2.94
H46	2.9
H47	2.19
H48	3.1
H49	2.63
H50	3.16
H51	4.2
H52	4.06
H53	3.18
H54	3.27
H55	3.02

Hidrante	Superf. (has)
H56	5.09
H57	3.47
H58	2.34
H59	4.66
H60	7.34
H61	2.45
H62	5.81
H63	5.86
H64	7.93
H65	8.04
H66	3.67
H67	3.83
H68	5.47
H69	2.42
H70	3.04
H71	2.96

2.8 Aspectos y cálculos económicos

Para finalizar este capítulo, se detallan los costes unitarios por metro lineal de tubería con el fin de realizar el presupuesto de cada una de las soluciones presentadas en este estudio. Dicho coste unitario se multiplica por la longitud total de las tuberías planteadas en cada solución, para obtener el presupuesto total de dichas soluciones.

Cabe destacar que en el alcance del trabajo se evaluaron 2 criterios, el primero es que las soluciones de las alternativas cumplieren los requerimientos hidráulicos de presión y de velocidad, y segundo que la solución viable sea más económica que el proyecto original, evaluando así mismo los costes totales de cada alternativa.

A continuación, se muestran las Tabla 11 y la Tabla 12, de los costes unitarios de tuberías obtenidos del presupuesto del proyecto original:

Tabla 11. Coste de tuberías secundarias.

Tuberías secundarias			
Material	Dint(mm)	DN	Coste(€/m)
PVC orientado 1,25 MPa	474,6	500	117.62
PVC orientado 1,25 MPa	427,6	450	97.80
PVC orientado 1,25 MPa	379,8	400	68.39
PVC orientado 1,25 MPa	340,8	355	58.65
PVC orientado 1,25 MPa	337,4	355	58.65
PVC orientado 1,25 MPa	299,2	315	47.76
PVC orientado 1,25 MPa	237,4	250	32.90
PVC orientado 1,25 MPa	213,6	225	25.35
PVC orientado 1,25 MPa	190,0	200	21.95
PVC orientado 1,25 MPa	152,0	160	13.11
PVC orientado 1,25 MPa	132,4	140	12.25
PVC orientado 1,25 MPa	117,8	125	10.14
PVC orientado 1,25 MPa	104,4	110	8.99

Tabla 12. Coste de tuberías terciarias.

Tuberías terciarias			
Material	Dint(mm)	DN	Coste(€/m)
Polietileno PN10	135,2	140	5.69
Polietileno PN10	110,2	125	6.96
Polietileno PN10	96,8	110	5.69
Polietileno PN10	79,2	90	5.07
Polietileno PN10	66,0	75	3.27
Polietileno PN10	55,4	63	2.64
Polietileno PN10	44,0	50	2.06
Polietileno PN10	35,2	40	1.71

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología con la cual se ha procedido a revisar el proyecto objeto de estudio en este trabajo. Esta metodología se estructura en varias fases o etapas

- 1). Fase I: Revisión y mejora del proyecto original.
- 2). Fase II: Análisis de alternativas sin modificación del trazado.
- 3). Fase III: Análisis de alternativas con modificación del trazado.
- 4). Fase IV: Comparación de soluciones y alternativas.

Una vez desarrollada la metodología se dispone de una serie de soluciones comparativas con las que se hace un análisis y se toma una decisión sobre la solución final a implementar.

3.2.1 Fase I: Revisión y mejora de proyecto original

La primera fase de nuestro análisis consiste en una revisión del proyecto original. En esta revisión se verifican y corrigen los cálculos hidráulicos, en base a lo explicado en el capítulo anterior. También se elaboran los modelos matemáticos de las soluciones propuestas para los sectores de riego en dicho proyecto. Ambas acciones se realizan auxiliándonos del software EPANET y con hojas de cálculo. El trazado de las redes se recrea con el software QGISred donde se realiza la traza de las redes sobre el mapa donde es el emplazamiento de las obras, de esta manera se ingresan todos los datos del proyecto original como los diámetros en las conducciones, demandas, longitudes, cotas, altura de cabecera y pérdidas localizadas en tuberías terciarias. Es muy útil realizar el trazado en QGISred porque después de tener toda la traza con los datos del proyecto original, se puede exportar la red trazada a EPANET en donde cada sector se modela con 20% del caudal demandado, ya que se consideran jornadas de 5 turnos.

Cada sector de riego se ha modelizado matemáticamente en EPANET. El trazado de estos modelos incluye los cabezales de riego de cada sector, así como las redes secundarias y terciarias. Los hidrantes se han modelado como nudos, mientras que las tomas se han modelado como nudos de consumo. Los cabezales de riego se han modelado como un embalse conectado a un nudo por medio de una línea de longitud despreciable que no produce pérdidas. Dicho embalse actúa como cabecera del sector de riego con la altura piezométrica después del cabezal.

A partir de esta revisión, se plantea la mejora del diseño original mediante la evaluación de distintas hipótesis de diseño. Estas hipótesis de diseño son las siguientes:

1. Diseño original asignando turnos por uniformidad de caudales en el hidrante.
2. Ajuste mínimo del modelo del diseño original sin modificaciones del trazado y caudales, realizando un redimensionamiento de redes secundarias y terciarias.

Para la primera hipótesis, se modelan en EPANET cada uno de los turnos, seleccionando combinaciones de parcelas no repetidas en la que la suma de sus dotaciones sea equitativamente parecida a las combinaciones de los otros turnos, como se observa el capítulo III del anexo de cálculos y resultados. Para la segunda hipótesis, se dimensiona la red a partir de los caudales ya conocidos mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con altura de cabecera conocida, explicada en capítulo 2.5.1.

Tanto en el diseño original como en dicha mejora se debe confirmar el correcto funcionamiento hidráulico de la red, satisfaciendo que haya una presión mínima de 25 mca en los hidrantes multiusuarios y de 20 mca en las tomas de las parcelas. Por otro lado, se debe tratar de mantener las velocidades de circulación en las redes dentro de los márgenes definidos en el proyecto. Dichos márgenes son de 2 m/s para la velocidad máxima y 0,5 m/s para la velocidad mínima.

3.2.2 Fase II: Análisis de alternativas sin modificación del trazado

A partir del análisis de la solución original realizado en la fase I, se realiza un estudio de alternativas al diseño original sin modificación del trazado, los cuales se indican a continuación:

- Análisis de alternativa considerando el empleo de un sistema de riego de 4 turnos y determinación de la garantía de suministro correspondiente mediante el método de Clement.
- Análisis de alternativa considerando el empleo de un sistema de riego de 6 turnos y determinación de la garantía de suministro correspondiente mediante el método de Clement.
- Análisis de alternativa para redes secundarias considerando un riego a la demanda con una garantía de suministro (% GS) del 99% y 95% usando el método de Clement para la determinación de los caudales de diseño.

- Determinación de la garantía de suministro (% GS) del diseño original del sistema de riego de 5 turnos, aplicando las formulaciones del método de Clement explicado en el apartado 2.4.2 y considerando caudales de diseño de los tramos de tubería que permitan obtener las presiones mínimas.

Para analizar estas alternativas se debe de disponer de los caudales de diseño. En la alternativa de GS 99% y 95%, se calculan dichos caudales a partir del método de Clement que es un método probabilístico que tiene en cuenta la simultaneidad de apertura en las tomas de parcela. En este proyecto la probabilidad de apertura de la toma es la misma ya que la jornada de riego y la jornada efectiva de riego es la misma para todas las parcelas. Esta probabilidad se multiplica a todas las demandas de cada parcela y luego se realiza la sumatoria por tubería del caudal que trasiega en ella. Posteriormente de tener las sumatorias, se procede a reemplazar en la formula del $Q_{\text{diseño}}$ mencionado en la ecuación (7), conociendo el valor del factor U que depende de la GS% adoptada en las alternativas. Como es un diseño a la demanda, entonces el caudal de diseño de 4 y 6 turnos se conoce dividiendo el caudal total que debe trasegar en las conducciones entre el número de turnos en el que se desea diseñar dicha red para cada alternativa.

En esta fase después de conocer los caudales de diseño para cada alternativa, se utiliza una variación en el método de pendiente hidráulica con altura de cabecera conocida para el dimensionamiento de las redes secundarias explicado en el apartado 2.5.1. Este método consiste en definir el nudo critico de la red y su serie de conducciones para llegar al nudo crítico, que es el hidrante. A partir de esto se calculan las longitudes acumuladas por cada tramo de tubería, de nudo a nudo y su pendiente disponible, luego se adopta un factor de fricción estimado siendo 0,016. Este valor puede ser general para tuberías de PVC. Una vez conocida la pendiente critica, el caudal de diseño en cada tubería y el factor de fricción estimado, se calcula el diámetro teórico mencionado en la ecuación (8).

Posteriormente de calcular el diámetro y la velocidad teórica, se debe seleccionar el diámetro de la solución que permita el buen funcionamiento de la red. Esto se realiza comprobando las velocidades y las presiones al llegar al hidrante a partir de la altura piezométrica calculada teniendo en cuenta el cálculo de Reynolds, el factor de fricción y las perdidas por fricción en cada solución propuesta para la selección del diámetro.

Para la selección del diámetro se realiza una variación del método ya que se pueden realizar distintas combinaciones de diámetros para elegir la mejor solución, sin embargo, en el alcance de este proyecto se limitó únicamente a 2 soluciones, normalizando diámetros menores y normalizando diámetros mayores del diámetro teórico calculado.

Después de haber dimensionado la serie de la pendiente crítica, se calcula de la misma manera explicada, los ramales o series que conducen hasta cada hidrante. Hay que tener en cuenta que la altura de cabecera conocida ya está calculada en los nudos finales de cada tubería en la serie crítica, y para calcular las conducciones de los ramales de cada hidrante, se realizan a partir de altura de cabecera conocida en el nudo final de la serie crítica que es el nudo inicial del ramal que se va analizar para cada hidrante, así mismo se selecciona el diámetro de la solución según los criterios adoptados en este trabajo, verificando que cumplan con los requisitos hidráulicos.

En cada una de las alternativas deben cumplirse que haya una presión mínima de 25 mca en los hidrantes multiusuarios y de 20 mca en las tomas de las parcelas y tratar de mantener las velocidades de circulación entre 0,5 m/s y 2 m/s.

3.2.3 Fase III: Análisis de alternativas con modificación de trazado

Al igual que en la fase anterior, se realiza un análisis de alternativas al diseño original a partir del análisis de este realizado en la fase I, pero esta vez sí consideramos modificaciones en el trazado. Dichos análisis se realizan mediante del software QGISred únicamente para el trazado como se mencionó en el capítulo 3.2.1 y luego con EPANET, en el cual se tuvo en cuenta la asignación de los turnos mediante patrones del 1 al 5 para las combinaciones de parcelas mencionadas en el capítulo III del anexo. Esta asignación de patrones, permite verificar el buen funcionamiento de la red en cuanto a presiones y velocidades en cada turno asignado.

Los análisis realizados en esta fase son los siguientes:

- Análisis de soluciones o alternativas basadas en la reubicación de los cabezales de riego de cada sector.
- Análisis de soluciones o alternativas basadas en la modificación de la ubicación de los hidrantes multiusuario.

En cada una de las alternativas se parte del dimensionado de los diámetros del modelo original, luego de revisar el funcionamiento con la modificación del trazado, se verifican las presiones en hidrantes.

A partir de dicha verificación se opta por la sustitución de diámetros en las tuberías secundarias con la posibilidad de disminuir o aumentar el diámetro utilizado frente a la alternativa analizada. Después de comprobar las presiones en hidrantes, se verifica de la misma manera explicada, los diámetros de las tuberías terciarias hasta parcelas, revisando la posibilidad de la reducción o el aumento del diámetro, teniendo en cuenta de que cumplan los requerimientos hidráulicos. Es importante destacar que debe cumplirse la presión mínima de 25 mca en los hidrantes multiusuarios y de 20 mca en las tomas de las parcelas y tratar de mantener las velocidades de circulación entre 0,5 m/s y 2 m/s.

3.2.4 Fase IV: Comparación de soluciones y alternativas

Para la comparación de los resultados y alternativas se tienen en cuenta dos criterios: uno considerando el cumplimiento de los requerimientos hidráulicos y el otro considerando el coste total de cada solución. De esta manera se analiza la alternativa que es más viable frente a los criterios mencionados.

Otro punto de comparación es el cálculo de la garantía suministro de cada solución propuesta, que permite comparar cual es el porcentaje probabilístico con el que se diseña la red para que el caudal disponible satisfaga la demanda de manera simultánea frente a la probabilidad de apertura de las tomas. Esto quiere decir que no hay turnos de riego sino un riego a la demanda y la GS% indica la probabilidad de que la red pueda abastecer a todos los usuarios que riegan de manera simultánea frente al diseño de las redes en las alternativas con modificación y sin modificación del trazado.

Finalmente se realiza un análisis comparativo de las principales soluciones y alternativas desarrolladas en las fases anteriores y las conclusiones obtenidas. Para ello se dispondrá en todas las alternativas de un modelo matemático para verificar que se satisfacen los criterios de presión y velocidad definidos en el proyecto. Una vez realizada esta verificación, se compara el presupuesto de cada una de las soluciones y se determina cual es la más viable, tanto técnica como económicamente

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1 Sector 42

A continuación, se detallan los resultados del sector 42:

4.1.1 Fase I: Revisión y mejora de proyecto original

Esta fase es importante porque es donde se revisa el modelo del proyecto original basado en los datos calculados. Esta revisión se realizó en EPANET para verificar el correcto funcionamiento de la red y comprobar que las presiones en los nudos y las velocidades en las conducciones cumplen con los requisitos hidráulicos mencionados en el capítulo 3.2.3. Una de las comprobaciones iniciales son las presiones en hidrante de 25mca y posteriormente a esta, las presiones en parcela de 20mca. Hay que tener en cuenta que, para verificar las velocidades, no basta con simular el modelo con el 20% de la demanda total de manera simultánea en todos los nudos de las parcelas ya que presentarían velocidades muy bajas en las conducciones.

En la Figura 19 se ilustra la modelación del sector 42 de toda la red completa incluyendo hidrantes y nudos de consumo que son las parcelas, en el que se puede observar que todas las presiones en parcela son superiores a 20mca, sin embargo, al revisar los resultados de las presiones en los hidrantes, que se pueden mirar en la Tabla 13, se identifica que el hidrante H18 y H19, tienen presiones inferior a 25mca, por lo tanto se procede a realizar un ajuste mínimo de la red para que cumpla con el funcionamiento requerido mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida.

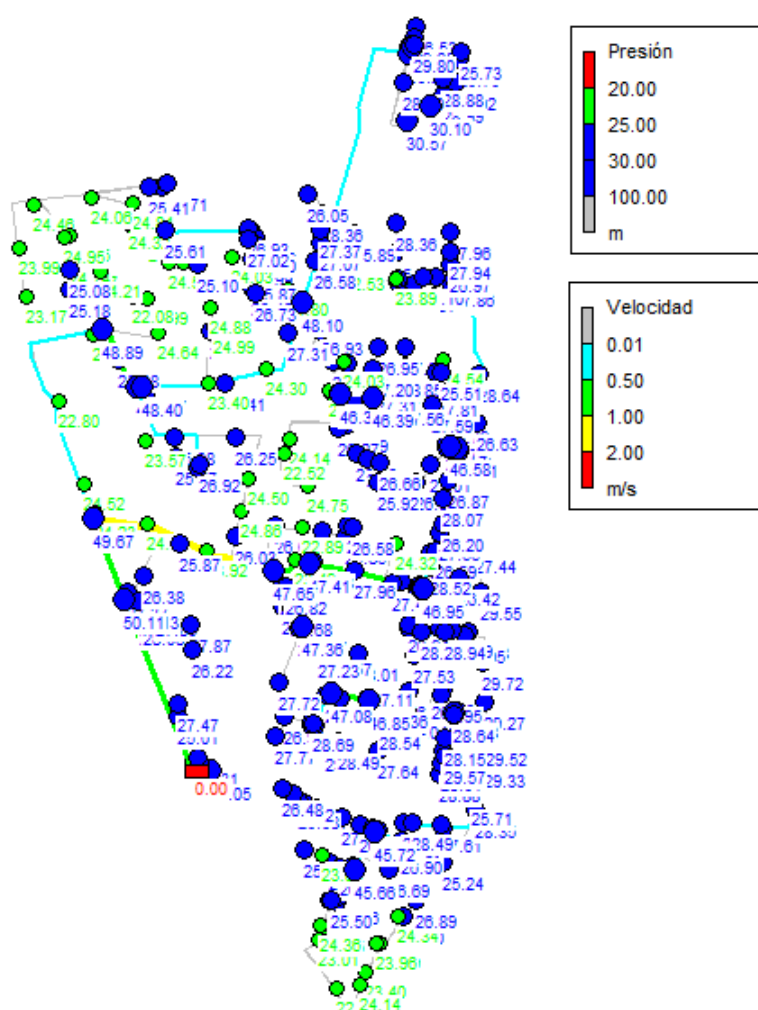


Figura 19. Simulación de la red de riego del sector 42 con el 20% del caudal demandado.

Tabla 13. Resultados de las presiones en hidrante.

ID nudo	Presión (mca)
H1	25.5
H2	27.15
H3	28.19
H4	28.64
H5	28.26
H6	28.94
H7	28.69
H8	27.67
H9	28.71
H10	27.07
H11	27.86

ID nudo	Presión (mca)
H12	25.85
H13	26.91
H14	25.79
H15	28.32
H16	30.21
H17	27
H18	24.32
H19	24.79
H20	25.74
H21	26.68
H22	28.01

En la Tabla 14, se muestra la asignación de los turnos de manera equilibrada en la que se crean combinaciones entre parcelas para que la suma demandada en cada turno, sean parecidas y se pueda asemejar al 20% de la demanda total por hidrante. La tabla presenta una columna de turnos donde se enumera cada uno, una columna al hidrante al que pertenece. La columna siguiente son las combinaciones de las parcelas enumeradas y su demanda. La última columna hace referencia a la demanda total en cada turno. La asignación de los turnos de los demás hidrantes se puede observar en el capítulo 3.1 del anexo de cálculos y resultados.

Tabla 14. Combinaciones de riego de parcela por turnos.

Turnos	Hidrante	Combinación por turno (Parcela-demanda)	Suma Demanda (l/s)
1	H1	P4 - 3.06, P10 - 0.25	3.31
2	H1	P3 - 2.32, P7 - 1.08	3.4
3	H1	P2 - 2.32, P1 - 0.66, P6 - 0.33	3.31
4	H1	P8 - 1.57, P11 - 1.16, P13 - 0.58	3.31
5	H1	P12 - 1.41, P5 - 1.32, P9 - 0.41, P14 - 0.17	3.31

En la Tabla 15 se presentan los resultados de las primeras conducciones obtenidas mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida y el resultado de todas las conducciones se puede observar en el capítulo 1.1.1.3 del anexo de cálculos y resultados. El cálculo se puede mirar en el capítulo 1.1.1 del anexo. Por otro lado, en esta tabla se observa el resultado final del dimensionado de cada conducción secundaria, donde se puede mirar la columna del nudo inicial, nudo final, la longitud, el caudal de diseño con el que fue dimensionada cada tubería, el diámetro interno seleccionado y el diámetro nominal que refiere al diámetro interno. Además, las últimas dos columnas son los resultados obtenidos de la velocidad y la presión. En este diseño se observa que todas las presiones en los hidrantes son superiores a 25mca, sin embargo, hay velocidades inferiores a 0.5 m/s en algunas conducciones, que no es un problema grave para un sistema de riego, por lo tanto, nos enfocamos en los resultados de la presión mínima.

Tabla 15. Ajuste mínimo de la red original para 5 turnos

Tubería	Nudo Ini	Nudo Fin	Long (m)	Q diseño (l/s)	Dint (mm)	DN (mm)	Velocidad (m/s)	Presión (mca)
P00_A	UGD_42	J30	260.3	66.33	379.8	400	0.59	50.70
P00_A_H22	J30	H22	36.1	4.27	104.4	110	0.50	28.54

4.1.2 Fase II: Análisis de alternativas sin modificación del trazado

Esta fase tiene gran importancia porque aquí se realiza el diseño de la red a la demanda, es decir que no hay una asignación de turnos, sino que se permite el riego en las parcelas de manera simultánea basado en la probabilidad de apertura de las tomas.

4.1.2.1 Diseño a la demanda con garantía suministro del 99%

En este capítulo se presentan los resultados del diseño realizado mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida. Para realizar este método se inicia conociendo el caudal de diseño y para esta alternativa dicho caudal de diseño se calcula mediante el método de Clement explicado en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología, sin embargo, el cálculo de este caudal de diseño para una GS de 99% se puede observar en el capítulo 1.1.2.1.1 del anexo de cálculos y resultados.

En la Tabla 16 se presentan los resultados de las primeras conducciones obtenidas mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida y el resultado de todas las conducciones se puede observar en el capítulo 1.1.2.1.2 del anexo de cálculos y resultados. El cálculo se puede realizar de la misma manera en que fue explicado el método en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología y en el capítulo 1.1.1 del anexo se puede observar como guía el ajuste mínimo del diseño original para realizar el cálculo de la misma manera, pero con el caudal de diseño calculado para la GS del 99%.

Por otro lado, es importante destacar que este diseño es más costoso que el diseño del ajuste mínimo del proyecto, ya que el caudal de diseño es superior que el caudal para 5 turnos, por lo tanto, la dimensión de las tuberías aumenta lo que hace el diseño de la red sea más costoso, y en esta tabla se observa el resultado final del dimensionado de cada conducción secundaria, donde se puede mirar la columna del nudo inicial, nudo final, la longitud, el caudal de diseño con el que fue dimensionada cada tubería, el diámetro interno seleccionado y el diámetro nominal que refiere al diámetro interno. Además, las últimas dos columnas son los resultados obtenidos de la velocidad y la presión. En este diseño se observa que todas las presiones en los hidrantes son superiores a 25mca, sin embargo, hay velocidades inferiores a 0.5 m/s en algunas conducciones, que no es un problema grave para un sistema de riego, por lo tanto, nos enfocamos en los resultados de la presión mínima.

Tabla 16. Diseño a la demanda con GS 99%.

Tubería	Nudo Ini	Nudo Fin	Long (m)	Q diseño (l/s)	Dint (mm)	DN(mm)	Velocidad (m/s)	Presión (mca)
P00_A	UGD_42	J30	260.3	78.44	379.8	400	0.69	50.63
P00_A_H22	J30	H22	36.1	10.68	104.4	110	1.25	28.07
P00_B	J30	J31	168.5	73.77	379.8	400	0.65	50.49
P01_A	J31	J32	497.7	35.42	299.2	315	0.50	50.12
P01_B	J32	H900	141	30.46	299.2	315	0.43	50.04
P01_C	H900	J88	9.2	25.75	237.4	250	0.58	50.03
P01_C_H20	J88	H20	2.3	17.62	132.4	140	1.28	27.37

4.1.2.2 Diseño a la demanda con garantía suministro del 95%

En este capítulo se presentan los resultados del diseño realizado mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida. Para realizar este método se inicia conociendo el caudal de diseño y para esta alternativa dicho caudal de diseño se calcula mediante el método de Clement explicado en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología, sin embargo, el cálculo de este caudal de diseño para una GS de 95% se puede observar en el capítulo 1.1.2.2.1 del anexo de cálculos y resultados.

En la Tabla 17 se presentan los resultados de las primeras conducciones obtenidas mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida y el resultado de todas las conducciones se puede observar en el capítulo 1.1.2.2.2 del anexo de cálculos y resultados. El cálculo se puede realizar de la misma manera en que fue explicado el método en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología y en el capítulo 1.1.1 del anexo se puede observar como guía el ajuste mínimo del diseño original para realizar el cálculo de la misma manera, pero con el caudal de diseño calculado para la GS del 95%.

Por otro lado, es importante destacar que este diseño es más costoso que el diseño del ajuste mínimo del proyecto y un poco más económico que el diseño con GS del 99%, ya que el caudal de diseño es superior que el caudal para 5 turnos e inferior al caudal para GS del 99%, por lo tanto, la dimensión de las tuberías en comparación al diseño del ajuste mínimo del diseño original aumenta, lo que hace que el diseño de la red sea más costoso.

En esta tabla se observa el resultado final del dimensionado de cada conducción secundaria, donde se puede mirar la columna del nudo inicial, nudo final, la longitud, el caudal de diseño con el que fue dimensionada cada tubería, el diámetro interno seleccionado y el diámetro nominal que refiere al diámetro interno, además las últimas dos columnas son los resultados obtenidos de la velocidad y la presión. En este diseño se observa que todas las presiones en los hidrantes son superiores a 25mca, sin embargo, hay velocidades inferiores a 0.5 m/s en algunas conducciones, que no es un problema grave para un sistema de riego, por lo tanto, nos enfocamos en los resultados de la presión mínima.

Tabla 17. Diseño a la demanda con GS 95%.

Tubería	Nudo Ini	Nudo Fin	Long (m)	Q diseño (l/s)	Dint (mm)	DN (mm)	Velocidad (m/s)	Presión (mca)
P00_A	UGD_42	J30	260.3	71.65	379.8	400	0.63	50.67
P00_A_H22	J30	H22	36.1	8.59	104.4	110	1.00	28.27
P00_B	J30	J31	168.5	67.30	379.8	400	0.59	50.55
P01_A	J31	J32	497.7	30.68	299.2	315	0.44	50.27
P01_B	J32	H900	141	26.06	237.4	250	0.59	50.08
P01_C	H900	J88	9.2	21.78	237.4	250	0.49	50.08
P01_C_H20	J88	H20	2.3	14.26	132.4	140	1.04	27.42

4.1.2.3 Diseño a la demanda con caudal de diseño para 4 turnos

En este capítulo se presentan los resultados del diseño realizado mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida. Para realizar este método se inicia conociendo el caudal de diseño y para esta alternativa dicho caudal de diseño se calcula dividiendo el caudal total que trasiega cada tubería entre los 4 turnos.

En la Tabla 18 se presentan los resultados de las primeras conducciones obtenidas mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida y el resultado de todas las conducciones se puede observar en el capítulo 1.1.2.2.3 del anexo de cálculos y resultados. El cálculo se puede realizar de la misma manera en que fue explicado el método en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología y en el capítulo 1.1.1 del anexo se puede observar como guía el ajuste mínimo del diseño original para realizar el cálculo de la misma manera, pero con el caudal de diseño calculado para 4 turnos.

Es importante destacar que este diseño es más costoso que el diseño del ajuste mínimo del proyecto, ya que el caudal de diseño para 4 turnos es superior que el caudal para 5 turnos, por lo tanto, la dimensión de las tuberías en comparación al diseño del ajuste mínimo del diseño original aumenta lo que hace el diseño de la red sea más costoso, y en esta tabla se observa el resultado final del dimensionado de cada conducción secundaria, donde se puede mirar la columna del nudo inicial, nudo final, la longitud, el caudal de diseño con el que fue dimensionada cada tubería, el diámetro interno seleccionado y el diámetro nominal que refiere al diámetro interno, además las últimas dos columnas son los resultados obtenidos de la velocidad y la presión. En este diseño se observa que todas las presiones en los hidrantes son superiores a 25mca, sin embargo, hay velocidades inferiores a 0.5 m/s en algunas conducciones, que no es un problema grave para un sistema de riego, por lo tanto, nos enfocamos en los resultados de la presión mínima. Se puede evidenciar que los diámetros de la conducción principal P01_A, P01_B y P01_C son superiores a los diámetros seleccionados para la solución del ajuste mínimo del proyecto original.

Tabla 18. Diseño de la red con caudal para 4 turnos.

Tubería	Nudo Ini	Nudo Fin	Long (m)	Q diseño (l/s)	Dint (mm)	DN (mm)	Velocidad (m/s)	Presión (mca)
P00_A	UGD_42	J30	260.30	82.91	379.80	400.00	0.73	50.61
P00_A_H22	J30	H22	36.10	5.34	104.40	110.00	0.62	28.40
P00_B	J30	J31	168.50	77.58	379.80	400.00	0.68	50.44
P01_A	J31	J32	497.70	28.86	299.20	315.00	0.41	50.19
P01_B	J32	H900	141.00	23.13	237.40	250.00	0.52	50.05
P01_C	H900	J88	9.20	18.30	213.60	225.00	0.51	50.04
P01_C_H20	J88	H20	2.30	9.22	117.80	125.00	0.85	27.38

4.1.2.4 Diseño a la demanda con caudal de diseño para 6 turnos

En este capítulo se presentan los resultados del diseño realizado mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida. Para realizar este método se inicia conociendo el caudal de diseño y para esta alternativa dicho caudal de diseño se calcula dividiendo el caudal total que trasiega cada tubería entre los 6 turnos.

En la tabla 19 se presentan los resultados de las primeras conducciones obtenidas mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida y el resultado de todas las conducciones se puede observar en el capítulo 1.1.2.2.4 del anexo de cálculos y resultados.

El cálculo se puede realizar de la misma manera en que fue explicado el método en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología y en el capítulo 1.1.1 del anexo se puede observar como guía el ajuste mínimo del diseño original para realizar el cálculo de la misma manera, pero con el caudal de diseño calculado para 6 turnos.

Es importante destacar que este diseño es más económico que las demás alternativas, ya que el caudal de diseño para 6 turnos es inferior que el caudal de los otros planteamientos, por lo tanto, la dimensión de las tuberías en comparación a los diseños realizados para las diferentes alternativas es mucho menor lo que hace que la red sea más económica y cumpliendo con los requerimientos hidráulicos. En la Tabla 19 se observa el resultado final del dimensionado de cada conducción secundaria, donde se puede mirar la columna del nudo inicial, nudo final, la longitud, el caudal de diseño con el que fue dimensionada cada tubería, el diámetro interno seleccionado y el diámetro nominal que refiere al diámetro interno, además las últimas dos columnas son los resultados obtenidos de la velocidad y la presión. En este diseño se observa que todas las presiones en los hidrantes son superiores a 25mca, sin embargo, hay velocidades inferiores a 0.5 m/s en algunas conducciones, que no es un problema grave para un sistema de riego, por lo tanto, nos enfocamos en los resultados de la presión mínima. Se puede evidenciar que los diámetros de la conducción principal P01_A y P01_B son inferiores a los diámetros seleccionados en la solución de las demás alternativas y así se puede evidenciar en general que la mayoría de los diámetros de las tuberías principales son menores en comparación a las demás alternativas.

Tabla 19. Diseño de la red con caudal para 6 turnos.

Tubería	Nudo Ini	Nudo Fin	Long (m)	Q diseño (l/s)	Dint (mm)	DN (mm)	Velocidad (m/s)	Presión (mca)
P00_A	UGD_42	J30	260.3	55.28	379.8	400	0.49	50.75
P00_A_H22	J30	H22	36.1	3.56	104.4	110	0.42	28.62
P00_B	J30	J31	168.5	51.72	379.8	400	0.46	50.68
P01_A	J31	J32	497.7	19.24	213.6	225	0.54	50.06
P01_B	J32	H900	141	15.42	190	200	0.54	49.85
P01_C	H900	J88	9.2	12.20	190	200	0.43	49.85
P01_C_H20	J88	H20	2.3	6.15	104.4	110	0.72	27.19

4.1.2.5 Cálculo de la garantía suministro para las alternativas diseñadas.

En la Tabla 20 se muestran los valores de la garantía suministro calculada para cada alternativa. Dicho cálculo se detalla en los capítulos 1.1.2.2.4, 1.1.1.1, 1.1.2.2.5, 1.1.1.2 y 1.1.2.2 del anexo. La GS de cada alternativa se muestra a continuación:

Tabla 20. Cálculo de la GS para las alternativas.

Hipótesis	GS %
4 turnos	96.03%
5 turnos modelo original	83%
6 turnos	61.23%
Ajuste mínimo del modelo original	80.14%
Modificación del trazado	85.08%

Una vez calculado el dimensionado de las distintas alternativas se calcula la garantía de suministro considerando que las redes ya dimensionadas por turnos van a funcionar como si fuera una red de riego a la demanda utilizando el método de Clement. Esto quiere decir que, con los diámetros ya dimensionados, se selecciona una garantía de suministro global tal que los caudales de diseño calculados por el método de Clement permitan una presión mínima de 25 mca. Esto se hace colocando los nuevos diámetros en la red y con la herramienta Solver, buscar que cuando la presión mínima sea 25mca en hidrantes, se calcule dicha GS% que está vinculada al caudal de diseño.

4.1.3 Fase III: Análisis de alternativas con modificación de trazado

En la Figura 20 se observa la topología de la red original y en la Figura 21 se observa el cambio de ubicación del cabezal. De esta manera se ahorran las tuberías P00_A y la tubería P00_B, además en la nueva ubicación, los ramales de las tuberías P01_A y P02_A se conectan directamente al cabezal lo que permite disminuir diámetros aguas abajo. Esta alternativa se hizo con ayuda del software EPANET, asignando una uniformidad de caudales por turnos mencionado en el capítulo 4.1.1 y verificando que se cumplan los requerimientos hidráulicos.

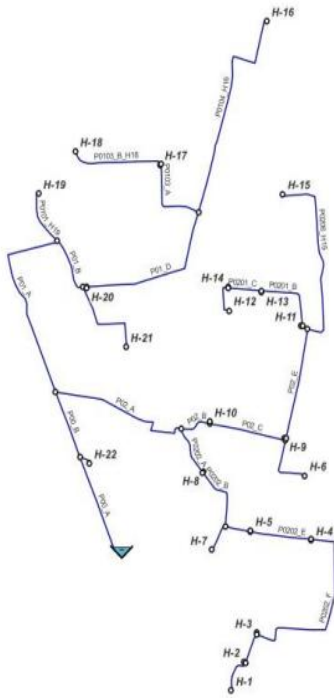


Figura 20. Topología de red original



Figura 21. Topología de la red con reubicación del cabezal.

En la Figura 22 se ilustra el modelo de la red con la modificación de ubicación del cabezal, el cual se puede observar que tiene un buen comportamiento funcionando al 20% de la demanda total, cumpliendo con la presión mínima tanto en hidrantes como en parcela. Esta solución es viable ya que esta reubicación del cabezal permitió disminuir diámetros en las tuberías secundarias. Para esta modelación también se tuvo en cuenta la asignación de turnos verificando que, en cada uno de ellos, se cumplan con los requerimientos establecidos por el proyecto.

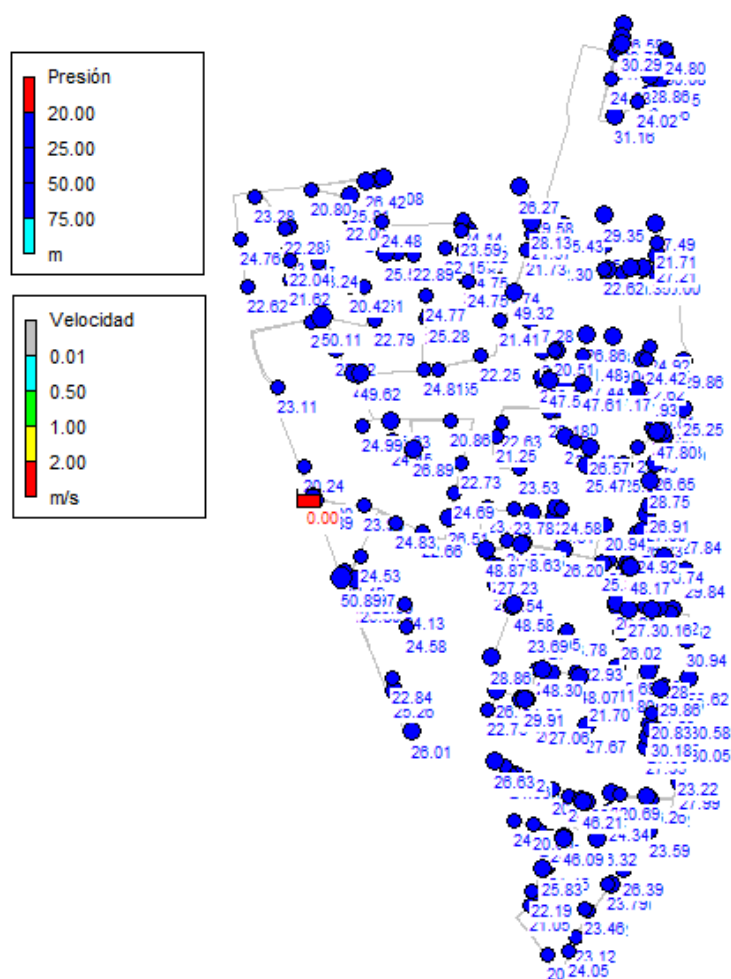


Figura 22. Simulación del sector 42 con la reubicación del cabezal.

En la Tabla 21 se observan los resultados de las primeras tuberías secundarias obtenidos en esta alternativa modelada en EPANET en el que se puede evidenciar la reducción del diámetro en las tuberías principales. Además, se puede mirar que, en la última columna, todas las presiones en hidrantes son superior a 25 mca. Los demás resultados se reflejan en el capítulo 1.1.3.1 del anexo de cálculos y resultados.

Tabla 21. Tuberías secundarias de alternativa modificación del cabezal.

Tubería	Nodo ini	Nodo fin	Long (m)	Dint (mm)	DN(mm)	Presión (mca)
P00_A_H22	J30	H22	36.1	152	160	28.79
P00_B	J30	J31	168.5	299.2	315	50.89
P01_A	J31	J32	497.7	237.4	250	50.11
P01_B	J32	H900	141	190	200	49.64
P01_C	H900	J88	9.2	190	200	49.62

En la Tabla 22 se observan los resultados de las primeras tuberías terciarias obtenidas en esta alternativa modelada en EPANET en el que se pudieron reducir diámetros de tuberías sobredimensionadas sin que afecte el buen funcionamiento de la red cumpliendo con los requisitos hidráulicos establecidos en el proyecto. Además, se puede mirar que, en la última columna, todas las presiones en las tomas de parcela son superior a 20 mca. Los demás resultados se reflejan en el capítulo 1.1.3.1 del anexo de cálculos y resultados.

Tabla 22. Tuberías terciarias de alternativa modificación del cabezal.

Tubería	Nodo ini	Nodo fin	Long (m)	Dint (mm)	DN(mm)	Presión (mca)
H-01-T-1	H1	H-01-P-1	237.2	55.4	63	20.69
H-01-T-10	H1	H-01-P-10	505.7	35.2	40	25.4
H-01-T-11	H1	H-01-P-11	512.5	55.4	63	23.79
H-01-T-12	H1	H-01-P-12	58.2	44	50	22.51
H-01-T-13	H1	H-01-P-13	387.2	44	50	23.12
H-01-T-14	H1	H-01-P-14	360.2	35.2	40	24.05

4.1.4 Fase IV: Comparación de soluciones y alternativas

En este sector es importante destacar que el diseño a la demanda siempre es más costoso que un diseño por turnos ya que el usuario siempre va a disponer del agua en cualquier momento, pero tendrá mayores variaciones en sus presiones debido a la simultaneidad.

Sabiendo que hay mayor control del consumo, menor costo por menores diámetros y capacidades menores es viable mantener la operación por turnos. En este análisis, la reubicación del cabezal es la solución más viable ya que permite mantener la misma tipología por turnos, distribuyendo de manera equitativa los caudales garantizando el buen comportamiento de la red cumpliendo con los requerimientos hidráulicos establecidos en el proyecto. En cambio, la solución del diseño a la demanda no es viable frente a la reubicación del cabezal porque es más costoso debido al aumento de los diámetros en las conducciones para poder abastecer de manera simultánea, además una de estas desventajas es la variación de presiones precisamente por la simultaneidad de usuarios en el riego.

La garantía de suministro en la alternativa de la modificación del trazado, no quiere decir que tenga un mal funcionamiento, sino que define este diseño como se comportaría frente a un diseño a la demanda y no por turnos. Además, no quiere decir que la alternativa del diseño a la demanda con un caudal correspondiente a 4 turnos sea la mejor opción porque tiene una GS alta, y eso se debe a que, a mayor caudal de diseño adoptado para el dimensionamiento de las tuberías manteniendo la presión mínima de 25 mca, mayor será la capacidad del sistema para satisfacer las demandas de manera simultánea y por esta razón mayor es el porcentaje de GS.

Una de las consecuencias que genera la operación por turnos es que, debido a las aperturas y cierres frecuentes, se generan transitorios, por eso es importante tener en cuenta los sistemas de protección contra estos golpes de ariete. Este es un fenómeno que ocurre con menor frecuencia en los diseños de riego a la demanda y es una ventaja frente a un riego por turnos.

4.2 Sector 43

4.2.1 Fase I: Revisión y mejora de proyecto original

Para el análisis de este sector fue importante modelar el diseño original en EPANET para revisar el funcionamiento basado en los datos calculados por el proyecto original. En la Figura 23 se observa la simulación del modelo original realizado en EPANET incluyendo las tuberías secundarias y las tuberías terciarias con nudos de consumo que son las parcelas. Se puede evidenciar un buen funcionamiento de la red presentando presiones en parcela superior a 20mca y en hidrantes superior a 25mca. Esta verificación se realizó con el 20% de las demandas totales y al comprobar el buen comportamiento del diseño de la red original, no se optó por realizar una mejora.

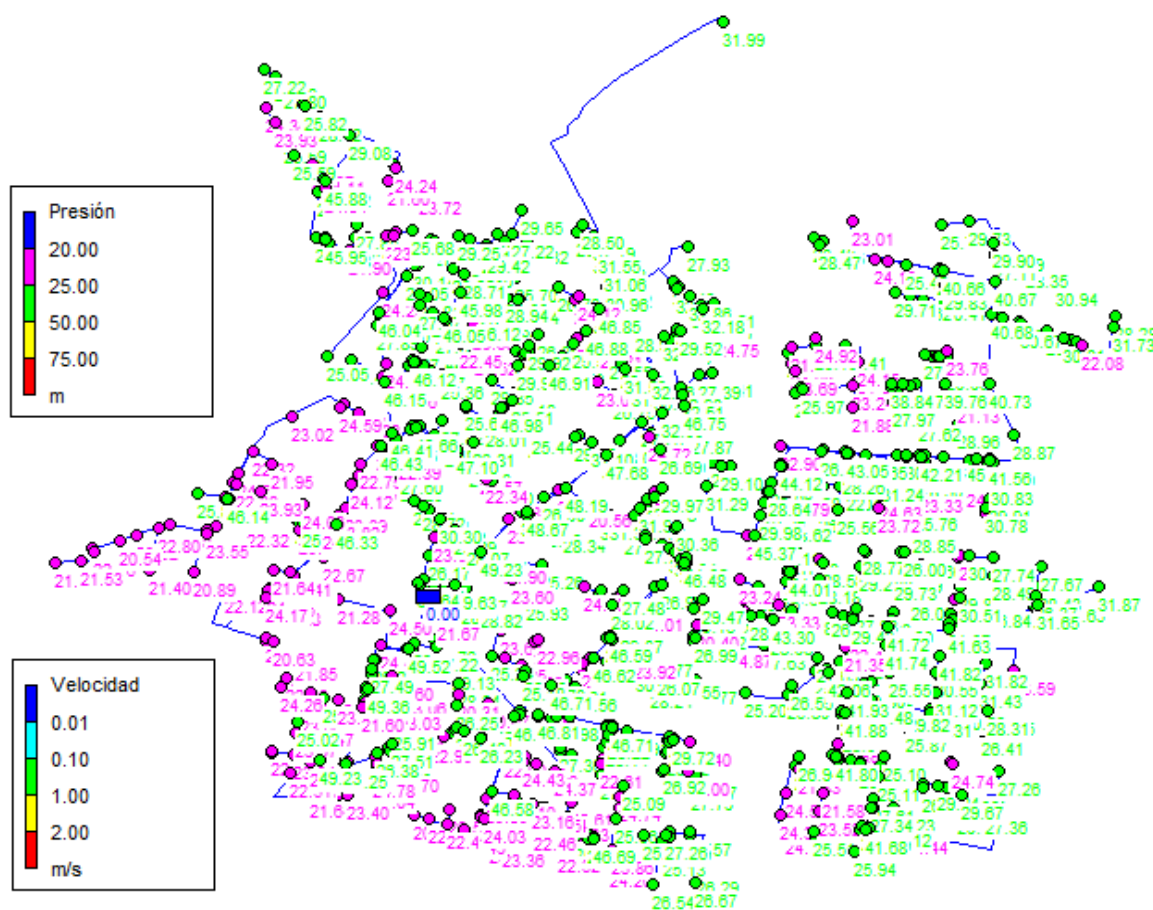


Figura 23. Simulación de la red de riego del sector 43 con el 20% del caudal demandado.

En el modelo original también se tuvieron en cuenta la asignación de turnos por uniformidad de caudales para verificar el funcionamiento de la red comprobando las presiones y velocidades. En la Tabla 23 se muestra la asignación de los turnos de manera equilibrada en la que se crean combinaciones entre parcelas para que la suma demandada en cada turno, sean parecidas y se pueda asemejar al 20% de la demanda total por hidrante. La tabla presenta una columna de turnos donde se enumera cada uno, una columna al hidrante al que pertenece. La columna siguiente son las combinaciones de las parcelas enumeradas y su demanda. La última columna hace referencia a la demanda total en cada turno. La asignación de los turnos de los demás hidrantes se puede observar en el capítulo 3.1 del anexo de cálculos y resultados.

Tabla 23. Combinaciones de riego de parcela por turnos.

Turno	Hidrante	Combinación por turno (Parcela-demanda)	Dema total (l/s)
1	H1	H-1-P-2 - 9.26	9.26
2	H1	H-1-P-3 - 5.38	5.38
3	H1	H-1-P-12 - 3.97, H-1-P-5 - 0.41	4.38
4	H1	H-1-P-4 - 3.39, H-1-P-9 - 0.99	4.38
5	H1	H-1-P-11 - 1.32, H-1-P-8 - 1.08, H-1-P-7 - 0.99, H-1-P-6 - 0.83, H-1-P-10 - 0.33	4.55

En este modelo, al verificar el funcionamiento en EPANET simulando los 5 turnos con las combinaciones asociadas a las demandas en parcela, se observa que la red no tiene problemas en cuanto a dicho funcionamiento, por lo tanto los diámetros de las tuberías secundarias se mantuvieron como las del diseño original pero las tuberías terciarias estaban sobredimensionadas y permitió reducir el diámetro en algunos tramos a parcela, lo que beneficio reducir el presupuesto. En la Tabla 24 se observan los resultados de las tuberías terciarias del hidrante H1, y los demas resultados se pueden observar en el capítulo 1.2.3 del anexo de la memoria de calculos y resultados.

Tabla 24. Ajuste de tuberías terciarias del modelo original.

Tubería	Long (m)	DN(mm)	Presión (mca)
H-1-T-1	76.4	40	29.21
H-1-T-2	15.2	90	20.81
H-1-T-3	97.3	90	24.04
H-1-T-4	2.8	50	26.28
H-1-T-5	192.1	40	27.47
H-1-T-6	320.5	50	26.13
H-1-T-7	222.1	50	25.82
H-1-T-8	14.1	40	25.8
H-1-T-9	64.2	40	24.41
H-1-T-10	147.2	40	28.57
H-1-T-11	308.8	63	25.83
H-1-T-12	186.5	75	22.92

4.2.2 Fase II: *Análisis de alternativas sin modificación del trazado*

Esta fase tiene gran importancia porque aquí se realiza el diseño de la red a la demanda, es decir que no hay una asignación de turnos, sino que se permite el riego en las parcelas de manera simultánea basado en la probabilidad de apertura de las tomas.

4.2.2.1 Diseño a la demanda con garantía suministro del 99%

En este capítulo se presentan los resultados del diseño realizado mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida. Para realizar este método se inicia conociendo el caudal de diseño y para esta alternativa dicho caudal de diseño se calcula mediante el método de Clement explicado en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología, sin embargo, el cálculo de este caudal de diseño para una GS de 99% se puede observar en el capítulo 1.2.1.1.1 del anexo de cálculos y resultados.

En la Tabla 25 se presentan los resultados de las primeras conducciones obtenidas mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida y el resultado de todas las conducciones se puede observar en el capítulo 1.2.1.1.3 del anexo de cálculos y resultados. El cálculo se puede realizar de la misma manera en que fue explicado el método en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología y en el capítulo 1.2.1.1.2 del anexo se puede observar el diseño de la red mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida.

Por otro lado, es importante destacar que este diseño es más costoso que el diseño del ajuste mínimo del proyecto, ya que el caudal de diseño es superior que el caudal para 5 turnos, por lo tanto, la dimensión de las tuberías aumenta lo que hace el diseño de la red sea más costoso, y en esta tabla se observa el resultado final del dimensionado de cada conducción secundaria, donde se puede mirar la columna del nudo inicial, nudo final, la longitud, el caudal de diseño con el que fue dimensionada cada tubería, el diámetro interno seleccionado y el diámetro nominal que refiere al diámetro interno. Además, las últimas dos columnas son los resultados obtenidos de la velocidad y la presión. En este diseño se observa que todas las presiones en los hidrantes son superiores a 25mca, sin embargo, hay velocidades inferiores a 0.5 m/s en algunas conducciones, que no es un problema grave para un sistema de riego, por lo tanto, nos enfocamos en los resultados de la presión mínima.

Tabla 25. Diseño a la demanda con GS 99%.

Tubería	Nudo Ini	Nudo Fin	Long (m)	Q diseño (l/s)	Dint (mm)	DN (mm)	Velocidad (m/s)	Presión (mca)
P00'	UGD_43	J250	16	249.83	379.8	400	2.21	30.44
P01_A'	J250	J147	89.5	156.11	340.8	355	1.71	49.15
P01_A_H2'	J147	H2'	22.6	9.16	104.4	110	1.07	29.74
P01_B'	J147	J148	103.1	148.16	340.8	355	1.62	48.59
P01_B_H3'	J148	H3'	124.5	7.16	104.4	110	0.84	29.05
P01_C'	J148	J149	150.7	145.33	340.8	355	1.59	47.82
P01_C_H4'	J149	H4'	9	7.99	104.4	110	0.93	30.60
P01_D'	J149	J150	110.3	92.04	299.2	315	1.31	47.36

4.2.2.2 Diseño a la demanda con garantía suministro del 95%

En este capítulo se presentan los resultados del diseño realizado mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida. Para realizar este método se inicia conociendo el caudal de diseño y para esta alternativa dicho caudal de diseño se calcula mediante el método de Clement explicado en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología, sin embargo, el cálculo de este caudal de diseño para una GS de 95% se puede observar en el capítulo 1.2.1.2.1 del anexo de cálculos y resultados.

En la Tabla 26 se presentan los resultados de las primeras conducciones obtenidas mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida y el resultado de todas las conducciones se puede observar en el capítulo 1.2.1.2.2 del anexo de cálculos y resultados. El cálculo se puede realizar de la misma manera en que fue explicado el método en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología y en el capítulo 1.2.1.1.2 del anexo se puede observar como guía del procedimiento utilizado para el dimensionado de la red mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida realizando el cálculo de la misma manera, pero con el caudal de diseño calculado para la GS del 95%.

En la Tabla 26 se observa el resultado final del dimensionado de cada conducción secundaria, donde se puede mirar la columna del nudo inicial, nudo final, la longitud, el caudal de diseño con el que fue dimensionada cada tubería, el diámetro interno seleccionado y el diámetro nominal que refiere al diámetro interno, además las últimas dos columnas son los resultados obtenidos de la velocidad y la presión.

En este diseño se observa que todas las presiones en los hidrantes son superiores a 25mca, sin embargo, hay velocidades inferiores a 0.5 m/s en algunas conducciones, que no es un problema grave para un sistema de riego, por lo tanto, nos enfocamos en los resultados de la presión mínima.

Tabla 26. Diseño a la demanda con GS 95%.

Tubería	Nudo Ini	Nudo Fin	Long (m)	Q diseño (l/s)	Dint (mm)	DN (mm)	Velocidad (m/s)	Presión (mca)
P00'	UGD_43	J250	16	222.99	379.8	400	1.97	30.47
P01_A'	J250	J147	89.5	144.99	340.8	355	1.59	49.24
P01_A_H2'	J147	H2'	22.6	7.40	104.4	110	0.86	29.91
P01_B'	J147	J148	103.1	138.44	340.8	355	1.52	48.75
P01_B_H3'	J148	H3'	124.5	5.80	104.4	110	0.68	29.46
P01_C'	J148	J149	150.7	135.72	340.8	355	1.49	48.07
P01_C_H4'	J149	H4'	9	6.58	104.4	110	0.77	30.87
P01_D'	J149	J150	110.3	84.20	299.2	315	1.20	47.68

4.2.2.3 Diseño a la demanda con caudal de diseño para 4 turnos

En este capítulo se presentan los resultados del diseño realizado mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida. Para realizar este método se inicia conociendo el caudal de diseño y para esta alternativa dicho caudal de diseño se calcula dividiendo el caudal total que trasiega cada tubería entre los 4 turnos.

En la Tabla 27 se presentan los resultados de las primeras conducciones obtenidas mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida y el resultado de todas las conducciones se puede observar en el capítulo 1.2.1.3 del anexo de cálculos y resultados. El cálculo se puede realizar de la misma manera en que fue explicado el método en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología y en el capítulo 1.2.1.1.2 del anexo se puede observar como guía del procedimiento utilizado para el dimensionado de la red mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida realizando el cálculo de la misma manera, pero adoptando el caudal para 4 turnos.

En la Tabla 27 se observa el resultado final del dimensionado de cada conducción secundaria, donde se puede mirar la columna del nudo inicial, nudo final, la longitud, el caudal de diseño con el que fue dimensionada cada tubería, el diámetro interno seleccionado y el diámetro nominal que refiere al diámetro interno, además las últimas dos columnas son los resultados obtenidos de la velocidad y la presión. En este diseño se observa que todas las presiones en los hidrantes son superiores a 25mca, sin embargo, hay velocidades inferiores a 0.5 m/s en algunas conducciones, que no es un problema grave para un sistema de riego, por lo tanto, nos enfocamos en los resultados de la presión mínima.

Tabla 27. Diseño de la red con caudal para 4 turnos.

Tubería	Nudo Ini	Nudo Fin	Long (m)	Q diseño (l/s)	Dint (mm)	DN (mm)	Velocidad (m/s)	Presión (mca)
P00'	UGD_43	J250	16	237.36	379.8	400	2.10	30.46
P01_A'	J250	J147	89.5	177.28	379.8	400	1.56	49.30
P01_A_H2'	J147	H2'	22.6	4.74	104.4	110	0.55	30.06
P01_B'	J147	J148	103.1	172.54	379.8	400	1.52	48.87
P01_B_H3'	J148	H3'	124.5	3.74	104.4	110	0.44	29.88
P01_C'	J148	J149	150.7	168.79	340.8	355	1.85	47.84
P01_C_H4'	J149	H4'	9	4.73	104.4	110	0.55	30.67
P01_D'	J149	J150	110.3	97.92	299.2	315	1.39	47.33

4.2.2.4 Diseño a la demanda con caudal de diseño para 6 turnos

En este capítulo se presentan los resultados del diseño realizado mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida. Para realizar este método se inicia conociendo el caudal de diseño y para esta alternativa dicho caudal de diseño se calcula dividiendo el caudal total que trasiega cada tubería entre los 6 turnos.

En la Tabla 28 se presentan los resultados de las primeras conducciones obtenidas mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida y el resultado de todas las conducciones se puede observar en el capítulo 1.2.1.4 del anexo de cálculos y resultados. El cálculo se puede realizar de la misma manera en que fue explicado el método en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología y en el capítulo 1.2.1.1.2 del anexo se puede observar como guía del procedimiento utilizado para el dimensionado de la red mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida realizando el cálculo de la misma manera, pero adoptando el caudal para 6 turnos.

Es importante destacar que este diseño es más económico que las demás alternativas, ya que el caudal de diseño para 6 turnos es inferior que el caudal de los otros planteamientos, por lo tanto, la dimensión de las tuberías en comparación a los diseños realizados para las diferentes alternativas es mucho menor lo que hace que la red sea más económica y cumpliendo con los requerimientos hidráulicos. En la Tabla 28 se observa el resultado final del dimensionado de cada conducción secundaria, donde se puede mirar la columna del nudo inicial, nudo final, la longitud, el caudal de diseño con el que fue dimensionada cada tubería, el diámetro interno seleccionado y el diámetro nominal que refiere al diámetro interno, además las últimas dos columnas son los resultados obtenidos de la velocidad y la presión. En este diseño se observa que todas las presiones en los hidrantes son superiores a 25mca, sin embargo, hay velocidades inferiores a 0.5 m/s en algunas conducciones, que no es un problema grave para un sistema de riego, por lo tanto, nos enfocamos en los resultados de la presión mínima. En los resultados se puede evidenciar que los diámetros de la conducción principal son inferiores a los diámetros seleccionados en la solución de las demás alternativas debido a que el caudal con el que se diseñó la red es menor frente a los otros planteamientos, por lo tanto, la capacidad de las conducciones es menor, permitiendo elegir diámetros menores.

Tabla 28. Diseño de la red con caudal para 6 turnos.

Tubería	Nudo Ini	Nudo Fin	Long (m)	Q diseño (l/s)	Dint (mm)	DN (mm)	Velocidad (m/s)	Presión (mca)
P00'	UGD_43	J250	16	158.24	340.8	355	1.73	30.52
P01_A'	J250	J147	89.5	118.18	340.8	355	1.30	49.44
P01_A_H2'	J147	H2'	22.6	3.16	104.4	110	0.37	30.23
P01_B'	J147	J148	103.1	115.02	340.8	355	1.26	49.09
P01_B_H3'	J148	H3'	124.5	2.50	104.4	110	0.29	30.24
P01_C'	J148	J149	150.7	112.53	340.8	355	1.23	48.61
P01_C_H4'	J149	H4'	9	3.16	104.4	110	0.37	31.44

4.2.2.5 Cálculo de la garantía suministro para las alternativas diseñadas.

En la Tabla 29 se muestran los valores de la garantía suministro calculada para cada alternativa. Dicho cálculo se detalla en los capítulos 1.2.1.3.1, 1.2.1.5, 1.2.1.4.1 y 1.2.2 del anexo. La GS de cada alternativa se muestra a continuación:

Tabla 29. Cálculo de la GS para las alternativas.

Hipótesis	GS
4 turnos	94.07%
5 turnos modelo original	80.57%
6 turnos	51.09%
Modificación del trazado	93.25%

Una vez calculado el dimensionado de las distintas alternativas se calcula la garantía de suministro considerando que las redes ya dimensionadas por turnos van a funcionar como si fuera una red de riego a la demanda utilizando el método de Clement. Esto quiere decir que, con los diámetros ya dimensionados, se selecciona una garantía de suministro global tal que los caudales de diseño calculados por el método de Clement permitan una presión mínima de 25 mca. Esto se hace colocando los nuevos diámetros en la red y con la herramienta Solver, buscar que cuando la presión mínima sea 25mca en hidrantes, se calcule dicha GS% que está vinculada al caudal de diseño.

4.2.3 Fase III: Análisis de alternativas con modificación del trazado

En la Figura 24 se observa la topología de la red original y en la Figura 25 se observa la topología de la red contemplando la modificación de ubicación de los hidrantes. En esta fase no se tuvo en cuenta la reubicación del cabezal ya que en el diseño se encuentra muy bien ubicado, de tal manera que los demás ramales se pudieron conectar directamente, a diferencia que en el sector 42 se encontraba alejado de la red. En este tipo de casos lo mejor es ubicar el cabezal en una zona centrada de los hidrantes porque así los diámetros que se utilizarían para la red serían mucho menor que si el cabezal se encontrara alejado y conectada la red a una única tubería principal.

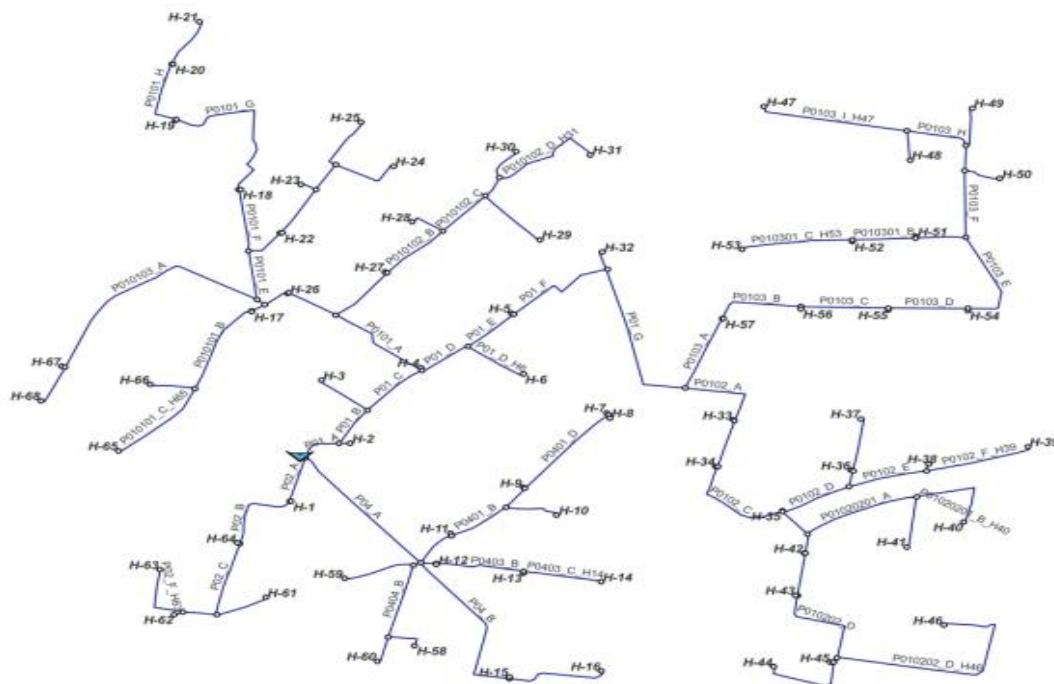


Figura 24. Topología de la red original del sector 43

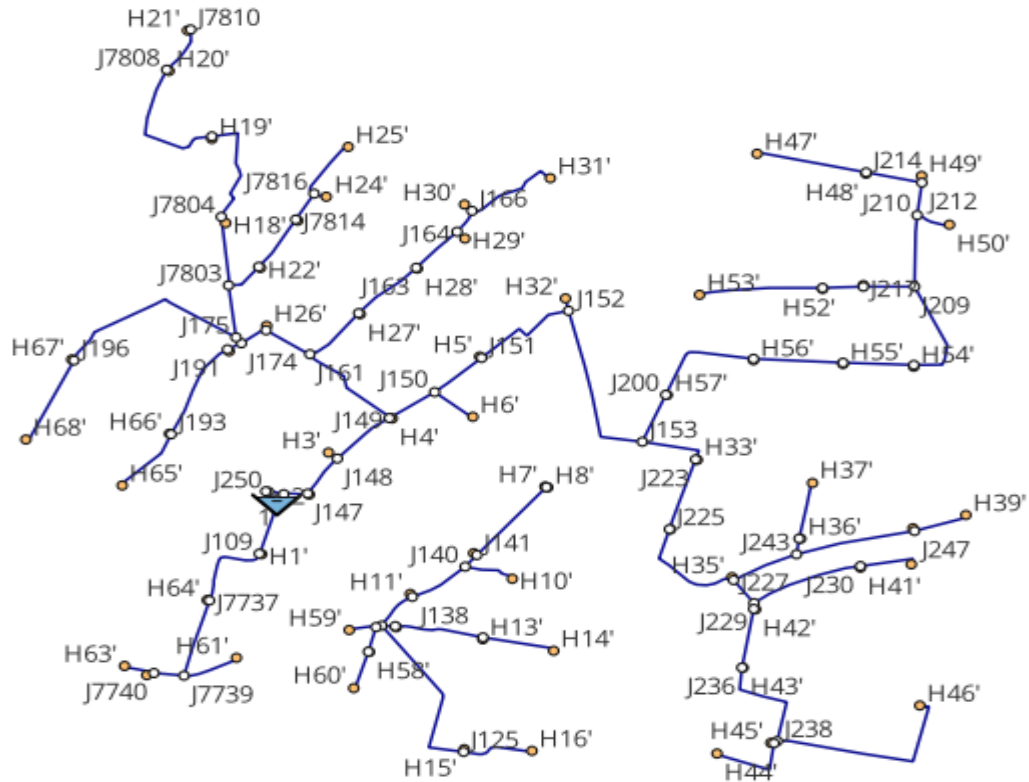


Figura 25. Topología de la red del sector 43 con la modificación de ubicación de hidrantes

En la Figura 26 se observa el buen funcionamiento cumpliendo los requisitos establecidos en el proyecto. La modificación del trazado se realizó ubicando los hidrantes primeramente en zonas accesibles y segundo, cercanos a parcelas que el mismo hidrante abastece, pero con menor cota. De esta manera se logra obtener mayor altura piezométrica y así mismo se permite poder reducir el diámetro en tuberías secundarias. Cabe destacar que la consecuencia de esta alternativa repercute en el aumento de las longitudes de las tuberías terciarias. En el modelo revisado en EPANET, se tuvo en cuenta la simulación asignando los turnos de riego mencionados en la Tabla 23 mediante patrones del 1 al 5 para verificar el funcionamiento y también se verificó el funcionamiento con el 20% de la demanda de todas las parcelas, como se puede evidenciar en la Figura 26.

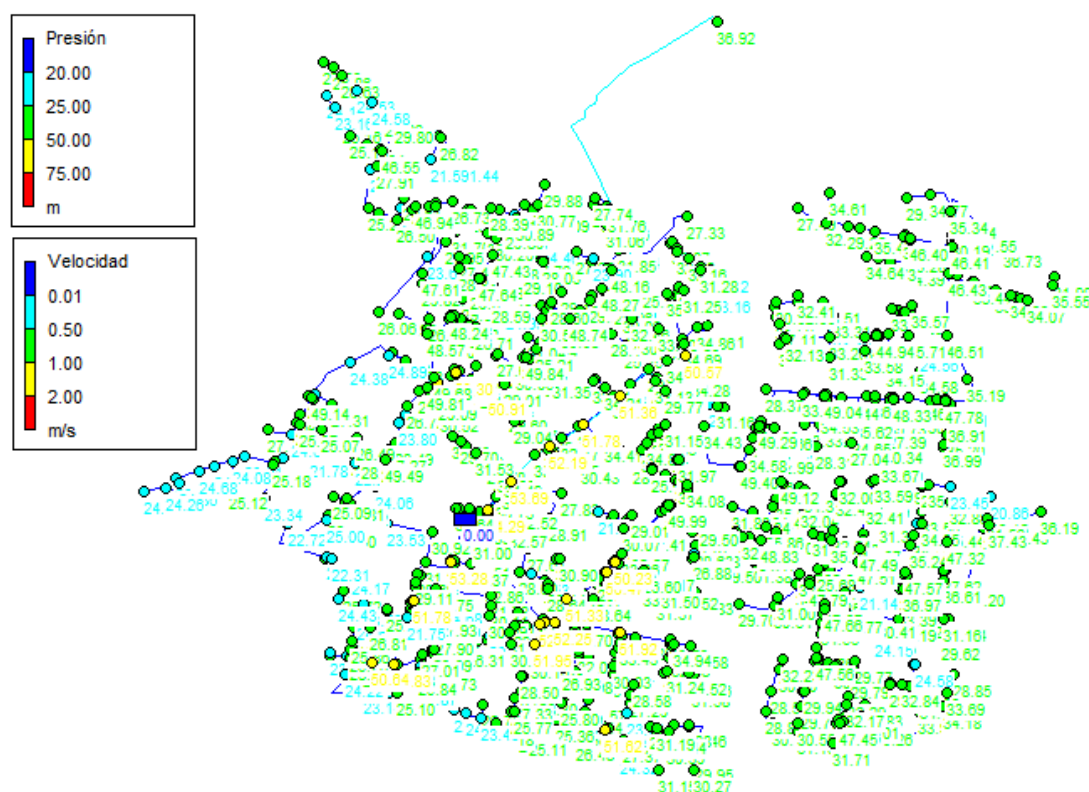


Figura 26. Simulación del sector 43 con la modificación de ubicación de los hidrantes.

En la Tabla 30 se observan los resultados de las primeras tuberías secundarias obtenidos en esta alternativa modelada en EPANET en el que se puede evidenciar la reducción del diámetro en las tuberías principales. Además, se puede mirar que, en la última columna, todas las presiones en hidrantes son superior a 25 mca. Los demás resultados se reflejan en el capítulo 1.2.4 del anexo de cálculos y resultados.

Tabla 30. Tuberías secundarias de alternativa modificación de la ubicación de hidrantes.

Tubería	Nodo ini	Nodo fin	Long (m)	Din (mm)	DN (mm)	Presión (mca)
P00'	UGD_43	J250	16	474.6	500	35.61
P01_A'	J250	J147	89.5	340.8	355	54.29
P01_A_H2'	J147	H2'	4	152	160	35.38
P01_B'	J147	J148	103.1	340.8	355	53.69
P01_B_H3'	J148	H3'	80.5	132.4	140	35.08
P01_C'	J148	J149	150.7	299.2	315	52.19
P01_C_H4'	J149	H4'	5	152	160	35.52
P01_D'	J149	J150	110.3	299.2	315	51.78

4.2.4 Fase IV: *Comparación de soluciones y alternativas*

En el análisis de este sector se evidencia que la modificación del trazado cambiando de ubicación los hidrantes repercute en el aumento de las longitudes de las tuberías terciarias, sin embargo, esto no afecta el coste de la red ya que, gracias a la reubicación de los hidrantes, se reduce el coste de las tuberías secundarias debido al redimensionamiento de los diámetros. También hay que tener en cuenta que hay costes que influyen directamente en esta alternativa debido a la reubicación.

El diseño a la demanda adaptando los caudales de diseño en las distintas alternativas me parece que es una buena opción, pero no es la mejor porque en un sistema de riego lo óptimo es controlar el consumo mediante la asignación de turnos. Esto quiere decir que al no destinar un control del consumo para el riego debido al riego a la demanda mediante la simultaneidad presenta como desventaja este desperdicio del agua y mucha variación en la presión de servicio precisamente por la apertura de las tomas por los usuarios de manera simultánea.

En este sector la opción más viable frente a todas las alternativas es optar con mantener el diseño original del proyecto con el riego asignado a 5 turnos porque al revisar su funcionamiento en el capítulo 4.2.1 se comprobó que el diseño de las tuberías secundarias permite que en los hidrantes la presión sea superior a 25 mca, sin embargo, en las redes terciarias se pudo redimensionar el diámetro de algunas conducciones lo que permitió reducir un poco el coste de dichas conducciones que van a parcela. Los resultados de estas tuberías se pueden observar en el capítulo 1.2.3 del anexo de los cálculos y resultados.

La garantía de suministro del modelo original de riego a 5 turnos no significa que la red tenga un mal funcionamiento, sino que define este diseño como se comportaría frente a un diseño a la demanda y no por turnos. Además, no quiere decir que la alternativa del diseño a la demanda con un caudal correspondiente a 4 turnos sea la mejor opción porque tenga una GS alta, sino que eso se debe a que, a mayor caudal de diseño adoptado para el dimensionamiento de las tuberías manteniendo la presión mínima de 25 mca, mayor será la capacidad del sistema para satisfacer las demandas de manera simultánea y por esta razón mayor es el porcentaje de GS.

4.3 Sector 44

4.3.1 Fase I: Revisión y mejora de proyecto original

En esta fase se ha revisado el funcionamiento del proyecto original modelándolo en EPANET con todos los datos calculados, inicialmente se realiza la verificación con el 20% de la demanda total de las parcelas como si funcionara de manera simultánea y de esta manera se comprueba la presión en los hidrantes. Sin embargo, también se han asignado turnos adoptando patrones del 1 al 5, en la cual cada turno presenta combinaciones de parcelas para que la demanda total sea equilibrada y se pueda asemejar el 20% de la demanda total que debería trasegar en las tuberías secundarias. Además de comprobar la presión en parcelas e hidrantes, también se puede comprobar las velocidades ya que no están demandando el 20% de todas las parcelas de manera simultánea. En la Figura 27 se ilustra la simulación del modelo funcionando con el 20% de la demanda total, el que se puede evidenciar que hay presiones por debajo de 25mca y al revisar los resultados se comprueba que hay hidrantes por debajo de esta presión requerida, sin embargo, hay tomas en parcelas que están entre 20 y 25 mca por eso es que aparecen en rojo en la imagen, pero no tiene inconveniente alguno porque es lo requerido para la presión en parcela.

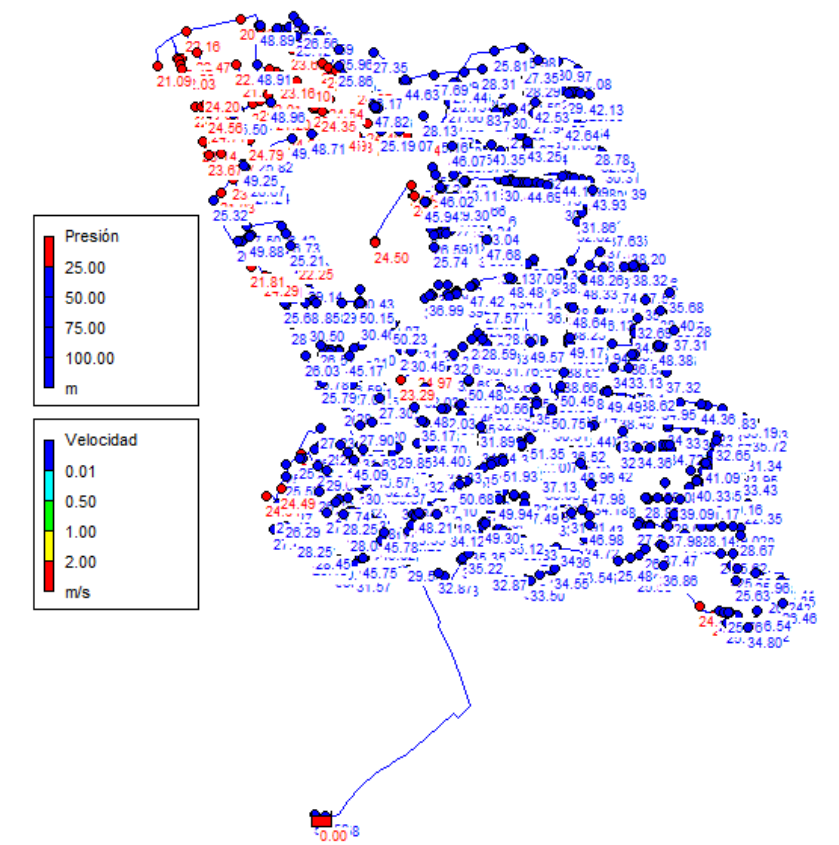


Figura 27. Simulación de la red de riego del sector 44 con el 20% del caudal demandado.

Después de revisar los resultados de las presiones en los hidrantes, que se pueden mirar en la Tabla 31, se comprueba que el hidrante H65, H71, H70, H64, H59, H67 Y H52, tienen presiones inferior a 25mca, por lo tanto se procede a realizar un ajuste mínimo de la red para que cumpla con el funcionamiento requerido mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida.

Tabla 31. Resultados de las presiones en hidrantes

ID Nudo	Presión (mca)
H1"	36.55
H2"	37.61
H3"	37.42
H4"	36.09
H5"	35.33
H6"	36.79
H7"	35.45
H8"	33.92
H9"	31.76
H10"	26.24
H11"	31.15
H12"	33.77
H13"	35.45
H14"	35.11
H15"	36.76
H16"	37.64
H17"	37.33
H18"	35.55
H19"	34.15
H20"	40.22
H21"	35.57
H22"	34.71
H23"	35.23
H24"	32.54

ID Nudo	Presión (mca)
H25"	30.98
H26"	28.78
H27"	27.51
H28"	26.13
H29"	28.34
H30"	26.08
H31"	25.6
H32"	39.15
H33"	38.59
H34"	37.6
H35"	37.66
H36"	38.63
H37"	39.41
H38"	39.24
H39"	33.41
H40"	32.49
H41"	31.06
H42"	32.84
H43"	30.3
H44"	33.17
H45"	29.75
H46"	30.27
H47"	29.7
H48"	26.91

ID Nudo	Presión (mca)
H49"	31.37
H50"	29.4
H51"	29.22
H52"	24.9
H53"	30.12
H54"	28.12
H55"	27.86
H56"	27.17
H57"	25.95
H58"	27.62
H59"	24.47
H60"	30.3
H61"	26.75
H62"	27.6
H63"	25.88
H64"	24.38
H65"	23.04
H66"	26.4
H67"	24.82
H68"	29.07
H69"	26.5
H70"	24.33
H71"	23.08

En la Tabla 32 , se muestra la asignación de los turnos de manera equilibrada en la que se crean combinaciones entre parcelas para que la suma demandada en cada turno, sean parecidas y se pueda asemejar al 20% de la demanda total por hidrante. La tabla presenta una columna de turnos donde se enumera cada uno, una columna al hidrante al que pertenece. La columna siguiente son las combinaciones de las parcelas enumeradas y su demanda. La última columna

hace referencia a la demanda total en cada turno. La asignación de los turnos de los demás hidrantes se puede observar en el capítulo 3.3 del anexo de cálculos y resultados.

Tabla 32. Combinaciones de riego de parcela por turnos.

Turnos	Hidrante	Combinación por turno (Parcela-demanda)	Suma Demanda (l/s)
1	H1	P11 - 3.64	3.64
2	H1	P1 - 3.31	3.31
3	H1	P5 - 1.99, P4 - 0.66, P7 - 0.33	2.98
4	H1	P6 - 1.32, P12 - 1.32, P8 - 0.33	2.97
5	H1	P3 - 1.32, P2 - 1.08, P10 - 0.50, P9 - 0.17	3.07

En la Tabla 33 se presentan los resultados de las primeras conducciones obtenidas mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida y el resultado de todas las conducciones se puede observar en el capítulo 1.3.1.3 del anexo de cálculos y resultados. El cálculo se puede mirar en el capítulo 1.3.1 del anexo. Por otro lado, en esta tabla se observa el resultado final del dimensionado de cada conducción secundaria, donde se puede mirar la columna del nudo inicial, nudo final, la longitud, el caudal de diseño con el que fue dimensionada cada tubería, el diámetro interno seleccionado y el diámetro nominal que refiere al diámetro interno. Además, las últimas dos columnas son los resultados obtenidos de la velocidad y la presión. En este diseño se observa que todas las presiones en los hidrantes son superiores a 25mca, sin embargo, hay velocidades inferiores a 0.5 m/s en algunas conducciones, que no es un problema grave para un sistema de riego, por lo tanto, nos enfocamos en los resultados de la presión mínima.

Tabla 33. Ajuste mínimo de la red original para 5 turnos

Tubería	Nudo Ini	Nudo Fin	Long (m)	Q diseño (l/s)	Dint (mm)	DN (mm)	Velocidad (m/s)	Presión (mca)
P00"	UGD_44	J252	9	203.96	474.6	500	1.15	53.57
P01_A"	J252	J253	15.4	40.14	213.6	225	1.12	53.50
P01_B"	J253	J262	32.6	32.03	190	200	1.13	53.32
P01_C"	J262	J264	141.7	29.92	190	200	1.06	52.63
P01_C_H2"	J262	H2"	2.3	2.11	104.4	110	0.25	39.40
P01_C_H6"	J264	H6"	9.9	2.48	104.4	110	0.29	38.73
P01_D"	J264	J283	201	24.12	190	200	0.85	51.97
P01_D_H8"	J283	H8"	5.1	3.01	104.4	110	0.35	37.68
P01_E"	J283	J267	8.9	21.11	190	200	0.74	51.95
P01_F"	J267	J273	210.6	14.21	132.4	140	1.03	50.43
P01_G"	J273	J279	87.4	5.84	104.4	110	0.68	50.03

4.3.2 Fase II: Análisis de alternativas sin modificación del trazado

Esta fase tiene gran importancia porque aquí se realiza el diseño de la red a la demanda, es decir que no hay una asignación de turnos, sino que se permite el riego en las parcelas de manera simultánea basado en la probabilidad de apertura de las tomas.

4.3.2.1 Diseño a la demanda con garantía suministro del 99%

En este capítulo se presentan los resultados del diseño realizado mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida. Para realizar este método se inicia conociendo el caudal de diseño y para esta alternativa dicho caudal de diseño se calcula mediante el método de Clement explicado en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología, sin embargo, el cálculo de este caudal de diseño para una GS de 99% se puede apreciar en el capítulo 1.3.2.1.1 del anexo de cálculos y resultados.

En la Tabla 34 se presentan los resultados de las primeras conducciones obtenidas mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida y el resultado de todas las conducciones se puede observar en el capítulo 1.3.2.1.2 del anexo de cálculos y resultados. El cálculo se puede realizar de la misma manera en que fue explicado el método en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología y en el capítulo 1.3.1 del anexo se puede observar como guía el ajuste mínimo del diseño original para realizar el cálculo de la misma manera, pero con el caudal de diseño calculado para la GS del 99%.

Por otro lado, es importante destacar que este diseño es más costoso que el diseño del ajuste mínimo del proyecto, ya que el caudal de diseño es superior que el caudal para 5 turnos, por lo tanto, la dimensión de las tuberías aumenta lo que hace el diseño de la red sea más costoso, y en esta tabla se observa el resultado final del dimensionado de cada conducción secundaria, donde se puede mirar la columna del nudo inicial, nudo final, la longitud, el caudal de diseño con el que fue dimensionada cada tubería, el diámetro interno seleccionado y el diámetro nominal que refiere al diámetro interno. Además, las últimas dos columnas son los resultados obtenidos de la velocidad y la presión. En este diseño se observa que todas las presiones en los hidrantes son superiores a 25mca, sin embargo, hay velocidades inferiores a 0.5 m/s en algunas conducciones, que no es un problema grave para un sistema de riego, por lo tanto, nos enfocamos en los resultados de la presión mínima.

Tabla 34. Diseño a la demanda con GS 99%.

Tubería	Nudo Ini	Nudo Fin	Long (m)	Q diseño (l/s)	Dint (mm)	DN (mm)	Velocidad (m/s)	Presión (mca)
P00"	UGD_44	J252	9	208.88	474.6	500	1.12	53.57
P01_A"	J252	J253	15.4	49.13	237.4	250	1.11	53.51
P01_B"	J253	J262	32.6	40.79	213.6	225	1.14	53.35
P01_C"	J262	J264	141.7	38.75	213.6	225	1.08	52.73
P01_C_H2"	J262	H2"	2.3	4.53	104.4	110	0.53	39.43
P01_C_H6"	J264	H6"	9.9	5.76	104.4	110	0.67	38.79
P01_D"	J264	J283	201	32.89	190	200	1.16	51.57
P01_D_H8"	J283	H8"	5.1	6.59	104.4	110	0.77	37.25
P01_E"	J283	J267	8.9	29.71	190	200	1.05	51.52
P01_F"	J267	J273	210.6	22.41	190	200	0.79	50.92
P01_G"	J273	J279	87.4	11.56	104.4	110	1.35	49.55

4.3.2.2 Diseño a la demanda con garantía suministro del 95%

En este capítulo se presentan los resultados del diseño realizado mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida. Para realizar este método se inicia conociendo el caudal de diseño y para esta alternativa dicho caudal de diseño se calcula mediante el método de Clement explicado en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología, sin embargo, el cálculo de este caudal de diseño para una GS de 95% se puede observar en el capítulo 1.3.2.2.1 del anexo de cálculos y resultados.

En la Tabla 35 se presentan los resultados de las primeras conducciones obtenidas mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida y el resultado de todas las conducciones se puede observar en el capítulo 1.3.2.2.2 del anexo de cálculos y resultados. El cálculo se puede realizar de la misma manera en que fue explicado el método en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología y en el capítulo 1.3.1 del anexo se puede observar como guía el ajuste mínimo del diseño original para realizar el cálculo de la misma manera, pero con el caudal de diseño calculado para la GS del 95%.

Por otro lado, es importante destacar que este diseño es más costoso que el diseño del ajuste mínimo del proyecto y un poco más económico que el diseño con GS del 99%, ya que el caudal de diseño es superior que el caudal para 5 turnos e inferior al caudal para GS del 99%, por lo tanto, la dimensión de las tuberías en comparación al diseño del ajuste mínimo del diseño original aumenta lo que hace el diseño de la red sea más costoso, y en la Tabla 35 se observa el resultado final del dimensionado de cada conducción secundaria, donde se puede mirar la

columna del nudo inicial, nudo final, la longitud, el caudal de diseño con el que fue dimensionada cada tubería, el diámetro interno seleccionado y el diámetro nominal que refiere al diámetro interno, además las últimas dos columnas son los resultados obtenidos de la velocidad y la presión. En este diseño se observa que todas las presiones en los hidrantes son superiores a 25mca, sin embargo, hay velocidades inferiores a 0.5 m/s en algunas conducciones, que no es un problema grave para un sistema de riego, por lo tanto, nos enfocamos en los resultados de la presión mínima. En comparación con el diseño de GS del 99%, las tuberías principales de esta red ramificada como la P01_A'', P01_C'' y P01_F'' son diámetros inferiores ya que el Q de diseño es menor y generalmente sobre todo en la red principal, en algunos tramos de conducción los diámetros siguen siendo menores.

Tabla 35. Diseño a la demanda con GS 95%.

Tubería	Nudo Ini	Nudo Fin	Long (m)	Q diseño (l/s)	Dint (mm)	DN (mm)	Velocidad (m/s)	Presión (mca)
P00"	UGD_44	J252	9	197.47	474.6	500	1.12	53.57
P01_A"	J252	J253	15.4	44.54	213.6	250	1.24	53.49
P01_B"	J253	J262	32.6	36.66	213.6	225	1.02	53.36
P01_C"	J262	J264	141.7	34.70	190	225	1.22	52.45
P01_C_H2"	J262	H2"	2.3	3.72	104.4	110	0.43	39.43
P01_C_H6"	J264	H6"	9.9	4.68	104.4	110	0.55	38.53
P01_D"	J264	J283	201	29.14	190	200	1.03	51.52
P01_D_H8"	J283	H8"	5.1	5.39	104.4	110	0.63	37.21
P01_E"	J283	J267	8.9	26.16	190	200	0.92	51.49
P01_F"	J267	J273	210.6	19.31	152	200	1.06	50.13
P01_G"	J273	J279	87.4	9.60	104.4	110	1.12	49.15

4.3.2.3 Diseño a la demanda con caudal de diseño para 4 turnos

En este capítulo se presentan los resultados del diseño realizado mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida. Para realizar este método se inicia conociendo el caudal de diseño y para esta alternativa dicho caudal de diseño se calcula dividiendo el caudal total que trasiega cada tubería entre los 4 turnos.

En la Tabla 36 se presentan los resultados de las primeras conducciones obtenidas mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida y el resultado de todas las conducciones se puede observar en el capítulo 1.3.2.3 del anexo de cálculos y resultados. El cálculo se puede realizar de la misma manera en que fue explicado el método en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología y en el capítulo 1.3.1 del

anexo se puede observar como guía el ajuste mínimo del diseño original para realizar el cálculo de la misma manera, pero con el caudal de diseño calculado para 4 turnos.

Es importante destacar que este diseño es más costoso que el diseño del ajuste mínimo del proyecto, ya que el caudal de diseño para 4 turnos es superior que el caudal para 5 turnos, por lo tanto, la dimensión de las tuberías en comparación al diseño del ajuste mínimo del diseño original aumenta lo que hace el diseño de la red sea más costoso, y en esta tabla se observa el resultado final del dimensionado de cada conducción secundaria, donde se puede mirar la columna del nudo inicial, nudo final, la longitud, el caudal de diseño con el que fue dimensionada cada tubería, el diámetro interno seleccionado y el diámetro nominal que refiere al diámetro interno, además las últimas dos columnas son los resultados obtenidos de la velocidad y la presión. En este diseño se observa que todas las presiones en los hidrantes son superiores a 25mca, sin embargo, hay velocidades inferiores a 0.5 m/s en algunas conducciones, que no es un problema grave para un sistema de riego, por lo tanto, nos enfocamos en los resultados de la presión mínima. Se puede evidenciar que los diámetros de la conducción principal P01_A'', P01_B'', P01_C'' y P01_F'' son superiores a los diámetros seleccionados para la solución del ajuste mínimo del proyecto original. En general, la conducción principal es donde más varían los cambios de diámetros frente a cada solución y esto es debido a la cantidad de caudal que debe circular, entre mayor caudal, mayor capacidad debe tener la tubería. Sabiendo esto, es donde se diferencian entre todas las alternativas, pero claramente comprobando que cumpla la presión requerida.

Tabla 36. Diseño de la red con caudal para 4 turnos.

Tubería	Nudo Ini	Nudo Fin	Long (m)	Q diseño (l/s)	Dint (mm)	DN (mm)	Velocidad (m/s)	Presión (mca)
P00"	UGD_44	J252	9	254.95	474.6	500	1.44	53.56
P01_A"	J252	J253	15.4	50.18	237.4	250	1.13	53.50
P01_B"	J253	J262	32.6	40.04	213.6	225	1.12	53.35
P01_C"	J262	J264	141.7	37.40	213.6	225	1.04	52.76
P01_C_H2"	J262	H2"	2.3	2.64	104.4	110	0.31	39.42
P01_C_H6"	J264	H6"	9.9	3.10	104.4	110	0.36	38.86
P01_D"	J264	J283	201	30.15	190	200	1.06	51.77
P01_D_H8"	J283	H8"	5.1	3.76	104.4	110	0.44	37.47
P01_E"	J283	J267	8.9	26.39	190	200	0.93	51.74
P01_F"	J267	J273	210.6	17.77	152	160	0.98	50.57
P01_G"	J273	J279	87.4	7.30	104.4	110	0.85	49.97

4.3.2.4 Diseño a la demanda con caudal de diseño para 6 turnos

En este capítulo se presentan los resultados del diseño realizado mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida. Para realizar este método se inicia conociendo el caudal de diseño y para esta alternativa dicho caudal de diseño se calcula dividiendo el caudal total que trasiega cada tubería entre los 6 turnos.

En la Tabla 37 se presentan los resultados de las primeras conducciones obtenidas mediante la variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida y el resultado de todas las conducciones se puede observar en el capítulo 1.3.2.4 del anexo de cálculos y resultados. El cálculo se puede realizar de la misma manera en que fue explicado el método en el subcapítulo 3.2.2 que es la fase II del capítulo III donde se define la metodología y en el capítulo 1.3.1 del anexo se puede observar como guía el ajuste mínimo del diseño original para realizar el cálculo de la misma manera, pero con el caudal de diseño calculado para 6 turnos.

Es importante destacar que este diseño es más económico que las demás alternativas, ya que el caudal de diseño para 6 turnos es inferior que el caudal de los otros planteamientos, por lo tanto, la dimensión de las tuberías en comparación a los diseños realizados para las diferentes alternativas es mucho menor lo que hace que la red sea más económica y cumpliendo con los requerimientos hidráulicos. En la Tabla 37 se observa el resultado final del dimensionado de cada conducción secundaria, donde se puede mirar la columna del nudo inicial, nudo final, la longitud, el caudal de diseño con el que fue dimensionada cada tubería, el diámetro interno seleccionado y el diámetro nominal que refiere al diámetro interno, además las últimas dos columnas son los resultados obtenidos de la velocidad y la presión. En este diseño se observa que todas las presiones en los hidrantes son superiores a 25mca, sin embargo, hay velocidades inferiores a 0.5 m/s en algunas conducciones, que no es un problema grave para un sistema de riego, por lo tanto, nos enfocamos en los resultados de la presión mínima. Se puede evidenciar que los diámetros de la conducción principal P01_A'', P01_B'', P01_C'', P01_D'', P01_E'', P01_F'' Y P01_G'' son inferiores a los diámetros seleccionados en la solución de las demás alternativas y así se puede evidenciar en general que la mayoría de los diámetros de las conducciones principales son menores en comparación a las demás alternativas, debido a que el caudal de diseño para 6 turnos es mucho menor. Sin embargo, esta no es una alternativa muy viable debido a que hay muchos cortes en el suministro de riego y presenta desventajas como los golpes de ariete, por ende, este diseño de la red no presenta un buen comportamiento si funcionara a la demanda.

Tabla 37. Diseño de la red con caudal para 4 turnos.

Tubería	Nudo Ini	Nudo Fin	Long (m)	Q diseño (l/s)	Dint (mm)	DN (mm)	Velocidad (m/s)	Presión (mca)
P00"	UGD_44	J252	9	169.97	474.6	500	0.96	53.58
P01_A"	J252	J253	15.4	33.45	190	200	1.18	53.49
P01_B"	J253	J262	32.6	26.69	190	200	0.94	53.36
P01_C"	J262	J264	141.7	24.93	190	200	0.88	52.86
P01_C_H2"	J262	H2"	2.3	1.76	104.4	110	0.21	39.44
P01_C_H6"	J264	H6"	9.9	2.07	104.4	110	0.24	38.97
P01_D"	J264	J283	201	20.10	152	160	1.11	51.47
P01_D_H8'	J283	H8"	5.1	2.51	104.4	110	0.29	37.17
P01_E"	J283	J267	8.9	17.59	152	160	0.97	51.42
P01_F"	J267	J273	210.6	11.84	132.4	140	0.86	50.33
P01_G"	J273	J279	87.4	4.87	104.4	110	0.57	50.04

4.3.2.5 Cálculo de la garantía de suministro para las alternativas diseñadas.

En la Tabla 38 se muestran los valores de la garantía suministro calculada para cada alternativa. Dicho cálculo se detalla en los capítulos 1.3.2.3.1, 1.3.1.1, 1.3.2.4.1, 1.3.1.2 y 1.3.3 del anexo. La GS de cada alternativa se muestra a continuación:

Tabla 38. Cálculo de la GS para las alternativas.

Hipótesis	GS
4 turnos	94.71%
5 turnos modelo original	94.8%
6 turnos	81.15%
Ajuste mínimo del modelo original	89.52%
Modificación del trazado	87.4%

Una vez calculado el dimensionado de las distintas alternativas se calcula la garantía de suministro considerando que las redes ya dimensionadas por turnos van a funcionar como si fuera una red de riego a la demanda utilizando el método de Clement. Esto quiere decir que, con los diámetros ya dimensionados, se selecciona una garantía de suministro global tal que los caudales de diseño calculados por el método de Clement permitan una presión mínima de 25 mca. Esto se hace colocando los nuevos diámetros en la red y con la herramienta Solver, buscar que cuando la presión mínima sea 25mca en hidrantes, se calcule dicha GS% que está vinculada al caudal de diseño.

Es importante mencionar que el diseño de la red con caudal para 4 turnos presenta mayores diámetros en las tuberías debido a que el caudal de diseño adoptado es mayor que con el que se diseñaron las demás alternativas, esto significa que será mayor la capacidad del sistema para satisfacer las demandas de manera simultánea y manteniendo la presión mínima de 25 mca, por lo tanto, esto explica que el porcentaje de GS sea mayor.

4.3.3 Fase III: Análisis de alternativas con modificación del trazado

Esta alternativa se realizó con ayuda del software EPANET, asignando una uniformidad de caudales por turnos mencionado en el capítulo 4.3.1, y verificando que se cumplan los requerimientos hidráulicos. En la Figura 28 se observa la topología de la red original y en la Figura 29 se observa el cambio de ubicación del cabezal. Esta modificación del trazado permitió que se pudiera abastecer directamente los ramales de las tuberías P04_A, P0202_A, P01_D Y P01_C, de tal manera se pudo reducir los diámetros aguas abajo del cabezal favoreciendo a disminuir el presupuesto en tuberías secundarias.

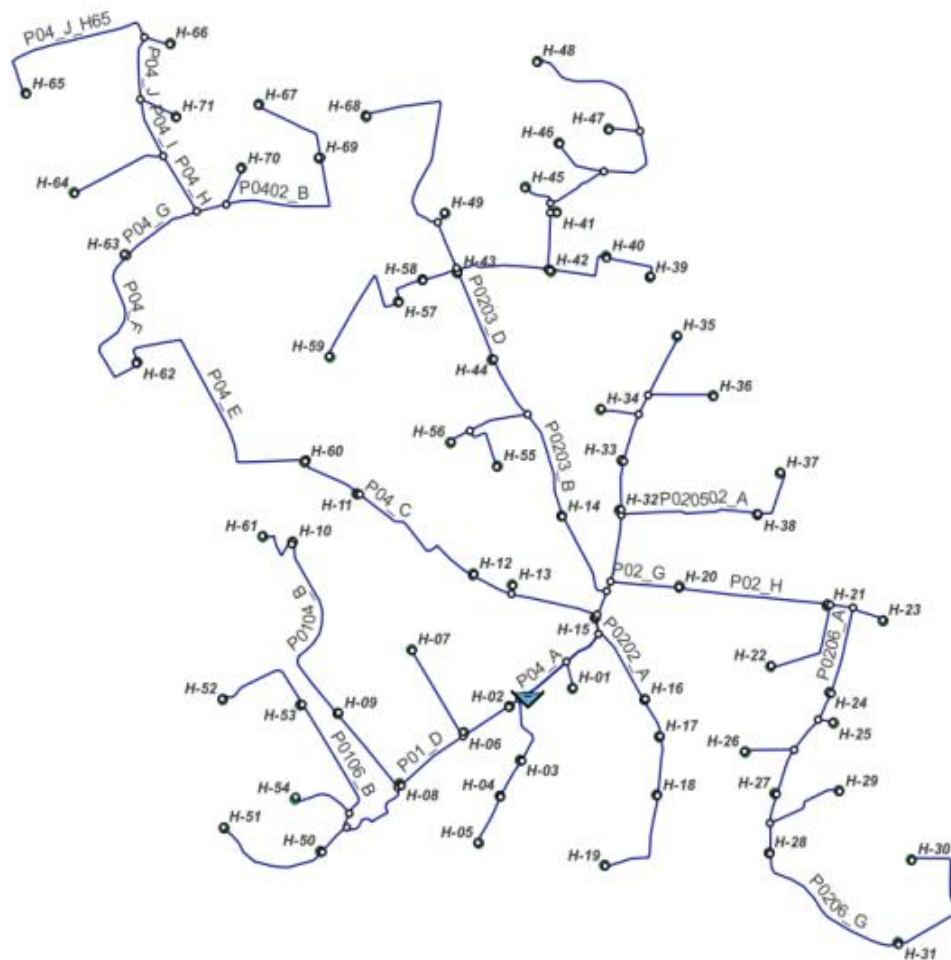


Figura 28. Topología de la red original del sector 44

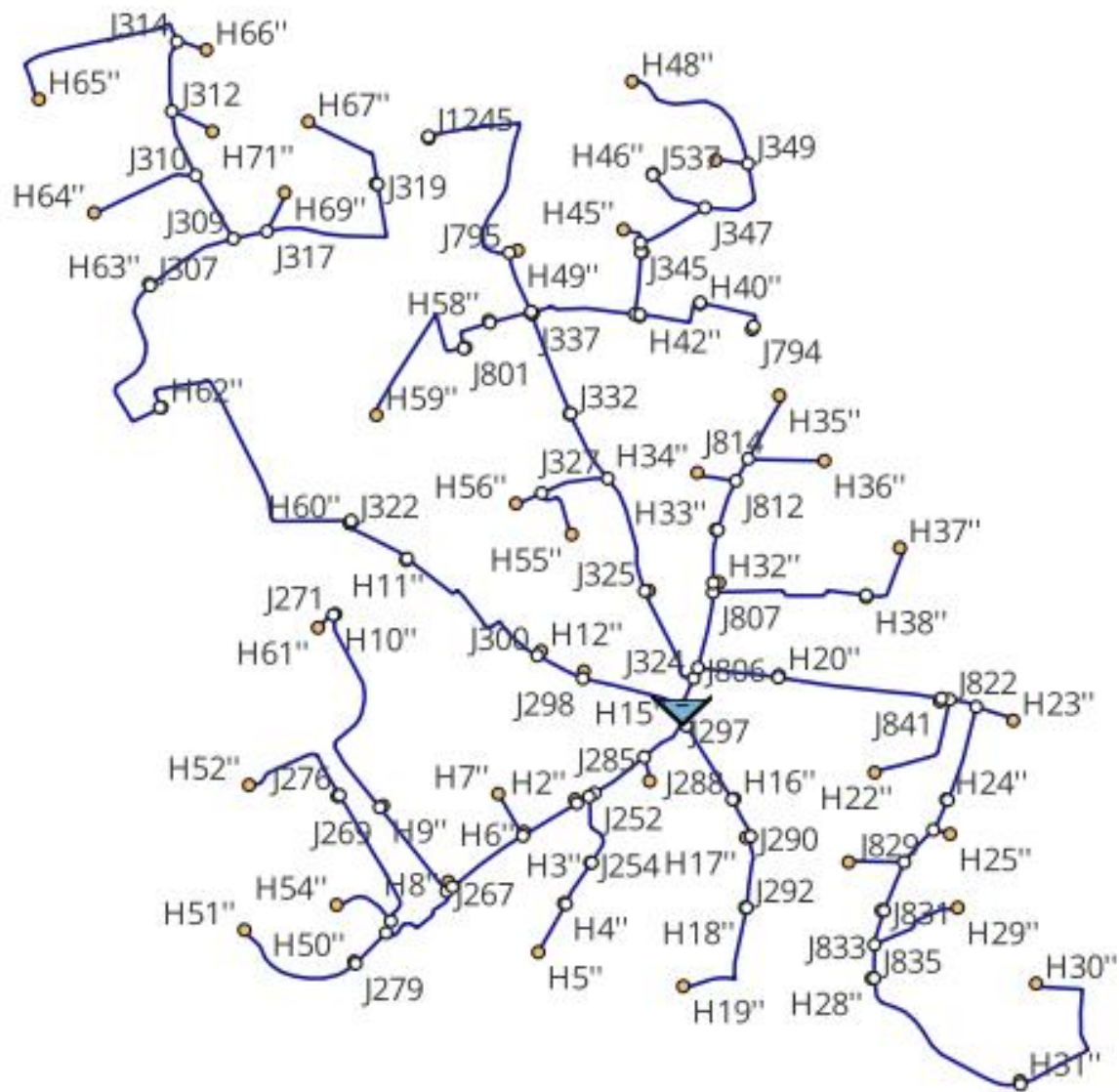


Figura 29. Topología de la red del sector 44 con la modificación de ubicación del cabezal.

En Figura 30 se ilustra el modelo de la red con la modificación de ubicación del cabezal, el cual se puede observar que tiene un buen comportamiento funcionando al 20% de la demanda total, cumpliendo con la presión mínima tanto en hidrantes como en parcela. Esta solución es viable ya que esta reubicación del cabezal permitió disminuir diámetros en las tuberías secundarias. Para esta modelación también se tuvo en cuenta la asignación de turnos verificando que, en cada uno de ellos, se cumplan con los requerimientos establecidos por el proyecto. Esta alternativa es una buena solución porque además de controlar el consumo por turnos y cumplir con los requisitos hidráulicos del proyecto, también presenta un beneficio económico porque es una solución más económica en comparación con las demás. Tiene la misma tipología del ajuste mínimo del proyecto original con turnos de 5 turnos, pero el hecho de reubicar el cabezal permite la reducción de los diámetros considerablemente de manera que reduzca el coste total.

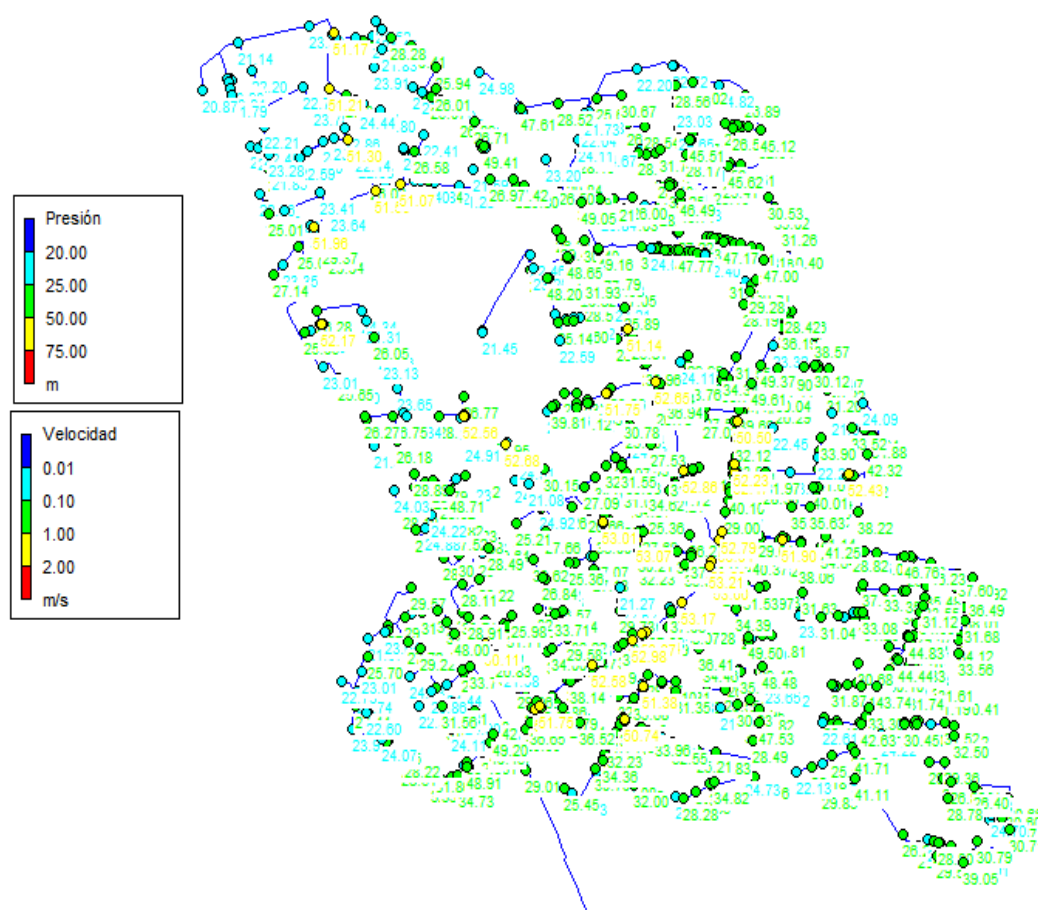


Figura 30. Simulación del sector 44 con la reubicación del cabezal

En la Tabla 39 se observan los resultados de las primeras tuberías secundarias obtenidos en esta alternativa modelada en EPANET en el que se puede evidenciar la reducción del diámetro en las tuberías principales. Además, se puede mirar que, en la última columna, todas las presiones en hidrantes son superior a 25 mca. Los demás resultados se reflejan en el capítulo 1.3.4 del anexo de cálculos y resultados.

Tabla 39. Tuberías secundarias de alternativa modificación del cabezal.

Tubería	Nodo ini	Nodo fin	Long (m)	Dint (mm)	DN (mm)	Presión (mca)
P01_A"	J252	J253	15.4	213.6	225	53.07
P01_B"	J253	J262	32.6	213.6	225	52.98
P01_C"	J262	J264	141.7	213.6	225	52.58
P01_C_H2"	J262	H2"	2.3	132.4	140	39.06
P01_C_H6"	J264	H6"	9.9	132.4	140	38.69
P01_D"	J264	J283	201	190	200	51.75
P01_D_H8"	J283	H8"	5.1	132.4	140	37.46
P01_E"	J283	J267	8.9	152	160	51.66
P01_F"	J267	J273	210.6	132.4	140	49.46
P01_G"	J273	J279	87.4	104.4	110	48.91

4.3.4 Fase IV: *Comparación de soluciones y alternativas*

En este sector es importante destacar que el diseño a la demanda siempre es más costoso que un diseño por turnos ya que el usuario siempre va a disponer del agua en cualquier momento, pero tendrá mayores variaciones en sus presiones debido a la simultaneidad.

Sabiendo que hay mayor control del consumo, menor costo por menores diámetros y capacidades menores, es viable mantener la operación por turnos. En este análisis, la reubicación del cabezal es la solución más viable ya que permite mantener la misma tipología por turnos, distribuyendo de manera equitativa los caudales, garantizando el buen comportamiento de la red cumpliendo con los requerimientos hidráulicos establecidos en el proyecto. En cambio, la solución del diseño a la demanda no es viable frente a la reubicación del cabezal porque es más costoso debido al aumento de los diámetros en las conducciones para poder abastecer de manera simultánea, además una de estas desventajas es la variación de presiones precisamente por la simultaneidad de usuarios en el riego.

La garantía de suministro en la alternativa de la modificación del trazado, no quiere decir que tenga un mal funcionamiento, sino que define este diseño como se comportaría frente a un diseño a la demanda y no por turnos. Además, no quiere decir que la alternativa del diseño a la demanda con un caudal correspondiente a 4 turnos sea la mejor opción porque tiene una GS alta, y eso se debe a que, a mayor caudal de diseño adoptado para el dimensionamiento de las tuberías manteniendo la presión mínima de 25 mca, mayor será la capacidad del sistema para satisfacer las demandas de manera simultánea y por esta razón mayor es el porcentaje de GS.

Una de las consecuencias que genera la operación por turnos es que, debido a las aperturas y cierres frecuentes, se generan transitorios, por eso es importante tener en cuenta los sistemas de protección contra estos golpes de ariete. Este es un fenómeno que ocurre con menor frecuencia en los diseños de riego a la demanda y es una ventaja frente a un riego por turnos.

El modelo original que se revisó en la fase I no tiene un buen funcionamiento y presenta mayor porcentaje de garantía de suministro frente al ajuste mínimo del modelo original para que cumpla con los requisitos hidráulicos del proyecto. La explicación de esto es que se compara porque en el método de Clement el caudal de diseño para la garantía suministro de 94.8% es mayor frente al caudal de diseño para la GS de del ajuste mínimo del modelo original que es de 89.52%, por lo tanto, no se puede decir que, aunque el modelo original no cumpla, este sea mejor que el diseño con el ajuste mínimo por presentar mejor GS.

Realmente la comparación son los caudales de diseño para poder mantener la presión requerida y a mayor caudal, mayor será la GS porque se acerca más al caudal de la GS para 99.9% teniendo en cuenta que todas las tomas tienen la misma probabilidad de apertura.

En este sector evidentemente el diseño a la demanda no es viable para sustituir la operación por turnos ya que es una red muy grande en la que puede haber mucha simultaneidad de apertura de tomas y esto para el funcionamiento de la red es muy variable porque las presiones varían mucho, además el coste aumenta frente a la solución de ajustar la red o la modificación de ubicación del cabezal.

La modificación de la ubicación del cabezal, pero manteniendo la misma tipología del riego por turnos, me parece la alternativa más viable porque al igual que el ajuste del diseño original, permite controlar el consumo, tiene buen funcionamiento cumpliendo con los requerimientos hidráulicos pero la diferencia económica es significativa siendo de 38549 €

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo es de gran importancia debido a que en cada sector se comparará económicamente las soluciones de las distintas alternativas realizadas en el capítulo IV. Cabe aclarar que, en los resultados de las alternativas, todas las soluciones presentan un buen funcionamiento desde el punto de vista técnico, es decir que todas las redes diseñadas en las alternativas mencionadas en el capítulo IV, cumplen con los requisitos hidráulicos establecidos en el proyecto, siendo presión en hidrantes de 25mca y en parcelas de 20mca. Sin embargo, lo que se espera en este capítulo es realizar un análisis más que todo desde el punto de vista económico frente a las longitudes totales de los diámetros utilizados en las soluciones planteadas de cada alternativa.

5.1 Sector 42

Después de haber realizado todos los cálculos y simulaciones en EPANET de las distintas alternativas mencionadas anteriormente, se recopilaron los resultados de longitudes totales por cada diámetro nominal y para cada alternativa para así comparar de manera técnica y económica, cada solución.

5.1.1 Revisión y mejora de proyecto original

Como se detallaron los cálculos en la fase I del sector 42, se evidencia que la red original al simularla en EPANET por uniformidad de caudales en 5 turnos no cumple la presión en hidrantes lo que indujo a realizar un ajuste mínimo de la red original mediante una variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida. En el ajuste mínimo se precisó aumentar diámetros en las conducciones principales, de donde nacen los ramales, para que los hidrantes ganen altura piezométrica y cumpla con la presión mínima de 25mca.

En la red original se presenta mayor GS que el modelo ajustado. Teniendo diámetros menores se obtienen mayores pérdidas y limitación de caudal, lo que hace que las tomas en parcela no se le pueda suministrar el caudal completo. La garantía de suministro menor en el ajuste mínimo del modelo no quiere decir que tenga un mal funcionamiento, sino como se comportaría frente a un diseño a la demanda y no por turnos. Es importante tener claro que el diseño de esta red es operado por turnos y el análisis mediante el método de Clement asume un riego a la demanda de manera simultánea y probabilística. El aumento de diámetros lo que hace es que incremente la capacidad hidráulica de la red, permitiendo un mayor número de tomas funcionando de manera simultánea.

Entonces al aplicar el método de Clement, que evalúa el riego a la demanda de forma probabilística, esta mayor simultaneidad da lugar a escenarios en los que la demanda total supere la capacidad disponible y esto se traduce en que el porcentaje de la garantía de suministro reduzca.

En la red original, como hay elevadas pérdidas de carga y no hay un buen comportamiento hidráulico, hace que se produzca una limitación del caudal de manera simultánea. Entonces el método de Clement da lugar a una mayor garantía de suministro porque reduce la frecuencia de los escenarios en el análisis probabilístico, aunque no cumplan con los requisitos hidráulicos establecidos en el proyecto.

En Tabla 40 se puede observar los resultados de las longitudes acumuladas por diámetro utilizadas en cada diseño. Se evidencia que el ajuste mínimo del diseño original presenta gran diferencia sobre todo en el diámetro nominal de 315mm y 225mm. Esto se debe a que en las conducciones principales de la red se aumentaron los diámetros para poder cumplir con la presión requerida. Estadísticamente, el diseño original que no tiene un buen funcionamiento hidráulico presenta mayor garantía de suministro precisamente por la limitación de la capacidad del caudal y no por buen diseño, sin embargo, el modelo ajustado con menor garantía de suministro justifica que la red puede exigirse más caudal. Básicamente el modelo ajustado y su reducción de la garantía de suministro refleja un uso más realista bajo el régimen de riego a la demanda y no por turnos.

Por último, estos valores de la GS se deben interpretar como indicadores probabilísticos del comportamiento de la red como un riego a la demanda y no por turnos, y no se debe interpretar como una medida directa para la adecuación hidráulica, es decir que deben evaluarse de forma independiente mediante el cumplimiento de los requisitos hidráulicos establecidos en el proyecto.

Tabla 40. Análisis económico de las tuberías secundarias.

TUBERIAS SECUNDARIAS				
DN	Diseño original - GS 83%		Ajuste mínimo del diseño original - GS 80.14%	
(mm)	Long	Coste (€)	Longitud	Coste (€)
500	0	-	0	-
450	0.0	-	0.0	-
400	0.0	-	0.0	-
315	428.8	20,480.0	926.5	44,250.12
250	497.7	16,374.3	0.0	-
225	395.4	10,849.8	536.4	14,718.82
200	1422.2	31,217.3	1281.2	28,122.34
160	2161.1	28,332.0	2161.1	28,332.02
140	440.4	5,394.9	440.4	5,394.90
125	91.6	928.8	91.6	928.82
110	717.8	6,453.0	717.8	6,453.02
	6155.0	120,030.1	6155.0	128,200.0

En la Tabla 40 se observa el resultado de las longitudes acumuladas de las tuberías terciarias por diámetro nominal. En las tuberías terciarias que llegan hasta la toma de parcelas, se pudo reducir el diámetro en algunas conducciones que estaban sobredimensionadas, cumpliendo con la presión mínima de 20mca, lo que permitió reducir un poco el presupuesto. Se evidencia que en el diámetro nominal de 40mm la longitud acumulada es mayor y esto se debe a que los diámetros sobredimensionados aun tenían la posibilidad de reducir su diámetro cumpliendo con la presión en parcela de 20 mca. Hay que tener en cuenta que las tuberías terciarias al ser ajustadas son las mismas dimensiones que pueden ser útiles para las alternativas del diseño a la demanda y de la modificación de ubicación del cabezal.

Tabla 41. Análisis económico de las tuberías terciarias.

TUBERIAS TERCIARIAS								
DN	Diseño original		Ajuste mínimo del diseño original		Diseño a la demanda con GS 99%-95%-4turnos-6turnos		Modificación de la ubicación del cabezal	
	Long	Coste (€)	Long	Coste (€)	Long	Coste (€)	Long	Coste (€)
110	54.1	307.83	54.1	307.83	54.1	307.83	54.1	307.83
90	931.8	4,724.23	671.6	3,405.01	671.6	3,405.01	671.6	3,405.01
75	1998.6	6,535.42	1989.7	6,506.32	1989.7	6,506.32	1989.7	6,506.32
63	6510.4	17,187.46	6553.9	17,302.30	6553.9	17,302.30	6553.9	17,302.30
50	10774.1	22,194.65	8355.6	17,212.54	8355.6	17,212.54	8355.6	17,212.54
40	15782.7	26,988.42	18426.8	31,509.83	18426.8	31,509.83	18426.8	31,509.83
	36051.7	77,938.00	36051.7	76,243.82	36051.7	76,243.82	36051.7	76,243.82

5.1.2 Análisis de alternativas sin modificación del trazado

En el diseño a la demanda para GS de 99% y de 95%, permite al usuario regar en cualquier horario dentro de la franja horaria permitida, evidentemente es una red más costosa porque los diámetros aumentan para poder suministrar el caudal demandado sin necesidad de tener turnos.

En el diseño a la demanda de 4 y 6 turnos, se diseña la red con el caudal que total dividido entre 4 o 6, según corresponda, por lo tanto, el porcentaje de GS calculado relaciona el caudal de diseño con el que fue diseñada la red y el caudal de diseño calculado para la demanda total de consumo. Esto indica que se está analizando una red diseñada para operación por turnos, comparando su funcionamiento con el que tendría si operara a demanda, teniendo en cuenta el mismo dimensionamiento y cumpliendo los requerimientos hidráulicos.

En la tabla Tabla 42 se evidencia la longitud acumulada de los diámetros nominales requeridos en los diseños de estas alternativas. En el diseño a la demanda con GS 99% el diámetro nominal de 315mm es mayor frente al diseño a la demanda con GS 95% y eso es debido a que el caudal de diseño es mayor, también el diámetro nominal de 225mm con una diferencia considerable de 165 metros en la longitud.

El diseño de 4 turnos es más costoso que el diseño del ajuste mínimo del modelo de 5 turnos. Esto se debe a que el caudal de diseño es mayor y cabe recordar que la garantía de suministro calculada para el diseño de la red para 4 turnos es mayor porque las tuberías dimensionadas tienen mayor capacidad de caudal. El diseño de 6 turnos funcionando como si fuera riego a la demanda tiene peor garantía de suministro y esto se debe a que en una red que tenga un control de más turnos, evidentemente el caudal de diseño va a ser menor. Esto justifica que dicha GS sea cada vez más baja frente a conducciones que son de diámetros mucho menor.

Tabla 42. Análisis económico de las tuberías secundarias de las distintas alternativas.

DN	Diseño a la demanda con GS 99%		Diseño a la demanda con GS 95%		Diseño a la demanda 4 turnos GS 96.03%		Diseño a la demanda 6 turnos GS 61.23%	
(mm)	Long	Coste (€)	Long	Coste (€)	Long	Coste (€)	Long	Coste (€)
500	0	-	0	-	0	-	0	-
450	0.0	-	0.0	-	0.0	-	0.0	-
400	428.8	35,766.2	428.8	35,766.21	428.8	35,766.21	428.8	35,766.21
315	1034.1	49,388.6	893.1	42,654.46	893.1	42,654.46	0.0	-
250	9.2	302.7	150.2	4,941.58	141.0	4,638.90	395.4	13,008.66
225	289.0	7,930.2	123.8	3,397.07	133.0	3,649.79	497.7	13,657.16
200	1914.4	42,021.3	1587.7	34,850.02	1386.1	30,424.90	439.2	9,640.44
160	92.0	1,206.1	583.9	7,654.93	712.0	9,334.32	640.7	8,399.58
140	665.3	8,149.9	2.3	28.18	73.5	900.38	1273.7	15,602.83
125	479.8	4,865.2	818.0	8,294.52	335.5	3,401.97	247.0	2,504.58
110	1242.4	11,169.2	1567.2	14,089.13	2052.0	18,447.48	2232.5	20,070.18
	6155.0	160,799.4	6155.0	151,676.1	6155.0	149,218.4	6155.0	118,649.6

5.1.3 Análisis de alternativas con modificación del trazado

En esta alternativa se optó modificar de ubicación el cabezal ya que estaba alejado de la red, lo que permitió que los ramales de la red se pudieran conectar a él de manera independiente, lo que redujo los diámetros aguas debajo de él y se ahorró dos conducciones de la red que anteriormente conectaban a los dos ramales mencionados.

En la Tabla 43 se evidencia que, para el dimensionado de esta alternativa, la longitud acumulada para el diámetro nominal de 315mm es mucho menor comparado con las demás alternativas y esto se debe a la reducción de diámetros mencionada anteriormente.

La garantía de suministro en la alternativa de la modificación del trazado, no quiere decir que tenga un mal funcionamiento, sino que define este diseño como se comportaría frente a un diseño a la demanda y no por turnos. Además, no quiere decir que la alternativa del diseño a la demanda con un caudal correspondiente a 4 turnos sea la mejor opción porque tiene una GS alta, y eso se debe a que, a mayor caudal de diseño adoptado para el dimensionamiento de las tuberías manteniendo la presión mínima de 25 mca, mayor será la capacidad del sistema para satisfacer las demandas de manera simultánea y por esta razón mayor es el porcentaje de GS.

Tabla 43. Análisis económico de tuberías secundarias

DN (mm)	Modificación de la ubicación del cabezal 85.08%	
	Long	Coste (€)
500	0	-
450	0.0	-
400	0.0	0.83
315	168.5	8,048.04
250	497.7	16,374.33
225	395.4	10,849.78
200	1422.2	31,217.29
160	1595.7	20,919.63
140	661.0	8,097.25
125	91.6	928.82
110	1062.6	9,552.77
	5894.7	105,988.7

5.2 Sector 43

Después de haber realizado todos los cálculos y simulaciones en EPANET de las distintas alternativas mencionadas anteriormente, se recopilaron los resultados de longitudes totales por cada diámetro nominal y para cada alternativa para así comparar de manera técnica y económica, cada solución.

5.2.1 Revisión y mejora de proyecto original

En la tabla Tabla 44 se observa que únicamente está el dimensionado de la red original funcionando a 5 turnos y no hay un ajuste mínimo en comparación al sector 42 y 44. Esto se debe a que en la fase de la revisión, se evidencio que la red presenta un buen funcionamiento cumpliendo con los requisitos hidráulicos establecidos en el proyecto, por lo tanto, las tuberías secundarias se mantuvieron con el mismo diámetro del diseño original y no hubo cambio alguno.

La red original presenta un 80,57% de GS, esto indica que este diseño no es capaz de abastecer el 19,43% de las veces del caudal demandado por las parcelas en función de la probabilidad de apertura de la toma. Como en el sector anterior, la determinación de la garantía de suministro se realiza asumiendo que la red diseñada por 5 turnos se comporta como una red a la demanda. Esto quiere decir que en el método de Clement se puede calcular un caudal de diseño para una GS del 99.9%, el cual es el máximo porque el 100% no se puede suministrar, debido a que este método presenta simultaneidad en base a probabilidades. Este caudal máximo de GS de 99.9% es fijo, por lo tanto, el caudal de diseño para 5 turnos traduce la GS calculada del 80,57% como un porcentaje del caudal máximo que se calcula con el método de Clement para una GS de 99,9%. Es decir que es una relación entre el caudal máximo que se puede calcular mediante el método de Clement para esta red y el caudal con el que fue diseñada la red para 5 turnos.

Tabla 44. Análisis económico de las tuberías secundarias

TUBERIAS SECUNDARIAS		
DN	Diseño original - GS 80.57%	
D(mm)	Longitud	Coste (€)
500	16	1,881.92
450	89.5	8,753.10
400	253.8	21,169.46
355	0	-
315	868.6	41,484.34
250	424.1	13,952.89

TUBERIAS SECUNDARIAS		
DN	Diseño original - GS 80.57%	
D(mm)	Longitud	Coste (€)
225	2556.3	64,802.21
200	3694.7	81,098.67
160	2895.7	37,962.63
140	1899.1	23,263.98
125	1337.7	13,564.28
110	795.8	7,154.24
	14831.3	315,087.70

En la Tabla 40 se observa el resultado de las longitudes acumuladas de las tuberías terciarias por diámetro nominal. En las tuberías terciarias que llegan hasta la toma de parcelas, se pudo reducir el diámetro en algunas conducciones que estaban sobredimensionadas, cumpliendo con la presión mínima de 20mca, lo que permitió reducir un poco el presupuesto. En el diseño de las alternativas con GS 99%, 95%, 4 y 6 turnos, se mantuvo el mismo dimensionamiento del ajuste mínimo ya que en estos 4 casos se analizaron con el método de Clement que se realiza únicamente a las tuberías secundarias. Sin embargo, en la modificación del trazado se observa que las longitudes acumuladas aumentan en comparación del trazado original de la red. Esto es debido a que se contempló la modificación de los hidrantes de ubicación, por lo tanto, el beneficio fue ganar altura piezométrica en los hidrantes y la desventaja fue que las longitudes de las conducciones hasta parcelas se aumentaron lo que influye económicamente en el aumento del coste de las tuberías terciarias.

Tabla 45. Análisis económico de las tuberías terciarias.

TUBERIAS TERCIARIAS								
DN	Diseño original		Ajuste mínimo del diseño original		Diseño a la demanda con GS 99%-95%-4 turnos-6turnos		Modificación de la ubicación de los hidrantes	
mm	Long(m)	Coste (€)	Long(m)	Coste (€)	Long(m)	Coste (€)	Long(m)	Coste (€)
140	37.9	316.47	0	-	0	-	8	66.80
125	26.4	183.74	0	-	0	-	0	-
110	187.4	1,066.31	189.7	1,079.39	189.7	1,079.39	111.5	634.44
90	1255.8	6,366.91	202.6	1,027.18	202.6	1,027.18	1209.4	6,131.66
75	3120.8	10,205.02	3388.7	11,081.05	3388.7	11,081.05	1711.16	5,595.49
63	8151.2	21,519.17	6768.6	17,869.10	6768.6	17,869.10	8550.89	22,574.35
50	21694	44,690.05	16672.1	34,344.53	16672.1	34,344.53	20510.79	42,252.23

TUBERIAS TERCIARIAS								
DN	Diseño original		Ajuste mínimo del diseño original		Diseño a la demanda con GS 99%-95%-4 turnos-6turnos		Modificación de la ubicación de los hidrantes	
mm	Long(m)	Coste (€)	Long(m)	Coste (€)	Long(m)	Coste (€)	Long(m)	Coste (€)
40	43413	74,235.37	50664.5	86,636.29	50664.5	86,636.29	52666.345	90,059.45
	77886	158,583.03	77886.2	152,037.55	77886.2	152,037.55	84768.085	167,314.41

5.2.2 Análisis de alternativas sin modificación del trazado

En la Tabla 46 observa la diferencia de costes de las alternativas comparadas. Se evidencia que estas alternativas son más costosas ya que requieren diseñar la red con mayor caudal demandado y sin funcionamiento por turnos. A comparación que la red diseñada para 4 y 6 turnos se está comparando que comportamiento tiene frente a un modo de operación a la demanda. Además, se evidencia que entre más se aumentan en una red los turnos de riego, la GS es mucho más baja y por ende tiene peor comportamiento la red porque presenta 51,09% de GS.

Cabe destacar que, si el modo de operación debe ser para un riego sin turnos, el diseño de la red con el caudal calculado para GS 99% sería óptimo para el funcionamiento. La alternativa más desfavorable es la del diseño de 6 turnos ya que la GS es muy baja, y esto no se debe contemplar como si fuera un riego a la demanda, porque el real diseño es realizado con caudales muy bajos lo que limita a la red que tenga conducciones de diámetros menores frente a las demás alternativas y por esto dicha GS es más baja.

Tabla 46. Análisis económico de las tuberías secundarias de las distintas alternativas.

DN	Diseño a la demanda con GS 99%		Diseño a la demanda con GS 95%		Diseño a la demanda 4 turnos GS 94.07%		Diseño a la demanda 6 turnos GS 51.09%	
D(mm)	Long (m)	Coste (€)	Long (m)	Coste (€)	Long (m)	Coste (€)	Long (m)	Coste (€)
500	0	-	0	-	0	-	0	-
450	0	-	0	-	0	-	0	-
400	16	1,334.56	16	1,334.56	208.6	17,399.33	0	-
355	745.3	43,711.85	576.4	33,805.86	552.7	32,415.86	359.3	21,072.95
315	2428.5	115,985.16	1534.1	73,268.62	1423.3	67,976.81	0	-
250	523	17,206.70	614.5	20,217.05	1150.7	37,858.03	1480.3	48,701.87
225	1380.2	34,988.07	1367.4	34,663.59	734.9	18,629.72	820.5	20,799.68
200	1837.1	40,324.35	1649.8	36,213.11	1169.5	25,670.53	2041.9	44,819.71
160	800.2	10,490.62	1202.6	15,766.09	1466.3	19,223.19	774.6	10,155.01
140	1521.2	18,634.70	2161.2	26,474.70	876.3	10,734.68	1229.4	15,060.15
125	1334.6	13,532.84	759.6	7,702.34	1835.7	18,614.00	628	6,367.92
110	4245.2	38,164.35	4949.7	44,497.80	5413.3	48,665.57	7497.3	67,400.73
	14831.3	334,373.19	14831.3	293,943.72	14831.3	297,187.69	14831.3	234,378.00

5.2.3 Análisis de alternativas con modificación del trazado

En la Tabla 47 se puede observar los resultados de las longitudes acumuladas por diámetro nominal para el diseño de esta alternativa. En comparación con el modelo original, se redujeron los diámetros de las conducciones principales, favoreciendo un menor coste total. En comparación con el modelo original y las alternativas diseñadas por turnos, esta solución es viable siempre y cuando se mantenga por turnos, aunque presente un alto porcentaje de GS%. Esto se debe a que es una red muy grande comparada con la red del sector 42, y entre más nudos de consumo hay, mayor puede ser la simultaneidad de consumos y puede variar mucho la presión.

En esta alternativa se descartó la reubicación del cabezal porque actualmente se encuentra muy bien ubicado, situándose en la mitad de toda la red, permitiendo una buena conexión con los ramales. Por lo tanto, se optó por cambiar de ubicación los hidrantes, situándolos en lugares con fácil accesibilidad y cercanos a parcelas que tengan menor cota, y que dicho hidrante abastece. Con esta alternativa se ganó mayor altura estática en hidrantes por diferencia de cotas con la cabecera, y permitió reducir los diámetros de las tuberías secundarias, pero se aumentaron las longitudes de las tuberías terciarias.

Este diseño permite garantizar estadísticamente que cuando la presión caiga a 25mca se pueda suministrar el caudal de diseño calculado para una GS de 93.25%, sin embargo, esta opción es viable para mantener el sistema de riego de 5 turnos y reducir el presupuesto frente al modelo original.

Tabla 47. Análisis económico de tuberías secundarias

DN	Modificación de la ubicación de hidrantes – GS 93.25%	
D(mm)	Long	Coste (€)
500	16	1,881.92
450	0	-
400	192.6	16,064.77
355	0	-
315	1397.9	66,763.70
250	548.5	18,045.65
225	505.1	12,804.29
200	1901.4	41,735.73
160	1759	23,060.49
140	1902.7	23,308.08
125	3339.96	33,867.19
110	1419.5	12,761.31
	12982.66	250,293.12

5.3 Sector 44

Después de haber realizado todos los cálculos y simulaciones en EPANET de las distintas alternativas mencionadas anteriormente, se recopilaron los resultados de longitudes totales por cada diámetro nominal y para cada alternativa para así comparar de manera técnica y económica, cada solución.

5.3.1 Revisión y mejora de proyecto original

En este sector se evidencia el mismo caso particular y parecido al sector 42 en el que se detallaron los cálculos en la fase I del sector 44. Se comprueba que la red original al simularla en EPANET por uniformidad de caudales en 5 turnos no cumple la presión en hidrantes lo que indujo a realizar un ajuste mínimo de la red original mediante una variación del método de la pendiente hidráulica con cabecera conocida. En el ajuste mínimo se precisó aumentar diámetros en las conducciones principales, de donde nacen los ramales, para que los hidrantes ganen altura piezométrica y cumpla con la presión mínima de 25mca.

Igual que en el sector 42, en la red original se presenta mayor GS que el modelo ajustado. Teniendo diámetros menores se obtienen mayores pérdidas y limitación de caudal, lo que hace que las tomas en parcela no se le pueda suministrar el caudal completo. La garantía de suministro menor en el ajuste mínimo del modelo no quiere decir que tenga un mal funcionamiento, sino como se comportaría frente a un diseño a la demanda y no por turnos. Es importante tener claro que el diseño de esta red es operado por turnos y el análisis mediante el método de Clement asume un riego a la demanda de manera simultánea y probabilística. El aumento de diámetros lo que hace es que incremente la capacidad hidráulica de la red, permitiendo un mayor número de tomas funcionando de manera simultánea. Entonces al aplicar el método de Clement, que evalúa el riego a la demanda de forma probabilística, esta mayor simultaneidad da lugar a escenarios en los que la demanda total supere la capacidad disponible y esto se traduce en que el porcentaje de la garantía de suministro reduzca.

En la red original, como hay elevadas pérdidas de carga y no hay un buen comportamiento hidráulico, hace que se produzca una limitación del caudal de manera simultánea. Entonces el método de Clement da lugar a una mayor garantía de suministro porque reduce la frecuencia de los escenarios en el análisis probabilístico, aunque no cumplan con los requisitos hidráulicos establecidos en el proyecto.

En Tabla 48 se puede observar los resultados de las longitudes acumuladas por diámetro utilizadas en cada diseño. Se evidencia que el ajuste mínimo del diseño original presenta gran diferencia sobre todo en el diámetro nominal de 400mm y 355mm. Esto se debe a que en las conducciones principales de la red se aumentaron los diámetros para poder cumplir con la presión requerida. Estadísticamente, el diseño original que no tiene un buen funcionamiento hidráulico presenta mayor garantía de suministro precisamente por la limitación de la capacidad del caudal y no por buen diseño, sin embargo, el modelo ajustado con menor garantía de suministro justifica que la red puede exigirse más caudal. Básicamente el modelo ajustado y su reducción de la garantía de suministro refleja un uso más realista bajo el régimen de riego a la demanda y no por turnos.

Por último, estos valores de la GS se deben interpretar como indicadores probabilísticos del comportamiento de la red como un riego a la demanda y no por turnos, y no se debe interpretar como una medida directa para la adecuación hidráulica, es decir que deben evaluarse de forma independiente mediante el cumplimiento de los requisitos hidráulicos establecidos en el proyecto.

Tabla 48. Análisis económico de las tuberías secundarias.

DN	Diseño original - GS 94.8%		Ajuste mínimo del diseño original 89.52%	
D(mm)	Long (m)	Coste	Long (m)	Coste (€)
500	9	1,058.58	303.8	35,732.96
450	0	-	0	-
400	294.8	20,161.37	2383.3	162,993.89
355	0	-	0	-
355	1628.3	95,499.80	311.9	18,292.94
315	0	-	0	-
250	1351	44,447.90	431.8	14,206.22
225	478.4	12,127.44	789.8	20,021.43
200	1763.8	38,715.41	1890.1	41,487.70
160	1602	21,002.22	949.3	12,445.32
140	2431.9	29,790.78	2533.5	31,035.38
125	3184.7	32,292.86	3144.9	31,889.29
110	4987.9	44,841.22	4993.4	44,890.67
	17731.8	339,937.57	17731.8	412,995.77

En la Tabla 49 se observa el resultado de las longitudes acumuladas de las tuberías terciarias por diámetro nominal. En las tuberías terciarias que llegan hasta la toma de parcelas, se pudo reducir el diámetro en algunas conducciones que estaban sobredimensionadas, cumpliendo con la presión mínima de 20mca, lo que permitió reducir un poco el presupuesto. Se evidencia que en el diámetro nominal de 40mm la longitud acumulada es mayor y esto se debe a que los diámetros sobredimensionados aun tenían la posibilidad de reducir su diámetro cumpliendo con la presión en parcela de 20 mca. Hay que tener en cuenta que el cálculo de la garantía de suministro solo se realiza para las tuberías secundarias, por lo tanto, el método de Clement para este redimensionamiento no aplica.

Tabla 49. Análisis económico de las tuberías terciarias.

TUBERIAS TERCIARIAS								
DN	Diseño original		Ajuste mínimo del diseño original		Diseño a la demanda con GS 99%-95%-4 turnos-6turnos		Modificación de la ubicación del cabezal	
(mm)	Long(m)	Coste (€)	Long(m)	Coste (€)	Long(m)	Coste (€)	Long(m)	Coste (€)
140	17.8	101.28	0	-	0	-	0	-
125	560.2	3,898.99	0	-	0	-	239.6	1,667.62
110	1023.8	5,825.42	239.6	1,363.32	239.6	1,363.32	449.3	2,556.52
90	4418.7	22,402.81	766.8	3,887.68	766.8	3,887.68	1438.4	7,292.69
75	5940.1	19,424.13	2171.6	7,101.13	2171.6	7,101.13	5304.2	17,344.73
63	18735.2	49,460.93	7400.7	19,537.85	7400.7	19,537.85	10624.79	28,049.45
50	23104.5	47,595.27	19316.4	39,791.78	19316.4	39,791.78	17012.69	35,046.14
40	34799.9	59,507.83	58705.1	100,385.72	58705.1	100,385.72	53827.5	92,045.03
	88600.2	208,216.66	88600.2	172,067.49	88600.2	172,067.49	88896.48	184,002.17

5.3.2 Análisis de alternativas sin modificación del trazado

Al igual que en el sector 42, el análisis de estos resultados es muy parecido y podemos decir que en el diseño a la demanda para GS de 99% y de 95%, permite al usuario regar en cualquier horario dentro de la franja horaria permitida, evidentemente es una red más costosa porque los diámetros aumentan para poder suministrar el caudal demandado sin necesidad de tener turnos.

En el diseño a la demanda de 4 y 6 turnos, se diseña la red con el caudal que total dividido entre 4 o 6, según corresponda, por lo tanto, el porcentaje de GS calculado relaciona el caudal de diseño con el que fue diseñada la red y el caudal de diseño calculado para la demanda total de consumo. Esto indica que se está analizando una red diseñada para operación por turnos, comparando su funcionamiento con el que tendría si operara a demanda, teniendo en cuenta el mismo dimensionamiento y cumpliendo los requerimientos hidráulicos.

En la tabla Tabla 50 se evidencia la longitud acumulada de los diámetros nominales requeridos en los diseños de estas alternativas. En el diseño a la demanda con GS 99% el diámetro nominal de 250mm, 225mm y 200mm es mayor frente al diseño a la demanda y eso es debido a que el caudal de diseño es mayor. Sin embargo, hay algo en especial y es que los diámetros nominales más grandes que son el de 500mm, 400mm, 355mm y el de 315mm, se mantiene la misma longitud acumulada en los mismos tramos de conducciones.

Esto pasa porque la red es muy grande y estos tramos de conducción principal se mantienen para poder seguir garantizando la presión necesaria en los hidrantes. Es decir que en el diseño con GS del 95% cambian los diámetros de las tuberías medias y finales al llegar a los hidrantes.

Al igual que en todos los sectores, el diseño a la demanda para la red de 6 turnos evidentemente es más económica que todas las alternativas y en cuanto a GS es la que peor porcentaje tiene. Cabe recordar que es porque el diseño de esta red se hace con caudales menores, lo que permite dimensionar la red con diámetros menores. Es importante destacar que en redes muy grandes no es tan viable diseñar una red de riego operando a la demanda usando el método de Clement, ya que es un método probabilístico, y funcionalmente en una red tan grande puede haber muchos escenarios de simultaneidad en el que las presiones puedan fluctuar mucho. Esto quiere decir que en redes más grandes y con mayor demanda la GS aumenta ya que hay muchas tomas en parcela, cada una con su probabilidad de apertura, por lo tanto la sumatoria de muchas variables aleatorias independientes tiende a estabilizarse, es decir que las fluctuaciones de las demandas se suavizan porque es improbable que todas las tomas demanden simultáneamente el caudal máximo, por lo tanto la probabilidad de que la red pueda abastecer la demanda aumenta lo que significa que la GS aumenta estadísticamente.

Tabla 50. Análisis económico de las tuberías secundarias de las distintas alternativas.

DN	Diseño a la demanda con GS 99%		Diseño a la demanda con GS 95%		Diseño a la demanda 4 turnos GS 94.71%		Diseño a la demanda 6 turnos GS 81.15%	
D(mm)	Long (m)	Coste (€)	Long (m)	Coste (€)	Long (m)	Coste (€)	Long (m)	Coste (€)
500	303.8	35,732.96	303.8	35,732.96	303.8	35,732.96	303.8	35,732.96
450	0	-	0	-	0	-	0	-
400	722.8	49,432.29	722.8	49,432.29	787.6	53,863.96	722.8	49,432.29
355	1345.7	78,925.31	1345.7	78,925.31	1280.9	75,124.79	1280.9	75,124.79
355	0	-	0	-	0	-	0	-
315	1050.2	50,157.55	1050.2	50,157.55	1050.2	50,157.55	444.4	21,224.54
250	412.4	13,567.96	397	13,061.30	412.4	13,567.96	663.5	21,829.15
225	356.4	9,034.74	205.5	5,209.43	356.4	9,034.74	561.6	14,236.56
200	2118.9	46,509.86	1245.7	27,343.12	1079.4	23,692.83	389.6	8,551.72
160	723.3	9,482.46	1498.6	19,646.65	914.6	11,990.41	904.1	11,852.75
140	1968.4	24,112.90	1047.8	12,835.55	1152.1	14,113.23	898.5	11,006.63
125	2129.6	21,594.14	1928.3	19,552.96	845.4	8,572.36	1214.2	12,311.99
110	6600.3	59,336.70	7986.4	71,797.74	9549	85,845.51	10348.4	93,032.12
	17731.8	397,886.86	17731.8	383,694.84	17731.8	381,696.28	17731.8	354,335.49

5.3.3 Análisis de alternativas con modificación del trazado

En esta alternativa la ubicación del cabezal estaba alejada de la red, por lo tanto, se optó por reubicar el cabezal más centrado de tal manera que se pudo mejorar la conexión con los demás ramales de manera independiente y como consecuencia, se pudo reducir diámetros en las tuberías secundarias y reducir el presupuesto.

No se tuvo en cuenta la modificación de ubicación de hidrantes porque están bien ubicados en los que no afecta la longitud de las tuberías terciarias, incluso estando centrado entre parcelas que abastece cada hidrante.

En Tabla 51 se evidencia que, para el dimensionado de esta alternativa, la longitud acumulada para el diámetro nominal de 500mm y 400mm es mucho menor comparado con las demás alternativas y esto se debe a la reducción de diámetros mencionada anteriormente.

La garantía de suministro en la alternativa de la modificación del trazado, no quiere decir que tenga un mal funcionamiento, sino que define este diseño como se comportaría frente a un diseño a la demanda y no por turnos. Además, no quiere decir que la alternativa del diseño a la demanda con un caudal correspondiente a 4 turnos sea la mejor opción porque tiene una GS alta, y eso se debe a que, a mayor caudal de diseño adoptado para el dimensionamiento de las tuberías manteniendo la presión mínima de 25 mca, mayor será la capacidad del sistema para satisfacer las demandas de manera simultánea y por esta razón mayor es el porcentaje de GS.

Tabla 51. Análisis económico de tuberías secundarias

DN	Modificación de la ubicación del cabezal 87.4%	
D(mm)	Long (m)	Coste (€)
500	7.2	846.86
450	0	-
400	591.4	40,445.85
355	0	-
355	2231.4	130,871.61
315	0	-
250	694	22,832.60
225	543.7	13,782.80
200	1438.7	31,579.47
160	1917.7	25,141.05
140	1212.4	14,851.90

DN	Modificación de la ubicación del cabezal 87.4%	
D(mm)	Long (m)	Coste (€)
125	1839.5	18,652.53
110	7064.2	63,507.16
	17540.2	362,511.82

5.4 Análisis final de las alternativas

En este apartado frente a los resultados obtenidos en los sectores y las comparaciones realizadas, se puede decir que un diseño a la demanda es óptimo si se realiza para redes ramificadas que son pequeñas porque puede permitirse la posibilidad que exista menos control de consumo por tener menos usuarios y, por ende, menos fluctuaciones en las presiones. En caso de que una red sea muy grande, lo mejor es controlar el consumo porque así se permite el riego de forma estricta y necesaria, y por eso siempre es bueno asignar turnos a los usuarios.

En el riego por turnos es importante recordar que una de las desventajas es que se debe analizar el fenómeno del golpe de ariete debido a las aperturas y cierres realizados por cada turno, por lo tanto, se debe de considerar elementos de protección frente a estos transitorios.

La alternativa de modificar el trazado es una buena solución ya que se permite reubicar ya sea los hidrantes o el cabezal de manera estratégica en el que beneficie el funcionamiento de la red con una solución de diseño de la red más económica. Además, este análisis de modificar el trazado es un buen punto para tener en cuenta en caso de planificación de una red, antes de que sea construida, en cambio si la red ya está construida, esta alternativa asume costes directos como reubicar los elementos de la red y muchas más actividades. En cuanto a la GS, se puede ver que en esta alternativa es menor. Esto es debido a que los diámetros son menores, permitiendo así reducir la capacidad hidráulica de la red, lo que hace que dicha GS reduzca. Se compara la red operando por turnos como si funcionara a la demanda, por lo tanto, se limita estrictamente a diseñar la red para el caudal reducido calculado para los 5 turnos.

En el caso de que una red tenga mayor número de turnos, la garantía suministro siempre se ve afectada, ya que el consumo es fijo, pero al dividirlo entre la cantidad de turnos, el caudal disminuye, es decir entre más turnos tenga, menor es el caudal de diseño para la red. Esto lo pudimos evidenciar en el cálculo de la GS de la alternativa del diseño de 6 turnos, siempre fue la peor porque tiene menores diámetros y, por ende, menos capacidad.

CONCLUSIONES

Como las sequias producidas en la provincia de Valencia, las cuales son cada vez más frecuentes, impactan significativamente al riego de los cultivos más demandados, se hace necesaria una mejora en los sistemas de riego para una gestión eficiente. Por este motivo se ha implementado un sistema de riego operando por turnos para garantizar un reparto equitativo del agua y la viabilidad de las explotaciones agrícolas, haciendo que sea una solución ampliamente implantada. Debido a esto, se ha realizado este trabajo con el fin de analizar distintas alternativas para la mejora de estos sistemas de riego de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar.

Para cumplir el primer objetivo específico planteado, se revisó que el proyecto que analiza la mejora de las redes de riego del sector 42, 43 y 44 de la comunidad de regantes de la Acequia Real del Júcar cumpliera con los requerimientos hidráulicos propuestos, lo cual no ocurre para los sectores 42 y 44. También se observó en este proyecto que las redes terciarias de todos los sectores están sobredimensionadas. Esto llevó a proponer alternativas de mejora de dichos sistemas de riego que cumplan con los requerimientos hidráulicos y así lograr los otros objetivos específicos.

Entre estas alternativas están la propuesta de redimensionamiento de las redes para que cumplan con los requerimientos hidráulicos del proyecto, a través de un ajuste mínimo considerando caudales uniformes. También se propuso la implementación de sistemas de riego de 4 y 6 turnos, en contraposición al sistema de 5 turnos de la red del proyecto original. Cada uno de los escenarios por turnos fueron comparados con un sistema de riego a la demanda, determinando la garantía de suministro de cada sistema.

El análisis realizado determino que los sistemas de riego por turnos son más económicos que los sistemas de riego a la demanda. Por otro lado, los sistemas por turnos producen un mayor ahorro de agua. Esto se debe a que hay un mayor control de los caudales suministrados. En el caso de las redes grandes, lo mejor es operar por turnos porque uno de los inconvenientes de un diseño a la demanda en redes grandes es que se puedan generar muchos escenarios de simultaneidad y es casi improbable que la red tenga un buen funcionamiento frente a estos consumos simultáneos.

Aunque los sistemas por turnos muestran estas ventajas frente a los sistemas de riego a la demanda, debe considerarse el análisis en régimen transitorio para el dimensionamiento de elementos de protección contra golpes de ariete producidos por las constantes aperturas y cierres de todos los elementos de la red, debido a los cambios de turnos en parcelas.

Otra propuesta fue la modificación del trazado de la red del proyecto original, cambiando la ubicación de los cabezales de riego y de los hidrantes multiusuario, llegando a la conclusión de que se pueden reducir el diámetro de las redes y por consiguiente obtener una red más eficiente.

Con todas las soluciones propuestas y recomendaciones realizadas anteriormente mencionadas, considerando los criterios hidráulicos y económicos, se llega a la conclusión de que se cumplen todos los objetivos específicos, y así seleccionar la alternativa más viable en cada sector.

Como línea de mejora se propone considerar mayor cantidad de combinaciones de diámetros que cumplan los requerimientos hidráulicos al momento de dimensionar la red. De esta forma podrían encontrarse soluciones más económicas.

Para finalizar, podemos asegurar que los resultados obtenidos sirven de base para profundizar en estudios más extensos respecto a la mejora de las redes de riego analizadas en este trabajo y de otros sistemas de riego alrededor del mundo.

BIBLIOGRAFÍA

- Arregui de la Cruz, F., Cabrera Rochera, E., Cobacho Jordán, R., Soriano Olivares, J., & Gómez Sellés, E. (with Universitat Politècnica de València Editorial, Universitat Politècnica de València Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales - Escola Tècnica Superior d'Enginyers Industrials, Universitat Politècnica de València Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño - Escola Tècnica Superior d'Enginyeria del Disseny, & Universitat Politècnica de València Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente - Departament d'Enginyeria Hidràulica i Medi Ambient). (2017). *Apuntes de mecánica de fluidos*. Editorial Universitat Politècnica de València.
- Clément, R. (1966). Calcul des débits dans les réseaux d'irrigation fonctionnant à la demande. *La Houille Blanche*. <https://doi.org/10.1051/lhb/1966034>
- Fuertes Miquel, V. S., Iglesias Rey, P. L., & Pérez García, R. (2003). *Ingeniería Hidráulica En Los Abastecimientos De Agua*.
- Iglesias Rey, P. L., & Martínez Solano, F. J. (with Universidad Politécnica de Valencia). (2012). *Análisis y diseño de redes de distribución de agua mediante EPANET 2 vE*. Fluidos-UPV. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
- Mott, R. L. (2006). *Mecánica de fluidos* (6ª ed.). Pearson Educación.
- Planells, P., Ortega, J. F., Valiente, M., Montero, J., & Tarjuelo Martín-Benito, J. M. (1999). Criterios para el diseño de redes colectivas de riego. *Ingeniería del agua*, 6(1). <https://doi.org/10.4995/ia.1999.2773>
- Rosell Esteve, M. A. (2023a). Anejo 10.- Cálculos hidráulicos. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”.

Rosell Esteve, M. A. (2023b). *Anejo 11.- Hidrantes y Acometidas. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”*.

Rosell Esteve, M. A. (2023c). *Memoria. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”*.

Rossman, L., & Martínez Alzamora, F. (2001). *EPANET 2.0 en Español. MANUAL DEL USUARIO. Versión 2.00.08*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10048.79368>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tomas en función del caudal nominal de válvulas y contadores (Anejo 11.- Hidrantes y Acometidas. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023)	16
Tabla 2. Elevación de hidrantes del sector 42 (Anejo 10.- Cálculos hidráulicos. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2025)	19
Tabla 3. Dimensiones de tuberías originales del sector 42 (Anejo 10.- Cálculos hidráulicos. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2025)	20
Tabla 4. Elevación de hidrantes del sector 43 (Anejo 10.- Cálculos hidráulicos. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2025)	22
Tabla 5. Dimensiones de tuberías originales del sector 43 (Rosell Esteve, 2023a)	23
Tabla 6. Elevación de hidrantes del sector 44 (Rosell Esteve, 2023a)	26
Tabla 7. Dimensiones de tuberías originales del sector 44 (Rosell Esteve, 2023a)	27
Tabla 8. Superficie regable sector 42 (Rosell Esteve, 2023b)	30
Tabla 9. Superficie regable sector 43 (Rosell Esteve, 2023b)	31
Tabla 10. Parcelas del sector 44 (Rosell Esteve, 2023b)	32
Tabla 11. Coste de tuberías secundarias.....	34
Tabla 12. Coste de tuberías terciarias.....	34
Tabla 13. Resultados de las presiones en hidrante.	41
Tabla 14. Combinaciones de riego de parcela por turnos.	42

Tabla 15. Ajuste mínimo de la red original para 5 turnos.....	42
Tabla 16. Diseño a la demanda con GS 99%.	44
Tabla 17. Diseño a la demanda con GS 95%.	45
Tabla 18. Diseño de la red con caudal para 4 turnos.....	46
Tabla 19. Diseño de la red con caudal para 6 turnos.....	47
Tabla 20. Cálculo de la GS para las alternativas.....	48
Tabla 21. Tuberías secundarias de alternativa modificación del cabezal.	50
Tabla 22. Tuberías terciarias de alternativa modificación del cabezal.	51
Tabla 23. Combinaciones de riego de parcela por turnos.	54
Tabla 24. Ajuste de tuberías terciarias del modelo original.	54
Tabla 25. Diseño a la demanda con GS 99%.	56
Tabla 26. Diseño a la demanda con GS 95%.	57
Tabla 27. Diseño de la red con caudal para 4 turnos.....	58
Tabla 28. Diseño de la red con caudal para 6 turnos.....	59
Tabla 29. Cálculo de la GS para las alternativas.....	59
Tabla 30. Tuberías secundarias de alternativa modificación de la ubicación de hidrantes.....	62
Tabla 31. Resultados de las presiones en hidrantes	65
Tabla 32. Combinaciones de riego de parcela por turnos.	66
Tabla 33. Ajuste mínimo de la red original para 5 turnos.....	66
Tabla 34. Diseño a la demanda con GS 99%.	68
Tabla 35. Diseño a la demanda con GS 95%.	69
Tabla 36. Diseño de la red con caudal para 4 turnos.....	70
Tabla 37. Diseño de la red con caudal para 4 turnos.....	72
Tabla 38. Cálculo de la GS para las alternativas.....	72
Tabla 39. Tuberías secundarias de alternativa modificación del cabezal.	75
Tabla 40. Análisis económico de las tuberías secundarias.....	80
Tabla 41. Análisis económico de las tuberías terciarias.....	81
Tabla 42. Análisis económico de las tuberías secundarias de las distintas alternativas.....	82
Tabla 43. Análisis económico de tuberías secundarias	83
Tabla 44. Análisis económico de las tuberías secundarias.....	84
Tabla 45. Análisis económico de las tuberías terciarias.....	85
Tabla 46. Análisis económico de las tuberías secundarias de las distintas alternativas.....	87
Tabla 47. Análisis económico de tuberías secundarias	88
Tabla 48. Análisis económico de las tuberías secundarias.....	90

Tabla 49. Análisis económico de las tuberías terciarias.....	91
Tabla 50. Análisis económico de las tuberías secundarias de las distintas alternativas.....	92
Tabla 51. Análisis económico de tuberías secundarias	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Zona regable de la ARJ, sectores 42, 43 y 44 y Red en Alta (Memoria. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023).	2
Figura 2. Emplazamiento de las obras en los sectores 42,43 y 44 de ARJ (Memoria. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023).	3
Figura 3. Vista en planta de instalación hidráulica y electromecánica cabezal sector 42 (Memoria. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023).	7
Figura 4. Vista en planta de instalación hidráulica y electromecánica cabezal sector 43 (Memoria. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023).	8
Figura 5. Vista en planta de instalación hidráulica y electromecánica cabezal sector 42 (Memoria. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023).	9
Figura 6. Secciones de hidrantes multiusuarios del proyecto (Memoria. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023).	10
Figura 7. Perdidas de carga en función del caudal de contadores (Anejo 11.- Hidrantes y Acometidas. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023)	17
Figura 8. Perdidas de carga en función del caudal de válvulas hidráulicas (Anejo 11.- Hidrantes y Acometidas. “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”, 2023)	17
Figura 9. Planta distribución sectores Acequia Real del Júcar. Fuente: Anejo 10.- Cálculos hidráulicos del proyecto “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”.	18

Figura 10. Topología red distribución secundaria sector 42. Fuente: Anejo 10.- Cálculos hidráulicos del proyecto “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”.	19
Figura 11. Topología red distribución secundaria sector 42 en QGISred.	21
Figura 12. Topología red distribución secundaria y terciaria del sector 42 en QGISred.	21
Figura 13. Topología red distribución secundaria sector 43. Fuente: Anejo 10.- Cálculos hidráulicos del proyecto “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”.	22
Figura 14. Topología red distribución secundaria sector 43 en QGISred.	25
Figura 15. Topología red distribución secundaria y terciaria del sector 43 en QGISred.	25
Figura 16. Topología red distribución secundaria sector 44. Fuente: Anejo 10.- Cálculos hidráulicos del proyecto “Obras medioambientales y de adecuación de las redes de distribución de los sectores 42, 43 y 44 de la Acequia Real del Júcar (Valencia)”.	26
Figura 17. Topología red distribución secundaria sector 44 en QGIS.	29
Figura 18. Topología red distribución secundaria y terciaria del sector 44 en QGISred.	30
Figura 19. Simulación de la red de riego del sector 42 con el 20% del caudal demandado. ...	41
Figura 20. Topología de red original.	49
Figura 21. Topología de la red con reubicación del cabezal.	49
Figura 22. Simulación del sector 42 con la reubicación del cabezal.	50
Figura 23. Simulación de la red de riego del sector 43 con el 20% del caudal demandado. ...	53
Figura 24. Topología de la red original del sector 43	60
Figura 25. Topología de la red del sector 43 con la modificación de ubicación de hidrantes .	61
Figura 26. Simulación del sector 43 con la modificación de ubicación de los hidrantes.	62
Figura 27. Simulación de la red de riego del sector 44 con el 20% del caudal demandado. ...	64
Figura 28. Topología de la red original del sector 44	73
Figura 29. Topología de la red del sector 44 con la modificación de ubicación del cabezal.	74
Figura 30. Simulación del sector 44 con la reubicación del cabezal.	75