



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO
HIDRÁULICO Y ENERGÉTICO Y
PROPUESTAS DE MEJORA DE LA RED
DE RIEGO DE SANTA PAULA
(VALENCIA)

Alumna: **Olga Pascual Baldoví**

Tutor: Juan Manzano Juarez

Curso Académico: **2020-2021**

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi tutor Juan Manzano toda la ayuda y atención que me ha dado para la realización de este trabajo, desde el primer momento hasta el final. He aprendido mucho gracias a él y estoy muy contenta por ello.

En segundo lugar, quiero agradecer a mi familia, mi padre, mi madre y mi hermana que me han apoyado en todo momento. Estoy segura que sin ellos no habría llegado donde estoy. Quien os hubiera dicho que terminaría una ingeniería, con lo mal que se me daban las matemáticas de pequeña. Gracias por confiar en mí hasta el final.

Y por último, pero no por ello menos importante, quiero agradecerle a mi compañera de aventuras, Mariana, por estar a mi lado en los buenos momentos pero sobre todo por permanecer también en los malos. Sin ti nada habría sido igual.

Resumen

En el municipio de Benavites (Valencia) se ubica la Comunidad de Regantes de Santa Paula; se trata de una red de riego a presión que reparte agua a unas 1142,8 ha de cultivo de cítricos, caqui y aguacates. La red de riego tiene un suministro mixto de agua, de pozo y superficial desde la acequia “La Font de Quart”, existiendo una balsa de regulación. Aguas debajo de la balsa se sitúa un cabezal de riego con dos bombas en paralelo y donde también confluye la impulsión desde un pozo anexo. El presente Trabajo Final de Grado tiene como objetivo principal el análisis hidráulico de esta red de riego con el objetivo de comprobar que todos los hidrantes de riego reciben la dotación consignada y la presión requerida. Del mismo modo, se pretende evaluar el comportamiento energético de la red, comparando los requerimientos teóricos con los consumos eléctricos que se producen durante un día tipo. En función del resultado del análisis se propondrán las oportunas mejoras para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. El trabajo a realizar tendrá los siguientes apartados:

- 1.- Realización del modelo hidráulico de la red. Esta fase se desarrollará a partir de la cartografía existente y de la información suministrada por los técnicos de la red. Se usará un software específico (EPANET).
- 2.- Evaluación del sistema de bombeo, tras el análisis de datos de consumo eléctrico de la Comunidad de Regantes.

Palabras Clave: Red de riego, análisis hidráulico, comportamiento energético, inyección de los fertilizantes.

Resum

Al municipi de Benavites (València) se situa la Comunitat de Regants de Santa Paula; es tracta d'una xarxa de reg a pressió que reparteix aigua a unes 1142,8 ha de cultiu de cítrics, caqui i alvocats. La xarxa de reg té un subministrament mixt d'aigua, de pou i superficial des de la séquia La Font de Quart, existint una bassa de regulació. Aigües davall de la bassa se situa un capçal de reg amb dues bombes en paral·lel i on també conflueix la impulsó des de un pou annex. El present Treball Final de Grau té com a objectiu principal l'anàlisi hidràulic d'aquesta xarxa de reg amb l'objectiu de comprovar que tots els hidrants de reg reben la dotació consignada i la pressió requerida. De la mateixa forma, es pretén avaluar el comportament energètic de la xarxa, comparant els requeriments teòrics amb els consums elèctrics que es produeixen al llarg d'un dia elegit. En funció del resultat de l'anàlisi es proposaran les oportunes millores per a garantir el correcte funcionament del sistema. El treball a realitzar tindrà els següents apartats:

- 1.- Realització del model hidràulic de la xarxa. Aquesta fase es desenvoluparà a partir de la cartografia existent i de la informació subministrada pels tècnics de la xarxa. S'utilitzarà un software específic (EPANET).
- 2.- Avaluació del sistema de bombeig, després de l'anàlisi de les dades de consum elèctric de la Comunitat de Regants.

Paraules Clau: Xarxa de reg, anàlisi hidràulic, comportament energètic, inyecció dels fertilitzants.

Abstract

In the municipality of Benavites (Valencia) in the Community of irrigators in Santa Paula; it is a pressure irrigation network that distributes water to about 1142.8 ha of citrus, persimmon and avocado cultivation. The irrigation network has a mixed supply of well water and superficial water from the ‘La Font de Quart’ ditch. Downstream from the pond there is an irrigation head with two parallel pumps and where the drive comes from an adjacent well. The main purpose of this Final Grade Project is the hydraulic analysis of this irrigation network with the aim of verifying that all the irrigation hydrants receive the consigned provision and the required pressure. In the same way, the purpose is to evaluate the energy behavior of the network, comparing the theoretical requirements with the electrical consumption that occurs during a typical day. Depending on the result of the analysis, appropriate improvements will be proposed to guarantee the correct operation of the system. The work will have the following sections:

- 1. - Realization of the hydraulic network model. This phase is going to be developed from the existing cartography and from the information provided by the network technicians. Using specific software (EPANET).
- 2. - Evaluation of the pumping system, after the analysis of electricity consumption data from the Irrigators Community.

Key words: Irrigation network, hydraulic analysis, energy behavior, fertilizer injection.

Índice General

Agradecimientos	III
Resumen	V
Resum	VII
Abstract	IX
Índice General	XI
I MEMORIA DESCRIPTIVA	1
1 Objetivo del trabajo	3
2 Introducción	5
2.1 Justificación Científica	6
2.2 Justificación Académica	6
3 Antecedentes	7
3.1 Localización y Geografía de Benavites	7
3.2 Tipos de riego en la Comunidad Valenciana	9
3.3 Volumen de Agua de Riego en las Explotaciones Agrarias	13
3.4 Características de la zona regable	14
3.5 Protocolo de Auditoría Energética	17

4 Metodología de Evaluación	19
4.1 Resumen Metodológico	19
4.2 Comunidad de Regantes de Santa Paula	20
4.3 Descripción de las Instalaciones	21
4.4 Instrumentos de Medición y Metodología Experimental	27
4.5 Cartografía	31
4.6 Realización del modelo hidráulico en EPANET	34
4.7 Calibración del Modelo	37
5 Análisis de los Resultados	41
5.1 Análisis del Modelo Actual	41
5.2 Análisis del Modelo de Proyecto	47
6 Propuestas de Mejora para el Funcionamiento de la Red	49
6.1 Parámetros a Analizar en la Red	49
6.2 Propuestas de Mejora en el Sector 1	50
6.3 Propuestas de Mejora en el Sector 2	50
6.4 Propuestas de Mejora en el Sector 3	52
6.5 Propuestas de Mejora en el Sector 4	54
6.6 Mejora en el Funcionamiento Energético	56
6.7 Mejora en la Distribución del Fertilizante	58
6.8 Otras mejoras	59
6.9 Valoración Económica de las Propuestas	59
7 Conclusiones	61
Bibliografía	63
II PRESUPUESTO	67
8 Presupuesto	69
8.1 Justificación de Precios	69
8.2 Resumen por Capítulos	70
8.3 Presupuesto Económico	70

III ANEXOS	71
A Anexos	73
A.1 Dimensionamiento de la Red	73
A.2 Parámetros de las tuberías	76
A.3 Diámetros Nominales de las Tuberías de PVC	78
A.4 Catálogo de la Bomba Dosificadora. Marca Damova.	79
A.5 Red Actual en Epanet	80
A.6 Diagrama de flujo	82

Índice de figuras

3.1. Localización del Municipio de Benavites. Fuente: [2]	7
3.2. La Font de Quart. Fuente: [3]	8
3.3. Situación de La Marjal y su zona de influencia. Fuente: [2]	8
3.4. Formas de Riego por Porcentajes en la Comunidad Valenciana. Fuente: [4]	9
3.5. Sistema de tuberías por goteo de la red de riego de Santa Paula.	10
3.6. Detalle del gotero en la tubería.	10
3.7. Riego por aspersión. Fuente: [8].	12
3.8. Riego automotriz. Fuente: [9].	13
4.1. Campos de regadío.	21
4.2. Cabezal de Riego de Santa Paula.	22
4.3. Balsa de Hormigón.	22
4.4. Sistema de bombas horizontales en paralelo.	23
4.5. Filtro Malla.	23
4.6. Sistema de Filtración.	23
4.7. Depósitos y bomba de inyección de fertilizante	24
4.8. Elementos que componen la bomba dosificadora. Fuente:[24].	25
4.9. Esquema de una instalación general de la bomba dosificadora. Fuente: [25].	26
4.10. Hidrante con electroválvula.	27

4.11. Detalle del hidrante número 37.	27
4.12. Variador de frecuencia.	28
4.13. Programador de riego.	28
4.14. Analizadores de red.	28
4.15. Detalle de la instalación con los analizadores de red conectados al cuadro eléctrico.	29
4.16. Transductor de presión colocado en el filtro.	29
4.17. Ejemplo de instalación de un transductor de presión en un hidrante.	30
4.18. Registro de caudales en el cabezal con un caudalímetro ultrasonido.	30
4.19. Contador de agua.	31
4.20. Cartografía para la realización del modelo de proyecto.	32
4.21. Plano del modelo de proyecto en Autocad.	32
4.22. Cartografía digital del modelo actual en QGIS. Parcelario, hidrantes/tomas y red de riego.	33
4.23. Modelo de proyecto en Epanet.	35
4.24. Modelo actual en Epanet.	35
4.25. Patrón de funcionamiento de riego, sector 1.	36
4.26. Patrón de funcionamiento de riego, sector 2.	36
4.27. Patrón de funcionamiento de riego, sector 3.	37
4.28. Patrón de funcionamiento de riego, sector 4.	37
4.29. Presiones registradas en el cabezal.	38
4.30. Presiones registradas en el hidrante 30, Sector 3.	39
4.31. Presiones registradas en el hidrante 36, Sector 1.	39
4.32. Presiones registradas en el hidrante 37, Sector 2.	40
5.1. Resultados de la simulación en el Sector 1.	41
5.2. Resultados de la simulación en el Sector 2.	42
5.3. Resultados de la simulación en el Sector 3	43
5.4. Resultados de la simulación en el Sector 4.	44

5.5. Potencia medida en la bomba de velocidad variable.	46
5.6. Potencia medida en la bomba de velocidad fija.	46
5.7. Resultados en el Sector 1 del Modelo Proyecto.	47
5.8. Resultados en el Sector 2 del Modelo Proyecto.	48
6.1. Sector 2 mejorado.	51
6.2. Mejora de los hidrantes en el sector 3.	52
6.3. Tuberías L6 y L7 mejoradas.	53
6.4. Mejora en el sector 3.	53
6.5. Mejora en el sector 4.	55
6.6. Bomba tipo Etabloc. Fuente: [29]	56
6.7. Curva característica de la bomba, Altura- Caudal. Fuente:[29]	57
6.8. Curva característica de la bomba, Rendimiento- Caudal. Fuente:[29]	57
6.9. Curva característica de la bomba, Potencia - Caudal. Fuente:[29]	57
6.10. Ecuación de la Curva característica H-Q. Fuente:propia	58
6.11. Variador de Frecuencia Tipo SD500. Fuente:[30]	59

Índice de tablas

3.1. Calificación de la Gestión Energética. [1].	17
3.2. Calificación de la eficiencia energética en la Comunidad de Regantes: [1].	18
3.3. Calificación Energética de la Eficiencia de los Bombeos. Fuente: [1]	18
4.1. Distribución de superficies por sector.	27
4.2. Cotas en el cabezal según el sector.	38
5.1. Variación del caudal total entre sectores.	45
5.2. Balance de potencias para la evaluación energética.	47
6.1. Velocidades máximas en el sector 1.	50
6.2. Presiones máximas en el sector 1.	50
6.3. Velocidades máximas en el sector 2.	51
6.4. Presiones máximas en el sector 2	52
6.5. Velocidades máximas en el sector 3.	54
6.6. Presiones máximas en el sector 3.	54
6.7. Velocidades máximas en el sector 4	55
6.8. Presiones máximas en el sector 4.	56
8.1. Justificación de los precios por recursos	69
8.2. Presupuesto del Capítulo 1. Sustitución de las tuberías.	70

8.3. Presupuesto del Capítulo 2. Sustitución de las Bombas.	70
8.4. Resumen del Presupuesto Total	70

Parte I

MEMORIA DESCRIPTIVA

Capítulo 1

Objetivo del trabajo

El objetivo principal de este trabajo es el diseño y el análisis hidráulico y energético de la red de riego de Santa Paula con la finalidad de asegurar que todos los hidrantes cumplan con unos requisitos determinados, de velocidad y de presión, con la mayor eficiencia posible.

Además, se plantean varias propuestas para mejorar las condiciones del sistema de riego. Para esto, se tendrán en cuenta los aspectos económicos mediante el cálculo del presupuesto.

Capítulo 2

Introducción

El siguiente Trabajo Fin de Grado trata sobre el estudio y análisis del sistema de riego localizado, a presión, de la Comunidad de Regantes de Santa Paula en el municipio de Benavites. Esta red de riego está formada por un suministro mixto de agua, de pozo y superficial desde la acequia "La Font de Quart", donde hay una balsa de regulación. Aguas debajo de la balsa se sitúa un cabezal de riego con dos bombas en paralelo y donde también confluye la impulsión desde un pozo anexo.

El primer análisis se ejecutará a partir de la medición de parámetros hidráulicos y energéticos en la zona del cabezal, donde se determina la eficiencia del sistema de bombeo. Además del agua de riego, se realizará la inyección de fertilizante por medio de la técnica denominada fertirrigación.

A partir de la cartografía proporcionada y de un conjunto de listados a papel, se va realizar el modelo hidráulico mediante el software denominado EPANET. De esta manera se va a poder analizar la red en función de varios parámetros como la presión, el caudal o las velocidades y observar en que nodos y tiempos los valores son más desfavorables para poder realizar las soluciones pertinentes.

Una vez realizado el modelo hidráulico, se realizará la calibración de este y en qué grado se parece a las mediciones realizadas en la red. Se debe asegurar que el modelo diseñado sea lo más parecido posible al modelo real para poder hacer un uso del modelo como una herramienta fiable de análisis en el funcionamiento de la red ante posibles cambios en los parámetros y en las diferentes situaciones.

Es importante comentar que se van a realizar dos tipos de modelos. En primer lugar, el modelo de proyecto que se pretendía construir inicialmente formado por 6 sectores y luego el modelo actual que se ha construido con 4 sectores en la red. No obstante, las mediciones que se van a realizar y las mejoras que se van a proponer son sobre el modelo actual.

Con el modelo obtenido se podrán plantear diferentes modificaciones con la finalidad de comprobar cuál de ellas cumple mejor los requisitos establecidos de velocidad y presión para garantizar el buen funcionamiento de la red en los nudos y en las tuberías.

Por último, en cuanto al análisis energético, se ha seguido el protocolo de auditoría energética en las comunidades de regantes del IDAE, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [1]. Con esto se pretende diagnosticar los puntos más débiles de menor eficiencia en la comunidad de regantes y proponer las soluciones necesarias para la mejora energética.

2.1 Justificación Científica

El principal problema que se pretende solucionar en este trabajo es el correcto abastecimiento de todos los puntos de la red. Esto se va a comprobar mediante dos aspectos críticos, el comportamiento hidráulico y el consumo energético para alcanzar el objetivo principal establecido.

Como consecuencia del sistema de bombeo empleado en esta red de riego a presión se tiene una dependencia del agua suministrada con la energía demandada. Las instalaciones de riego consumen energía porque son instalaciones que requieren de presión de bombeo. Como esta red es por goteo se requiere de presión y por tanto el suministro del agua está vinculado al de energía. Es por esto que es necesario el diseño de un sistema adaptado a las demandas de la red y a los sectores con la finalidad de optimizar los recursos energéticos.

Se pretende conseguir un funcionamiento de la red donde el sistema de bombeo trabaje con el mayor rendimiento posible. Que se cumplan los requisitos hidráulicos establecidos en cada punto de consumo para obtener el mayor ahorro de agua posible con un sistema de riego en alto rendimiento.

2.2 Justificación Académica

La motivación para la realización de este Trabajo Fin de Grado tiene su origen en las asignaturas de Mecánica de Fluidos donde, entre otras cosas, se aprenden los primeros conceptos y fundamentos de la hidráulica y de la asignatura de Maquinas de fluidos donde se utiliza el programa EPANET y se diseñan instalaciones hidráulicas y bombas. Todo esto me produjo interés y curiosidad, para hacer más sobre estos conceptos y por eso elegí este trabajo.

El trabajo pretende utilizar todos los conocimientos adquiridos a lo largo de los años en el grado, no solo en base a las asignaturas mencionadas anteriormente sino también a muchas otras, como el análisis de procesos, la realización del proyecto y presupuesto de un trabajo o el diseño de experimentos.

Antecedentes

3.1 Localización y Geografía de Benavites

De acuerdo a la página web del ayuntamiento de Benavites, [2], se ha podido obtener la siguiente información.

El municipio de Benavites está situado al Nord-Oeste de la Vall de Segó en la comarca del Camp de Morverdre (Provincia de Valencia). Limita al Norte con el término de Almenara, al Este con el Mar Mediterráneo, al Oeste con Quartell y al Sud con Faura, figura 3.1 . La superficie del término es llana con ligeros desniveles y su población se ubica a una altitud de 36 metros sobre el nivel del mar.



Figura 3.1: Localización del Municipio de Benavites. Fuente: [2]

El barranco de Benavites, también conocido como el "Barranc de l'Arquet", delimita la división entre las provincias de Valencia y Castellón. Este barranco es el encargado de drenar el término por el margen norte. Además, hay un segundo barranco llamado el del Coronel o Quartell que discurre por el margen Sur del término y delimita los municipios de Benavites y Quartell. Ambos barrancos desembocan en la antigua albufera y que conforma el marjal.

Asimismo, es importante hablar de la Font de Quart. De esta fuente o manantial, se abastecen los municipios de Quart, Quartell, Benavites, Benifairo, Faura y Almenara, tanto de agua potable como de agua para riego. Se alcanza un caudal de 25.000 l/min para regar aproximadamente 10.000 hanegadas y por esto es muy importante su gestión eficiente así como su preservación.[3].



Figura 3.2: La Font de Quart. Fuente: [3]

Con respecto a la economía local del municipio, esta tiene base agrícola, la cual ha abandonado la producción de arroz y se ha cultivado prácticamente todo el término con naranjos y otros cultivos. De hecho, la red de riego de estudio abastece a campos de naranjos, caquis y aguacates.

Por otro lado, Benavites cuenta con un paisaje natural muy singular y de gran belleza, el marjal. Situado al extremo Este del término municipal y conformada por las partidas de la Closa, les Marjaletes, Xirau, els Fondets y el Coto.



Figura 3.3: Situación de La Marjal y su zona de influencia. Fuente: [2]

Como se muestra en la figura 3.3, La Marjal de Benavites tiene una considerable extensión. Se trata de un humedal litoral típico de la costa Valenciana catalogado por su alto valor ecológico como "Lloc d'interès Comunitari (LIC)" por la Unión Europea. Estos ecosistemas son de gran importancia para evitar el avance de la salinización de los acuíferos.

Hasta hace poco, estas zonas húmedas acumulaban el agua de la lluvia, el agua sobrante de las acequias y de los barrancos para el cultivo del arroz. En la actualidad, las tierras son desecadas durante los meses de primavera y verano y son aprovechadas para el cultivo de hortalizas [2].

3.2 Tipos de riego en la Comunidad Valenciana

La agricultura de la Comunidad Valenciana se caracteriza por su alta especialización en cultivos de regadío tanto a nivel productivo como a nivel de exportación. Desde 2015 a 2019 las tierras de cultivo de secano han disminuido el 3,90 % y las de regadío han aumentado el 2,28 %, según los datos publicados por la Generalitat Valenciana, [4].

Además, en la Comunidad Valenciana la implantación del sistema de riego localizado alcanzó una superficie de 211.403 hectáreas regadas en 2019, lo que representa el 72,00 % de la superficie total regada. Por otra parte, el riego por gravedad con 81.477 hectáreas regadas en 2019 representa el 27,75 % de la superficie total. Los riegos por aspersión y automotriz son poco significativos, forman el 0,25 %. Esto se observa mejor en la figura 3.4.

Tipos de Riego según el Porcentaje de Uso en la CV.

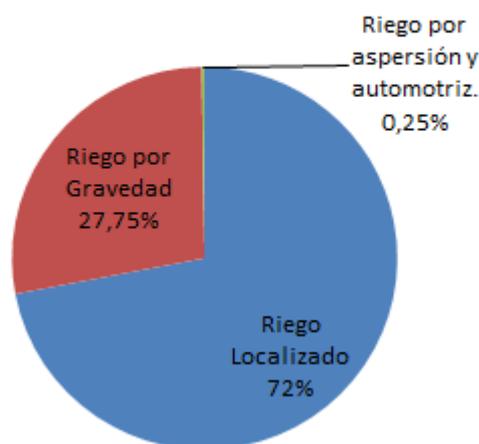


Figura 3.4: Formas de Riego por Porcentajes en la Comunidad Valenciana. Fuente: [4]

Cabe destacar el fuerte aumento de la superficie de riego localizado en los últimos 14 años en un 29,87 % mayor y el descenso del riego por gravedad en un 36,51 % menor [4].

A continuación, se van a explicar las diferentes formas de regadío de forma más detallada, especialmente el riego localizado.

3.2.1 Riego Localizado

El agua ha sido históricamente un factor determinante de la producción agraria. Una gran parte de las superficies cultivables de España y del mundo sufre insuficiencia de precipitaciones, las cuales cada vez con mayor frecuencia se presentan en el momento menos propicio para los cultivos. Es por esto que se diseñan técnicas cada vez más eficientes en cuanto al uso del agua, como por ejemplo, el riego localizado [5].

Esta técnica de regadío es empleada en todo tipo de cultivos. Consiste en la aplicación de agua a una pequeña área de la superficie del suelo, a veces solo a la zona de las raíces. El agua que se aplica, generalmente, es a caudal bajo, en pequeñas cantidades y con frecuencia.

Con esta metodología se pretende que el agua y los nutrientes estén disponibles en el suelo en condiciones óptimas. Esto se realiza por medio de emisores de riego, goteros, y tuberías laterales, como se muestra en las figuras 3.5 y 3.6. Además, generalmente al riego localizado se le denomina como riego por goteo o riego gota a gota.[5]



Figura 3.5: Sistema de tuberías por goteo de la red de riego de Santa Paula.



Figura 3.6: Detalle del gotero en la tubería.

Por otra parte, es importante comentar las diferentes particularidades de las que está formado un sistema de riego localizado. Uno de los componentes que forman el sistema es el cabezal de riego, constituido por un conjunto de dispositivos situados al principio de la red de riego con el objetivo de controlar su funcionamiento. Generalmente, un cabezal de riego localizado está formado por [5]:

- **Captación del agua** De las aguas subterráneas, a través de pozos, o de aguas superficiales mediante ríos y fuentes. Las primeras, se suelen almacenar en balsas para facilitar la decantación de las arenas. Por otro lado, las aguas superficiales se someten a un prefiltrado.
- **Sistema de impulsión del agua:** El aporte de presión al sistema normalmente se realiza mediante un sistema de bombeo. Se usan bombas denominadas centrífugas que, en la superficie, son capaces de aspirar el agua. Para la extracción de agua de pozos se utilizan las bombas llamadas sumergibles.

Si se dispone de más de una bomba en el cabezal de riego, estas pueden instalarse en serie o en paralelo. Si hay dos bombas iguales conectadas en serie, suministrarán el caudal de una sola de ellas, pero se suman sus presiones multiplicando por dos la presión de trabajo. En cambio, si las bombas están conectadas en paralelo, proporcionarán la suma del caudal dado por cada una, y funcionarán a la presión de trabajo de una de ellas.

No obstante, no siempre hay que recurrir al empleo de un sistema de bombeo, este no es necesario cuando el agua proviene de una red pública con suficiente carga hidráulica o cuando el agua es almacenada mediante depósitos elevados.

- **Filtración:** El agua de riego generalmente transporta impurezas que hay que eliminar para evitar problemas en el funcionamiento de la instalación. Por tanto, se realiza la limpieza del agua mediante un sistema de filtración el cual depende del tamaño de partículas a separar.
 - **Filtro de malla:** Imprescindible en cualquier sistema de riego, especialmente cuando se realiza fertirrigación. Filtran partículas de aguas no muy sucias y son fáciles de limpiar.
 - **Filtro de anillas:** El elemento filtrante es un conjunto de discos que se apilan para formar un cartucho con numerosos orificios correspondientes a ranuras marcadas sobre las caras de los discos. Las partículas orgánicas que transporta el agua se depositan entre estas ranuras.
 - **Filtro de arena:** Elemento básico para la eliminación de las partículas orgánicas arrastradas por el agua, y de partículas minerales cuyo tamaño sea similar al de la arena filtrante. Actualmente se usa poco este tipo de filtro, se sustituye por filtros de anillas autolimpiables.
- **Inyección de fertilizante:** Además de la aplicación de agua al suelo, el riego localizado posibilita el aporte de los fertilizantes. Esto se va a comentar con más detalle en el apartado de fertirrigación, 3.4.2.

- **Dispositivos de control y medida:** Permiten comprobar la eficiencia del funcionamiento de la red. Por ejemplo:
 - **Manómetros:** Se encargan de medir la presión del sistema y determinan la pérdida de carga que se produce. Normalmente se colocan a las entradas y salidas de las bombas y los filtros.
 - **Contadores y caudalímetros:** Son dispositivos mecánicos, o electromecánicos, que indican la cantidad total de agua utilizada en el riego (volumen), y también la cantidad de agua que circula en un momento dado, es decir, el caudal instantáneo.
 - **Programadores:** Son aparatos electrónicos capaces de automatizar y ejecutar en el tiempo las órdenes que controlan el funcionamiento de las partes del sistema como válvulas, inyectores, etc.

3.2.2 Riego por Gravedad

Esta técnica de regadío consiste en la introducción del agua en una superficie con suelo relativamente seco, a partir de uno de sus extremo o la cabecera de la parcela. El fundamento de esta técnica se basa en que el aporte de agua induce un movimiento sobre la superficie del suelo y un movimiento subterráneo [6].

Cabe destacar que este sistema de riego presenta baja eficiencia en su aplicación. Esto quiere decir que se necesita una mayor cantidad de agua para satisfacer la demanda hídrica del cultivo [7].

Es por eso que el uso de acondicionadores como la poliacrilamida (PAM) y el yeso aplicados al suelo, ayudan a reducir significativamente la cantidad de agua utilizada. Esto se debe a que estos materiales modifican la estructura de la capa superficial del suelo, reducen la pérdida de agua por evaporación y ayudan a que el agua sea mejor aprovechada por las plantas [7].

3.2.3 Riego por Aspersión y Automotriz

El riego por aspersión se caracteriza por distribuir el agua mediante aspersores a alta presión de forma fija, donde se simula una forma de riego natural que es la lluvia. Es muy usado en grandes explotaciones de plantas o para los céspedes de jardines [8].



Figura 3.7: Riego por aspersión. Fuente: [8].

Por otro lado, el riego automotriz se caracteriza por la distribución del agua mediante tuberías a alta presión hasta los mecanismos de aspersión que se desplazan de forma autónoma. Estos sistemas son de tipo pivó y la diferencia con el riego de aspersión radica en la movilidad del aspersor [9].



Figura 3.8: Riego automotriz. Fuente: [9].

3.3 Volumen de Agua de Riego en las Explotaciones Agrarias

En la agricultura el uso del agua es muy importante, así que es adecuado utilizar el sistema de riego que sea más eficiente para la instalación y que permita minimizar el consumo de agua dentro de lo posible.

Según las publicaciones de la Generalitat Valenciana acerca del regadío en la Comunitat Valenciana, se ha podido obtener la siguiente información [4].

En 2018 se utilizaron 1.337 millones de metros cúbicos de agua en las explotaciones agrarias de la Comunitat Valenciana, el 51,18 % correspondieron a riego por gravedad y el 48,30 % a riego localizado. No obstante, Debido al incremento de la superficie en la que se ha implantado el riego localizado, el volumen de agua para esta técnica ha aumentado mucho en los últimos 18 años (2000-2018).

Además, se tienen datos del consumo estimado de agua para riego, de la media de los últimos tres años (2016-2018). Esta asciende a 4.420 m³/hectárea, un 9,12 % inferior al estimado en el trienio 2006-2008 (4.864 m³/hectárea). Debido a que en los últimos años ha habido una subida en la utilización de la técnica del riego localizado, estos datos confirman que el consumo de agua por hectárea es mucho menor si se utiliza este tipo de técnica que el riego por gravedad.

Así, el consumo de agua por riego localizado de la media de los años 2016-2018 ha sido aproximadamente el 40 % del consumo de agua por riego por gravedad. En estos tres años, el consumo medio de agua de riego fue de 7.694 m³/hectárea en riego por gravedad y de 3.059 m³/hectárea en riego localizado [4].

3.4 Características de la zona regable

La red hidráulica se distribuye por el término de Benavites a lo largo de varios polígonos. Cada sector está formado por una serie de parcelas que pueden estar comprendidas entre un polígono u otro. Más adelante se profundizará acerca de la red hidráulica.

3.4.1 Los cultivos

Las zonas de regadío que se van a estudiar están destinadas para el cultivo de cítricos, caquis y aguacates. A continuación se van a explicar estos tipos de frutas para tener un conocimiento más amplio sobre ellas y sus influencias en la Comunidad Valenciana.

Cítricos

Los cítricos son el principal producto frutícola a nivel mundial por sus altos beneficios para la salud. Se caracterizan por ser una alta fuente de vitaminas, entre ellas la vitamina C y la vitamina A. También aportan ácido fólico, minerales y antioxidantes los cuales son nutrientes esenciales para las personas [10].

España, es el mayor productor de cítricos de la Unión Europea con una producción anual de 5 millones de Toneladas en la última década. La Comunidad Valenciana es la principal región cítrica a nivel nacional, tanto por la superficie dedicada a la plantación de este cultivo, unas 182.00 hectáreas, como por la producción que constituye el 60 % de la producción nacional.

Las naranjas y las mandarinas son los cítricos mayormente cultivados en la Comunidad Valenciana. Forman el 45 % y el 50 % de la producción total de cítricos respectivamente. También se cultivan limones pero en menor medida y muchas otras variedades de cítricos como la Navelina, Navelate y Valencia Navel. Además, se intentan obtener nuevas variedades para permitir una mejor adaptación del sector agrícola a las condiciones del mercado [11].

Las zonas más extensas de cultivo naranjero se distribuyen de forma aproximada en la comarca de la Ribera Baja del Júcar con un 37 % y en la Plana de Castellón con un 39 % aunque también se destacan en las zonas de Gandía, Pego o la Vall de Sagunt, cerca de Benavites [12].

Por otro lado, el riego en los cítricos es altamente importante ya que es necesaria una adecuada y homogénea humedad en el suelo para garantizar su calidad y producción. La mayoría de las áreas de cítricos cuentan con un sistema de riego localizado con el objetivo de incrementar la eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, la presión sobre los recursos hídricos hace necesario un buen estudio en el comportamiento ante condiciones adversas para manejar eficientemente la programación de riego.

Los cítricos son árboles de hoja perenne que necesitan de suelos permeables con un cierto grado de humedad en el suelo y en la atmosfera y unas temperaturas cálidas entre 30-40°C. En estas áreas la producción es estacional y por tanto el producto es fresco y excelente [13].

Caquis

El caqui, también llamado persimón (caqui duro) es una fruta estacionaria de otoño originaria de China y Japón. Gracias a su alto valor nutritivo y su alto contenido en agua hacen del caqui un alimento ideal para nuestro cuerpo. Tal es así que comer un caqui cubriría las necesidades de fruta diarias que se necesita consumir según la OMS (tres frutas al día) [14].

El caqui persimón ha conseguido hacerse con un gran hueco en el sector agrícola valenciano hasta tal punto que hay municipios donde ya no se plantan naranjos. Este se obtiene con un tratamiento para eliminar la astringencia del fruto antes de que complete su proceso de maduración [15].

Además, la Comunidad Valenciana es una buena localización para plantar este tipo de frutos por su climatología. El caqui es una planta que se adapta bien a zonas templadas, hasta 40°C. Por tanto las zonas más óptimas para su plantación es donde haya un clima mediterráneo. En Valencia, los campos de naranjos, adía de hoy, se comparten con los de caquis. En poco tiempo la comarca de la Ribera Alta se ha llenado de estos árboles de fruta caduca con el objetivo de obtener una mayor rentabilidad a la de la naranja.

En cuanto a condiciones de suelo, el caqui se cultiva en regadío aunque se puede plantar en terrenos de secanos frescos. Se recomienda evitar que el terreno se quede con exceso de humedad, sobre todo en suelos arcillosos porque puede provocar la caída temprana de los caquis [16].

Aguacates

El aguacate es una fruta con muchas variedades distintas, por ejemplo, el aguacate de tipo Hass es el más cultivado alrededor del mundo. Hay muchos estudios que sugieren que los aguacates pueden ayudar al control del peso de una persona y a un envejecimiento celular saludable [17].

En la Comunidad Valenciana, comarcas como La Ribera, La Safor, L'Horta o el Camp de Morverdre, han plantado alrededor de 500 hanegadas de aguacate en los últimos cinco años con la finalidad de diversificar la agricultura valenciana y aumentar sus ingresos.

Esta fruta da mucha rentabilidad a los productores porque sus precios medios son entre 1,25-1,30 €/kg que es más de cinco veces lo que se obtiene por las naranjas. Sin embargo, los costes de producción son un poco más elevados. La necesidad de cultivar aguacates viene a raíz de la crisis de rentabilidad en los cítricos. Los aguacates son una alternativa de cultivo muy buena en zonas con un microclima apropiado. Además presentan las ventajas de necesitar poca mano de obra y un tiempo de recolección muy extenso, de hasta cuatro meses. También está el hecho de que hay menor impacto de plagas hacia estos cultivos en esta región. No obstante, el clima no permite plantar aguacates en todos los sitios donde ya hay plantados cítricos, solo en zonas cálidas donde no haya hielo [18].

Por tanto, la Comunidad Valenciana presenta una gran superficie idónea para el cultivo de estas frutas tan beneficiosas para la salud y que además presentan una mayor rentabilidad frente a los cítricos.

3.4.2 Fertirrigación

La fertirrigación consiste en dar la cantidad adecuada, en el momento adecuado, del abono disuelto en el agua de riego para garantizar el correcto desarrollo de las plantas. Se distribuye uniformemente, para que prácticamente, cada gota de agua contenga la misma cantidad de fertilizante.[5].

Además, con la fertirrigación se da el alimento en óptimas condiciones para que se pueda aprovechar inmediatamente y no tenga que pasar un tiempo relativamente largo en disolverse y alcanzar la profundidad de las raíces [19].

El riego localizado, como se ha comentado anteriormente, tiene como ventaja principal que el ahorro del agua es mucho mayor que en otros tipos de riego pero también tiene otra gran ventaja que es la fertirrigación. Esto en un sistema de riego total no sería tan conveniente porque no se garantizaría la misma cantidad de fertilizante en todos los puntos de la red.

Por otra parte, es interesante ubicar donde se realiza el proceso de fertirrigación. La sección del cabezal de riego donde se encuentra se denomina inyector y está formado por [5]:

- **El depósito o depósitos de fertilizante.**
- **El inyector o inyectores del fertilizante:** Aspiran la solución del depósito, miden un cierto volumen y lo vierten en el flujo de agua circulante. Estos pueden ser:
 - **Hidráulicos:** El inyector más importante es el Venturi. Está formado por dos conos de diferente longitud, solapados en sus vértices con un estrechamiento en la zona de unión. El paso del agua por el estrechamiento provoca la aceleración y desaceleración del agua, la cual origina una diferencia de presión que provoca la aspiración de la solución. Como ventajas, es un elemento muy económico y de fácil instalación pero genera mucha pérdida de carga y su calibración no es muy precisa. Generalmente se utiliza en instalaciones con un solo depósito de fertilizante.
 - **Hidromecánicos:** A este tipo se le llama, bombas de pistón y se activan al pasar el agua por ellos. El agua acciona un émbolo que aspira e introduce en el sistema una cantidad de solución de fertilizante igual al volumen generado en su recorrido. Este tipo se utiliza para solo depósito de fertilizante. Como ventaja, estos inyectores ocasionan poca pérdida de carga pero como inconveniente, se necesita una presión mínima para realizar el suministro.
 - **Eléctricos:** Se tratan de bombas de pistón pequeñas o bombas de membrana que introducen un volumen exacto de abono suministrado al sistema. Además, el arranque y el tiempo de funcionamiento, se realizan de forma automática y no ocasionan pérdidas de carga.

El proceso de fertirrigación puede ser sencillo o complejo. Se puede realizar fácilmente por el técnico de riego cuando sea necesario el suministro del fertilizante a los cultivos o se puede complicar si se automatiza el suministro de todos y cada uno de los elementos.

La forma menos compleja es disponer de un solo depósito para disolver los tipos de fertilizante y combinar varios tipos de estos entre sí. En el segundo caso, para una automatización más compleja ha de disponerse de al menos dos depósitos para mezclas de fertilizantes no compatibles entre sí, y de un tercer depósito para contener ácido si se hace el control de la acidez de la solución [5].

3.5 Protocolo de Auditoría Energética

Para la realización del análisis energético de una instalación de riego, se ha seguido el protocolo de auditoría energética según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE. La finalidad del protocolo es diagnosticar los puntos más débiles de menor eficiencia en la comunidad de regantes y proponer las soluciones pertinentes. Con esto se pretende valorar y en su caso reducir, el consumo energético y económico de la instalación. [1].

El cambio climático origina en nuestro país periodos de sequía cada vez más prolongados, lo que hace del agua un elemento muy importante. Además, se están incrementando las zonas de regadío, lo cual produce un incremento en el consumo del agua pero también, un mayor consumo de energía. Con la finalidad de frenar las emisiones de CO₂ en la producción de energía para así evitar la contaminación atmosférica se proponen dos caminos: el primero es producir energía mediante fuentes renovables y el segundo reducir la demanda energética mediante equipos y técnicas de desarrollo eficientes.

El IDAE tiene una serie de actuaciones dirigidas a la diversificación energética a través de fuentes renovables y al ahorro de la energía. Estas medidas están agrupadas en el Plan de Energías Renovables (2005-2010) y la Estrategia de Eficiencia Energética (2008-2012). En estos Planes de Acción a favor del ahorro y la eficiencia de energía se pretende formar e informar de las técnicas del uso eficiente de la energía en la agricultura a las comunidades de regantes con la finalidad de concienciar a los agricultores y al personal del sector sobre la importancia del concepto de eficiencia energética. Además, se puede conseguir también un ahorro económico, a largo plazo, en la instalación derivado del ahorro energético [1].

A continuación, se va a explicar el procedimiento teórico con lo referente a la calificación energética en las comunidades de regantes.

3.5.1 Calificación Energética

Calificación de la Gestión Energética.

Tabla 3.1: Calificación de la Gestión Energética. [1].

Calificación	Descripción	Especificaciones
Superíndice ++	Gestión Energética Excelente	$9 \leq GE \leq 10$
Superíndice +	Gestión Energética Buena	$6 \leq GE \leq 8$
Sin superíndice	Gestión Energética Aceptable	$4 \leq GE \leq 5$
Sin superíndice	Gestión Energética Deficiente	$0 \leq GE \leq 3$

El superíndice se asignará a la letra correspondiente a la calificación energética general del siguiente apartado.

Calificación Energética en la Comunidad de Regantes.

La clasificación de la eficiencia energética general de la comunidad de regantes se realiza mediante la siguiente tabla:

Tabla 3.2: Calificación de la eficiencia energética en la Comunidad de Regantes: [1].

Calificación	Descripción	Especificaciones
A	Eficiencia Excelente	$EEG > 50\%$
B	Eficiencia Buena	$40\% \leq EEG \leq 50\%$
C	Eficiencia Normal	$30\% \leq EEG < 40\%$
D	Eficiencia Aceptable	$25\% \leq EEG < 30\%$
E	Eficiencia No Aceptable	$EEG < 25\%$

La eficiencia energética general de la comunidad de regantes, EEG (%), representa la eficiencia de la energía general de la red de distribución referida a toda la comunidad de regantes. Se calcula mediante la siguiente ecuación [1]:

$$EEG = EEB \cdot ESE \quad (3.1)$$

La eficiencia energética de bombeos, EEB (%) indica el cociente entre la potencia hidráulica proporcionada por los bombeos de la red y la potencia eléctrica absorbida. Por otro lado, la Eficiencia de Suministro Energético, ESE (%), representa el cociente entre la energía que se necesita aportar al sistema y la energía que realmente se aporta.

Notas: La calificación energética estará formada por una letra, en función de la eficiencia, y un superíndice, en función de la gestión energética. Por tanto, las calificaciones de energía posibles son: A++, A+, A, B++, B+, B, C++, C+, C, D++, D+, D, E++, E+, y E.

Calificación Energética de la Eficiencia de los Bombeos.

Tabla 3.3: Calificación Energética de la Eficiencia de los Bombeos. Fuente: [1]

Calificación	Descripción	Especificaciones
A	Eficiencia Excelente	$EEB > 65\%$
B	Eficiencia Buena	$60\% \leq EEB \leq 65\%$
C	Eficiencia Normal	$50\% \leq EEB \leq 60\%$
D	Eficiencia Aceptable	$45\% \leq EEB \leq 50\%$
E	Eficiencia No Aceptable	$EEB < 45\%$

Nota: la calificación energética individual de cada bombeo se utilizará para saber en qué bombeo se deben proponer las medidas pertinentes. Se pretenden alcanzar eficiencias energéticas de bombeo alrededor del 60%.

Metodología de Evaluación

4.1 Resumen Metodológico

En este apartado se va a describir la metodología general que se ha seguido para la realización del trabajo:

1. **Obtención de la cartografía e información básica de la instalación.** Se requiere información sobre:
 - Los hidrantes y la toma de riego (caudal, tiempos de riego, sectorización, cota, etc.).
 - Trazado de las conducciones, las longitudes, los materiales y los diámetros.
 - Los elementos del cabezal, inyectoros, filtros y sistemas de filtración.
 - Elementos de automatización, programadores, electroválvulas y reguladores hidráulicos.
 - Sistemas de bombeo, bombas y variadores de frecuencia.
 - Sistemas de captación y almacenamiento, balsas, depósitos y sondeos

Esta información ha sido suministrada, de forma básica por los responsables de las instalaciones y complementada a partir de las visitas de campo.

2. **Procesado y digitalización de la información cartográfica.** Se ha utilizado el programa QGIS [20], para la homogeneización de la información suministrada y su adecuación para la elaboración de planos de trabajo en Autocad. Del mismo modo el programa QGIS se ha complementado con el módulo QÉpanet para la elaboración de los esquemas previos de los modelos hidráulicos.

La información cartográfica que no ha sido suministrada por los gestores, técnicos o responsables de las instalaciones de riego se ha obtenido del Instituto Geográfico Nacional [21], o del Catastro en su sede electrónica [22]. Esta información obtenida de los portales oficiales ha consistido en parcelarios, modelos digitales y ortofotos.

3. **Elaboración del modelo hidráulico de la red.** Para este trabajo y a partir de la información de partida y el pre procesado anterior, se han elaborado los modelos hidráulicos de las redes de riego.

Para esto se ha empleado el programa de simulación hidráulica Epanet. Este programa permite la elaboración de un modelo hidráulico en periodo extendido de instalaciones de riego, donde sí se asignan los datos básicos de la topología de la red (cotas, demandas, patrones de comportamiento, longitudes, diámetros de tuberías, etc) permite la obtención de parámetros básicos para este estudio como las presiones en los puntos de consumo o las necesidades energéticas. Para que el modelo pueda utilizarse con su máxima potencialidad ha de calibrarse convenientemente, contrastando el funcionamiento real con el simulado.

Esta tarea se ha podido realizar, directa o indirectamente, solo en las redes de la Comunidad Valenciana.

4. **Análisis del comportamiento hidráulico de las instalaciones.** Una vez obtenido el modelo, se analizan las posibles deficiencias o puntos débiles de las instalaciones. Del mismo modo se revisa la versatilidad del sistema de automatización existente en cada caso.
5. **Caracterización energética.** A partir del modelo, se determinarán las necesidades energéticas de cada instalación y donde sea posible, se clasificarán los rendimientos de los bombeos.
6. **Propuesta de posibles mejoras o medidas alternativas a la gestión actual en las instalaciones.**

4.2 Comunidad de Regantes de Santa Paula

En este apartado se va a explicar cómo está estructurada la comunidad de regantes de Santa Paula y la información inicial que se ha utilizado como punto partida para la realización del trabajo.

La Comunidad de Regantes de Santa Paula agrupa a 233 socios y gestiona una superficie total de 1.142,8 ha cultivadas mayormente por cítricos, como se observa en la figura 4.1, y en menor medida por aguacates y caquis.

Inicialmente, en el proyecto se trabajaba con 6 sectores, con una duración total de 18 horas. Sin embargo, ahora la red está formada por 4 sectores con un tiempo de riego de 2 horas y 30 minutos cada sector. Hay dos motivos por los que no se trabaja en 6 sectores sino en 4. En primer lugar, no todos los socios previstos han formado parte de la Comunidad de Regantes y por tanto ha sido necesario reagrupar los sectores. En segundo lugar, con 6 sectores se trabajaba en horas más caras, en cambio con 4 sectores se trabaja en horas valle, que son las 8 horas nocturnas y esto es más económico. Por tanto, debido al número de socios y a la tarificación eléctrica, los técnicos de la Comunidad de Regantes han agrupado los sectores en 4. Esto es más económico y además permite regar toda la superficie.

Cada sector está formado por una serie de hidrantes y cada hidrante se forma de un conjunto de tomas.

Por otro lado, la Comunidad de Regantes de Santa Paula dispone de información cartográfica de la red en papel. Esta información, sin embargo, es parcial y debe ser actualizada y revisada. A partir de sucesivas iteraciones con el técnico de campos se establece el trazado de la red y caracterización de la red. Existe un técnico de campo (“regador”) que se encarga de la gestión básica (lectura de contadores y labores básicas de mantenimiento). Además, la comunidad de regantes subcontrata las tareas de fontanería y electricidad a empresas externas. También, se dispone de listados de los consumos de agua de riego de cada parcela en periodos concretos, así como de los consumos y facturación eléctrica.



Figura 4.1: Campos de regadío.

4.3 Descripción de las Instalaciones

4.3.1 *Cabezal de Riego Localizado*

Para la instalación del sistema de riego localizado se construyó un cabezal de riego localizado situado cerca de la zona de riego. Como se observa en la figura 4.2, el cabezal tiene forma de caseta pequeña y contiene el proceso de captación del agua, el sistema de bombeo y de filtración y la dosificación de fertirrigación. Para el suministro de energía se tiene una línea de tensión por fuera y un transformador dentro del cabezal.



Figura 4.2: Cabezal de Riego de Santa Paula.

A continuación, se va a explicar el sistema de captación del agua. En la Comunidad de Regantes de Santa Paula existe un sistema de abastecimiento mixto. En primer lugar y como aporte principal se dispone de una balsa de hormigón de unos 100 m² de superficie, como se observa en la figura 4.3. Esta balsa recibe su aporte principal de la acequia de “La Font de Quart”. No obstante, este suministro no es suficiente para los meses punta y requiere ser complementado a partir de dos bombas sumergidas desde dos pozos que están próximos al cabezal. La primera bomba se encuentra dentro de un pozo en el propio cabezal de riego. Este pozo principal es el que más se utiliza por su mayor tamaño y por ser el más superficial.



Figura 4.3: Balsa de Hormigón.

Por otro lado, la segunda bomba está situada en un sondeo anexo, es decir, cerca de la puerta del cabezal. Esta se encuentra sumergida a más profundidad para contemplar el supuesto del descenso de nivel en el pozo. Por tanto, este segundo pozo es considerado como el auxiliar porque se encuentra a mayor profundidad y se utiliza solo en caso de que el pozo principal presente algún problema de abastecimiento.

Además, es importante comentar que no están disponibles las características técnicas o marca-modelo de estas bombas debido a que son bombas muy antiguas y se diseñaron para otro tipo de instalación con 6 sectores y no con 4 sectores como es este el caso.

4.3.2 Instalación de Bombeo

De la balsa de hormigón, figura 4.3, parte una conducción de DN 250 mm que combina PVC y Acero Soldado, para conectar con dos bombas horizontales en paralelo como se observa en la figura 4.4. Tampoco se conocen las características técnicas de estas bombas. Una de ellas, la de menor diámetro nominal, actúa como bomba de velocidad fija mientras que a la segunda bomba, de mayor tamaño, se le ha acoplado un variador de frecuencia para que sea de velocidad variable. Esta segunda bomba se utiliza si hace falta mucho caudal y es la que se mantiene en funcionamiento durante más tiempo, ajustándose a un punto de funcionamiento según la presión que se tenga en la red.



Figura 4.4: Sistema de bombas horizontales en paralelo.

4.3.3 Instalaciones de Filtrado

Tras las bombas, que se juntan en una tubería central, se acopla una batería de dos filtros de malla. Estos filtros retienen las partículas que lleva el agua y por tanto llega un momento donde se colmatan. En ese momento, la malla del filtro se tiene que limpiar y esto se hace de forma automática mediante un sistema motorizado de escobillas de arrastre. Esta limpieza se pone en marcha por diferencia de presiones entre la entrada y salida del filtro. El sistema de filtración se puede observar en las siguientes imágenes, 4.5 y 4.6:



Figura 4.5: Filtro Malla.



Figura 4.6: Sistema de Filtración.

Dadas las características del agua a tratar se instaló un filtro de mallas de la marca LAMA tipo EkoLU. La página web de LAMA proporciona una descripción más detallada sobre este filtro [23]:

- Filtración producida por la retención de partículas de tamaño superior al hueco de la malla usada. Malla estándar de 0,190 mm.
- Alta resistencia a efectos producidos por la presión diferencial.
- Prefiltro que evita el paso de partículas gruesas a la zona filtrante.
- Presión mínima: 1 kg/cm²
- Presión máxima: 10 kg/cm²
- Presión mínima de limpieza: 2,5 kg/cm²
- Diámetro de 10"
- Temperatura máxima de 50°C

4.3.4 *Inyección de Fertilizante*

Después de la filtración se realiza la inyección de fertilizante. La fertirrigación se ejecuta mediante una bomba volumétrica de pistón que aspira desde cuatro líneas procedentes de los tanques de fertilizante. El sistema de esta inyección se observa mejor en la siguiente imagen 4.7:



Figura 4.7: Depósitos y bomba de inyección de fertilizante

La dosificación se hace proporcional al caudal que circula por la conducción. Además, se tiene la entrada regulada de forma fija para que siempre se inyecte la misma cantidad. Esta inyección se realiza antes del caudalímetro porque en este se cuenta el volumen total que sale del cabezal hacia la red y por tanto también se debe contar el volumen introducido por la fertirrigación.

La bomba dosificadora pistón actual es de la marca Damova y es del tipo DR-25X64. Se ha consultado la página web de esta marca para obtener un mayor conocimiento sobre su funcionamiento [24].

Estas bombas de pistón se caracterizan por su rigidez, durabilidad y fiabilidad. Están fabricadas para la dosificación de líquidos y además se pueden preparar para dosificar líquidos viscosos.

Se utilizan principalmente en procesos de distribución de un producto a una red hidráulica en: industria química, industria petroquímica, tratamiento de agua y agricultura.

En cuanto a las especificaciones técnicas, la bomba trabaja a un caudal de 532 l/h. La casa dispone de bombas con caudales de entre [164 - 1042] l/h. Además, el caudal de dosificación, se puede regular del 0 al 100 % de manera lineal y de forma manual y automática sin afectar a la presión. A continuación se muestra un breve esquema de los elementos que forman la bomba 4.8.



Figura 4.8: Elementos que componen la bomba dosificadora. Fuente:[24].

Además, dentro del catálogo de Damova, se puede consultar la ficha técnica de este tipo de bomba en el anexo A.4.

Con el valor del caudal (532 l/h) y el tipo de bomba (DR-25X64.C) se pueden obtener las siguientes especificaciones:

- Presión máxima PVC : 9,5 bar
- Diámetro del pistón: 64 mm
- Carrera : 25mm
- Diámetro de las bocas de aspiración: 1"
- Potencia del motor : 0,75 CV

Por último, es importante detallar como sería la adecuada instalación de la bomba dosificadora en el sistema a tratar. Para esto, se ha realizado un breve esquema donde se observa la instalación:

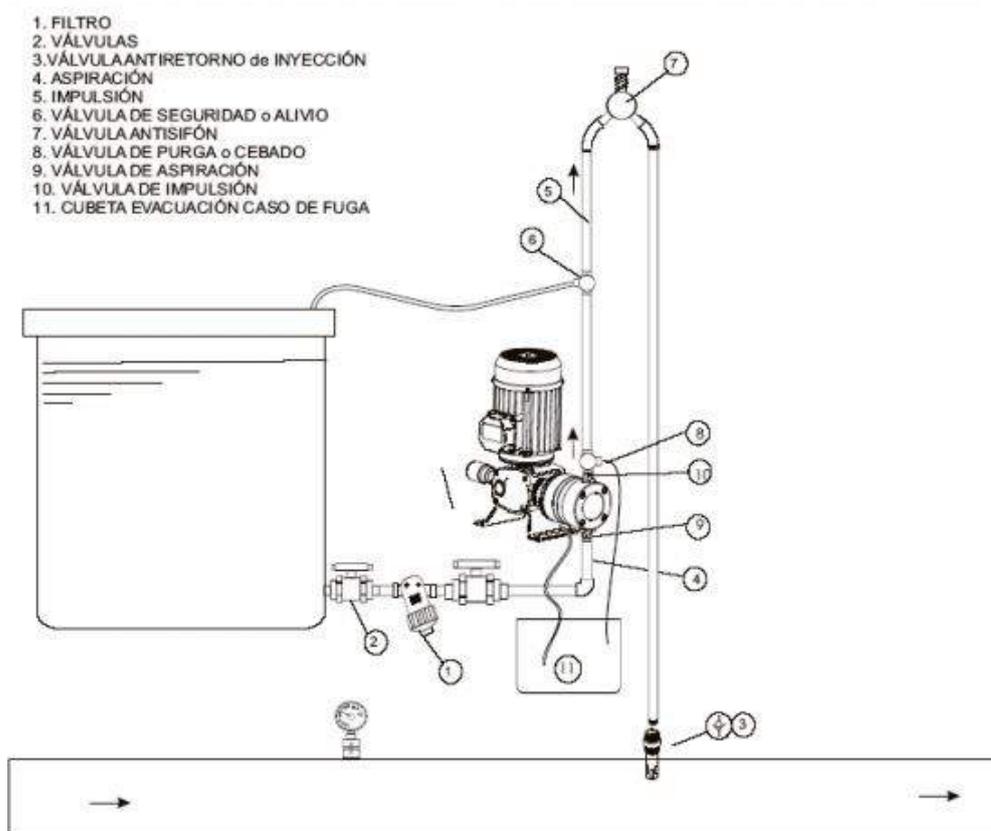


Figura 4.9: Esquema de una instalación general de la bomba dosificadora. Fuente: [25].

Como se observa en el esquema anterior, figura 4.9, a la salida del depósito hay una tubería de aspiración formada por: una válvula general, seguida de un filtro y de otra válvula. Luego, la válvula de aspiración es encargada de suministrar el caudal de líquido a la bomba dosificadora. A la salida de la bomba, hay una tubería de emergencia que llega a una cubeta de evacuación por si hubiera fugas en la tubería y otra tubería hacia arriba mediante una válvula de impulsión. La tubería de impulsión está formada por una válvula de seguridad o alivio donde se dirige el líquido al depósito inicial con la finalidad de proteger la instalación y la bomba de posibles sobrepresiones [25].

4.3.5 Red de Distribución

La red de distribución tiene su inicio en el cabezal y es ramificada por toda la zona regable según los planos facilitados por la comunidad de regantes.

Esta red es ejecutada en PVC de PN6, con DN entre 90 y 250 mm. Además, está dividida por sectores y cada sector cuenta con una serie de hidrantes que son verticales, con colector horizontal. Los contadores son de lectura manual y la automatización se realiza a nivel de red donde existe un número limitado de electroválvulas y solo algunas son coincidentes con algunos hidrantes. La flexibilidad para reagrupar los hidrantes y repartir los sectores de riego, si fuese necesario es muy limitada. Cada hidrante tiene diferentes tomas, aproximadamente el número de tomas por hidrante está entre 4 y 9. A continuación, se muestran imágenes 4.10 y 4.11 de los hidrantes:



Figura 4.10: Hidrante con electroválvula.



Figura 4.11: Detalle del hidrante número 37.

La red actual trabaja por sectorización y en la siguiente tabla 4.1 se puede observar la superficie que ocupa cada sector:

Tabla 4.1: Distribución de superficies por sector.

Sector	Superficie (hectáreas)
Sector 1	36.90
Sector 2	70.10
Sector 3	85.11
Sector 4	85.05

4.4 Instrumentos de Medición y Metodología Experimental

4.4.1 Medición y Metodología para el Análisis Energético

En este apartado se van a describir los instrumentos utilizados en la medición para el análisis energético de la red.

En primer lugar, en el cabezal hay instalado un variador de frecuencia que es un programador de riego. Esto permite la regulación del bombeo, que como se ha explicado anteriormente en el apartado 4.3.2, se realiza solamente sobre una de las dos bombas.

Los variadores de frecuencia se utilizan para incrementar o disminuir la velocidad de giro en la bomba con la finalidad de mantener una presión constante a la salida del cabezal. Si esta presión aumenta o disminuye, la instalación reduce la velocidad de giro o conecta la segunda bomba en paralelo de forma automática. A continuación, se muestran imágenes del variador de frecuencia y del programador de riego instalados en el cabezal:



Figura 4.12: Variador de frecuencia.



Figura 4.13: Programador de riego.

En segundo lugar, el cabezal está formado por una instalación con analizadores de red conectados a un cuadro de arranque eléctrico. Los analizadores de red corresponden con la marca Chauvin-Arnoux C.A 8333. En la página web de esta casa comercial se ha podido obtener una descripción más detallada de este instrumento y sus especificaciones técnicas [26]. A continuación se muestran con más detalle los instrumentos en la figura 4.14:



Figura 4.14: Analizadores de red.

Estos analizadores de red permiten obtener una imagen instantánea de las principales características de la calidad de la red eléctrica. Además, permite realizar el balance energético integral de una instalación y por tanto, permite el registro de parámetros eléctricos tanto en la bomba de velocidad fija como en la bomba de velocidad variable. Además, también puede medir los siguientes parámetros: la tensión, la intensidad, la frecuencia y las potencias y energías activas y reactivas. A continuación se muestra una figura de la instalación 4.15:



Figura 4.15: Detalle de la instalación con los analizadores de red conectados al cuadro eléctrico.

Luego, antes y después de los filtros, se han colocado unos transductores de presión los cuales registran valores de presiones cada minuto. La principal función de este instrumento es convertir la presión en una señal eléctrica analógica que será la que se pretenda utilizar en los equipos de automatización.

Con el objetivo de que los transductores de presión muestren unas medidas óptimas, estos deben presentar buenas prestaciones de precisión, alto rango de temperatura de trabajo, tolerancia a la sobrepresión y fuerte resistencia a las vibraciones. A continuación, se muestra un ejemplo de transductor de presión conectado en el filtro 4.16:



Figura 4.16: Transductor de presión colocado en el filtro.

Además, también se han colocado transductores de presión en tres hidrantes situados en puntos intermedios de la red, a finales de ramales, pero en distintos sectores. Concretamente estos hidrantes son el 30, el 36 y el 37 y se encuentran en los sectores 3,1 y 2 respectivamente.

La finalidad de esto es verificar que la presión en estos puntos es la correcta y que se mantiene siempre. Si esto no ocurre, se harán las modificaciones permitentes sobre el modelo de simulación de epanet. Por tanto, se ha sacado la presión en el cabezal de 2 días de riego y en los tres hidrantes. Sin embargo, el segundo día de medición no se considera porque ha ocurrido algún problema en la red. Es posible que se haya roto una tubería y por eso hay una caída en la presión o también ha podido pasar que la presión a la salida de la bomba sea más elevada que a la salida del filtro. Por tanto, se desprecian los valores del segundo día y se consideran los medidos en el primer día.



Figura 4.17: Ejemplo de instalación de un transductor de presión en un hidrante.

Después, se dispone de un caudalímetro de ultrasonidos que complementa la lectura del contador general del que dispone la red. Este caudalímetro es de la marca Dynasonics que se encuentra en la tubería principal después de la inyección de fertilizante. Estos medidores ultrasónicos miden la tasa de flujo al propagar ondas ultrasónicas hacia tuberías llenas de líquidos y medir los reflejos [27]. A continuación se muestra la imagen del caudalímetro ultrasonido 4.18:



Figura 4.18: Registro de caudales en el cabezal con un caudalímetro ultrasonido.

Por último, se dispone de un contador de agua situado en la tubería principal, después del caudalímetro y justo antes de la salida del cabezal a la red de riego 4.19. Cada vez más, se usan contadores de agua en la agricultura de regadío para la medición del agua consumida. Esto pretende conseguir una mejor gestión de las organizaciones de riego, tanto para cumplir con la normativa como por motivos hidráulicos, energéticos y económicos.

Se ha medido la lectura del consumo de agua en dos días diferentes y por diferencia se ha obtenido el consumo en la instalación.



Figura 4.19: Contador de agua.

Como complemento a la descripción de las instalaciones y de los instrumentos de medición, se ha realizado un pequeño diagrama de flujo del cabezal de la red de riego. Este se encuentra en el anexo A.6 y se han seguido las normas UNE-1063: Caracterización de las tuberías según la materia de paso y la UNE-EN ISO 10628: Reglas generales de los diagramas de flujo.

4.5 Cartografía

En este apartado se va a describir la cartografía utilizada para la realización de los dos modelos en epanet, primero el modelo de proyecto y luego el modelo actual.

4.5.1 Cartografía para la Realización del Modelo de Proyecto

Para la realización del modelo tal y como se había diseñado inicialmente en la fase de proyecto, la comunidad de regantes ha facilitado una serie de fotografías con los mapas de la red de riego y el dibujo de las tuberías que forman toda la red.

Sin embargo, para el diseño de este modelo se ha usado un nuevo mapa que consiste en un reformulado donde se muestra el trazado de las tuberías y sus diámetros y la enumeración de los diferentes hidrantes. El mapa se puede observar en la siguiente imagen 4.20:



Figura 4.20: Cartografía para la realización del modelo de proyecto.

Con la ayuda de esto, se ha podido realizar el diseño de la red en el programa autocad y se ha exportado a epanet. Sobre esta imagen se ha representado el modelo, los nodos, las tuberías y el embalse.



Figura 4.21: Plano del modelo de proyecto en Autocad.

4.5.2 Cartografía para la Realización del Modelo Actual

En cuanto a la cartografía del modelo actual, a partir de una serie de fotografías de los mapas de la red proporcionados por la Comunidad de Regantes, se ha elaborado un modelo GIS y los planos en autocad con el parcelario y el trazado de la red.

El programa utilizado para el procesado y digitalización cartográfica ha sido QGIS, el cual permite la elaboración de planos, así como editarlos, analizarlos y publicar la información geoespacial [20]. Se ha complementado con el módulo QEpanet en QGIS porque permite el trazado de las líneas sobre una ortofoto o imagen de referencia. Además, la información que no ha sido suministrada por los técnicos de las instalaciones de la red de riego, se ha descargado del Instituto Geográfico Nacional [21] o del Catastro en su sede electrónica [22] en lo referente a la Comunidad Valenciana. Esto tiene como objetivo, obtener el parcelario, los modelos digitales y las ortofotos del territorio. Finalmente, el resultado ha sido el siguiente 4.22:



Figura 4.22: Cartografía digital del modelo actual en QGIS. Parcelario, hidrantes/tomas y red de riego.

Una vez se ha obtenido la cartografía digital, se ha podido exportar el modelo al programa epanet para realizar la simulación.

4.6 Realización del modelo hidráulico en EPANET

A continuación, se va a describir la realización del modelo hidráulico actual con la ayuda del programa epanet. Se va a comentar acerca del funcionamiento de este programa y sus prestaciones y se va a detallar el procedimiento de simulación.

El objetivo de esto es realizar el modelo hidráulico para poder compararlo con los resultados medidos en la instalación de riego y observar que ocurre en la red para realizar los pertinentes cambios y mejoras.

Epanet permite evaluar y simular el funcionamiento hidráulico de forma precisa y completa de toda la red y gracias a esto, se puede seguir la evolución de los caudales, velocidades, presiones y muchos otros parámetros a lo largo del tiempo. Además, el programa presenta las siguientes prestaciones que se pueden encontrar en el manual de usuario [28]:

- No existe límite en el tamaño de la red que se desea analizar.
- Calcula las pérdidas por fricción en las conducciones mediante las expresiones de Hazen-Williams, Darcy-Weisbach o Chezy-Manning.
- Incluye pérdidas menores en elementos como los codos o acoplamientos.
- Modela bomba funcionando a velocidad de giro variable y constante.
- Calcula la energía consumida y el coste de bombeo de las estaciones.
- Modela diferentes tipos de válvulas como las de regulación, de retención, de aislamiento, válvulas reductoras de presión o válvulas de control de caudal.
- Permite el almacenamiento de agua en tanques que presenten cualquier geometría como por ejemplo, que la sección del tanque sea variable con la altura.
- Considera la posibilidad de establecer diferentes categorías de consumo en los nudos, cada una de ellas con su propia curva de modulación.
- Modeliza consumos dependientes de la presión que salen al exterior del sistema a través de emisores, por ejemplo, aspersores.
- Puede determinar el funcionamiento del sistema simplemente a partir del nivel de agua en el tanque y controles de tiempo o también se puede utilizar un complejo sistema de regulación temporal.

En primer lugar, para la simulación de la red hidráulica se dibujan los nudos, tuberías y el embalse. Para representar los nudos, es necesario definir una cota (z) en metros así como la demanda base, es decir, el caudal (Q) en l/s. Después, para el diseño de las tuberías, se define un nodo de inicio y un nodo final, la longitud de la tubería (m), el diámetro real interno (ϕ) en mm y la rugosidad (mm). El diámetro real interno de las tuberías se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$DimetroReal(mm) = DN(mm) - 2 \cdot espesor \quad (4.1)$$

Esto se ha realizado para cada una de las tuberías y se pueden consultar los datos en el anexo A.3. Por último, para definir el embalse se necesita conocer la altura en metros.

Aunque no se han realizado las mediciones del modelo de proyecto sí que se ha realizado el diseño en epanet. Por tanto, a continuación se muestran imágenes 4.23,4.24 de los modelos, tanto del proyecto inicial y como del actual:

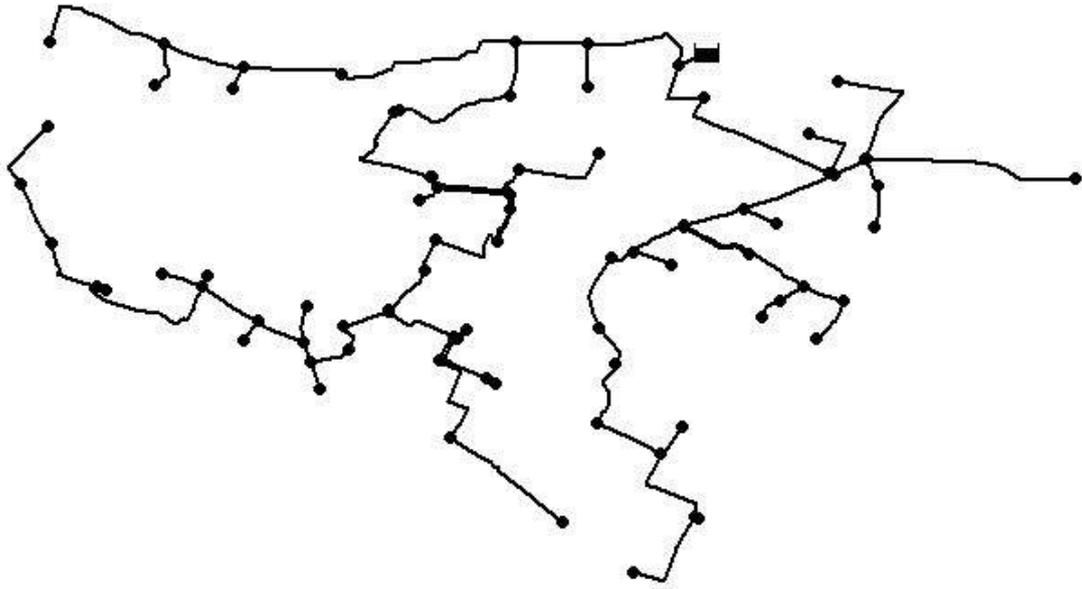


Figura 4.23: Modelo de proyecto en Epanet.

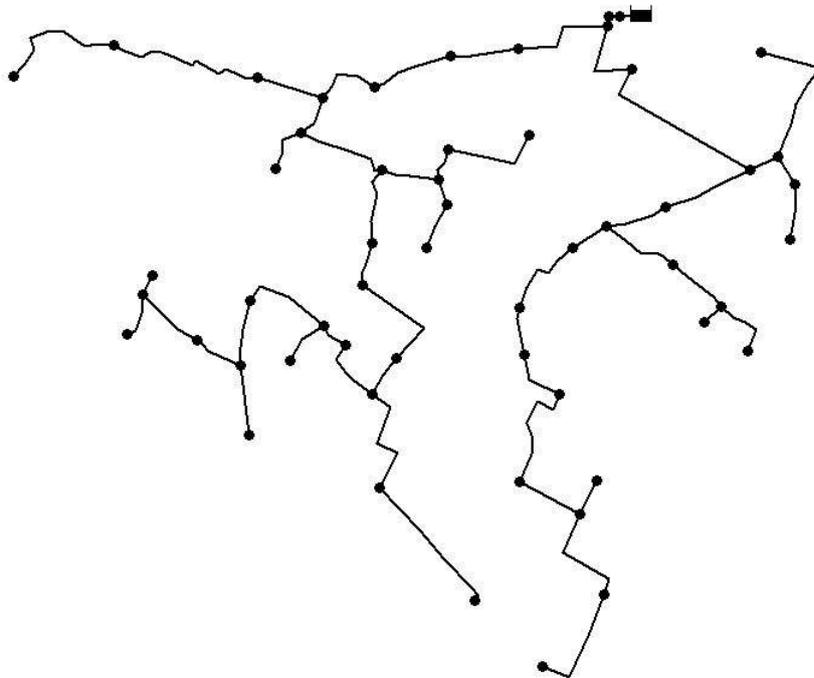


Figura 4.24: Modelo actual en Epanet.

Como se observa en las imágenes anteriores, el modelo actual es una versión reducida del proyecto. Inicialmente se había diseñado la instalación de la red para trabajar en seis sectores pero realmente está construida para trabajar en cuatro y es este el modelo que se ha calibrado y sobre el que se han propuesto las mejoras.

Este modelo, está constituido por 42 hidrantes que agrupan las 232 tomas de la CRR. El tiempo de riego es de 2 h 30 minutos en todas las jornadas de riego. Los caudales o demandas asociados a cada toma se han obtenido a partir de las lecturas de los contadores durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre de 2020. Además, la presión a la salida del cabezal se ha fijado en 40 m.c.a.

Por último, se han definido los patrones de demanda para cada sector y a cada hidrante se le ha definido uno u otro dependiendo del sector al que pertenezca.

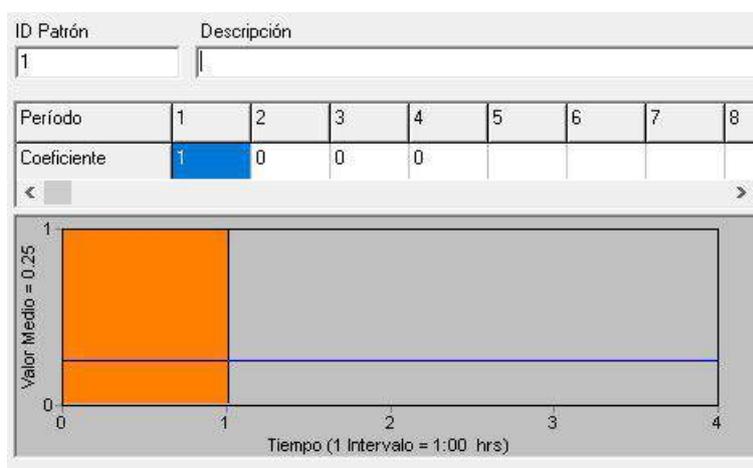


Figura 4.25: Patrón de funcionamiento de riego, sector 1.

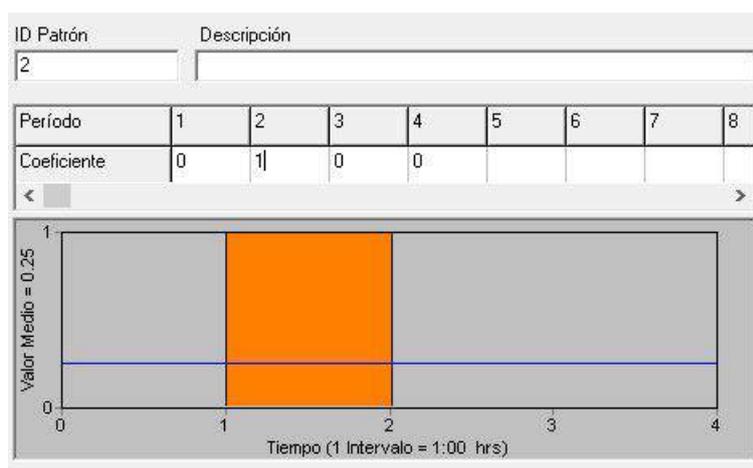


Figura 4.26: Patrón de funcionamiento de riego, sector 2.

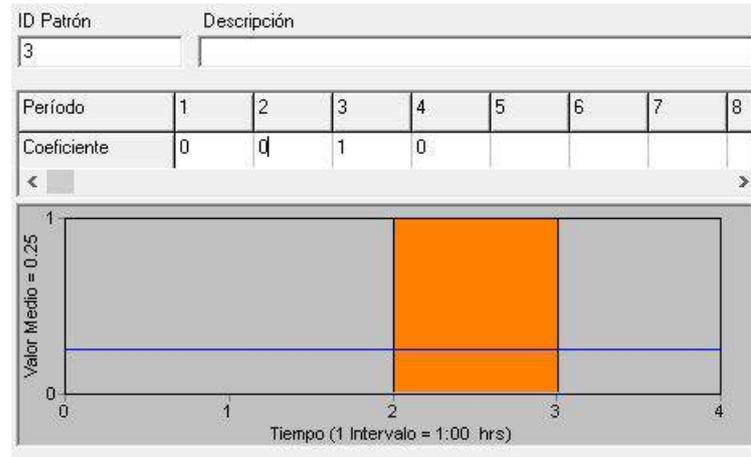


Figura 4.27: Patrón de funcionamiento de riego, sector 3.

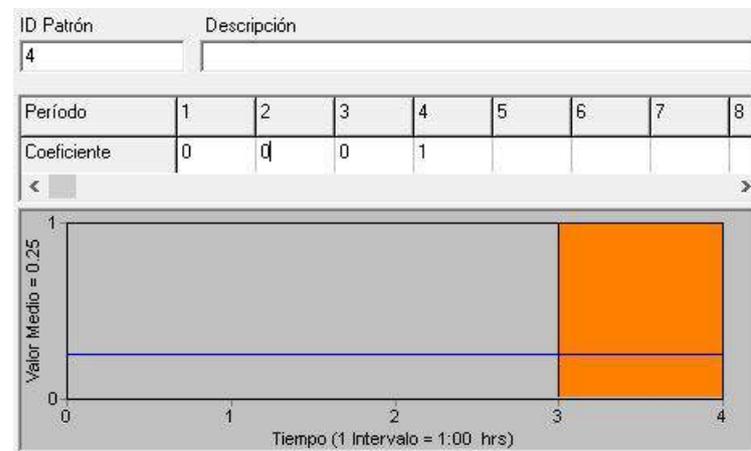


Figura 4.28: Patrón de funcionamiento de riego, sector 4.

4.7 Calibración del Modelo

La red se ha calibrado mediante la toma de datos de presión, con transductores de presión situados en el cabezal (a la salida de la bomba y a la salida del filtro) y en los hidrantes 30, 36 y 37 correspondientes a los Sectores 3, 1 y 2 respectivamente, como se ha comentado en el apartado 4.4.

A continuación, se exponen y se analizan los registros obtenidos por los transductores de presión tanto en el cabezal como en los tres hidrantes.

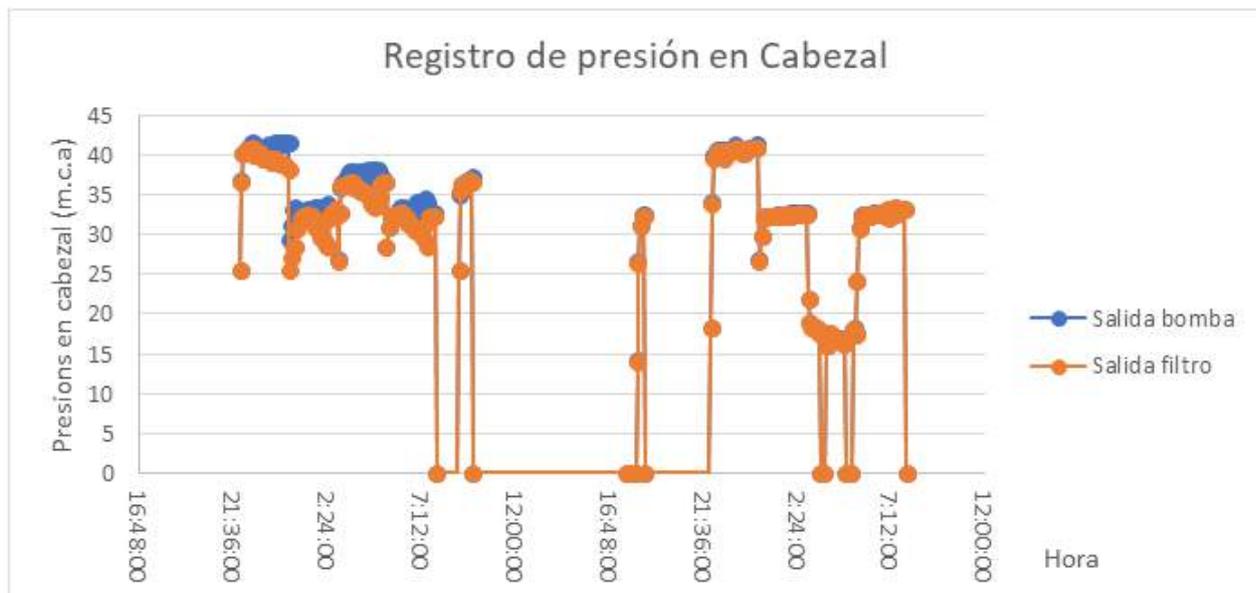


Figura 4.29: Presiones registradas en el cabezal.

En cuanto a los valores obtenidos en el cabezal, figura 4.29, se ha representado la presión respecto al tiempo en la salida de la bomba y en la salida del filtro. Además, se puede observar como durante uno de los días debió realizarse la limpieza de los filtros por la caída de presión que se observa, aproximadamente a las 7 horas. Estos filtros, se ensucian poco a poco hasta que llega un momento donde la pérdida de carga tiene una determinada altura que hace que el filtro se limpie y de ahí la caída de la presión en el registro. Esto es correcto que ocurra y de hecho indica que el sistema funciona correctamente.

También, se observan puestas en marcha fuera de los periodos de riego, atribuibles a labores de mantenimiento realizadas durante los días de toma de datos, en los sectores 2 y 3. Adicionalmente, el segundo día, se produjo una caída de presión que podría estar asociada a una rotura en el sector 3. Además, la presión a la salida del cabezal coincide con la presión al inicio de la red. Por tanto, esa presión de entrada es la que se ha usado para comparar cada sector con las mediciones que se han hecho en los hidrantes concretos.

Los valores de las alturas y de las cotas obtenidas en el cabezal para cada sector son las siguientes:

Tabla 4.2: Cotas en el cabezal según el sector.

Sector	z cabezal (m)
1	40.36
2	32.70
3	36.92
4	31.32

En cuanto al registro de la presión en el hidrante 30, se observa en la gráfica 4.30 como la caída de presión a las 9 horas se debe a la limpieza del filtro. Además, el hidrante ha trabajado el primer día a las 4 horas y el segundo día no ha registrado datos, probablemente por un error en la medición. El hidrante ha trabajado a una presión media de 16.73 mca.



Figura 4.30: Presiones registradas en el hidrante 30, Sector 3.

Con respecto al hidrante 36, se observa que ha trabajado dos días a la misma hora, entre las 21-22 horas, figura 4.31. La presión que se obtiene es de 40.36 mca.

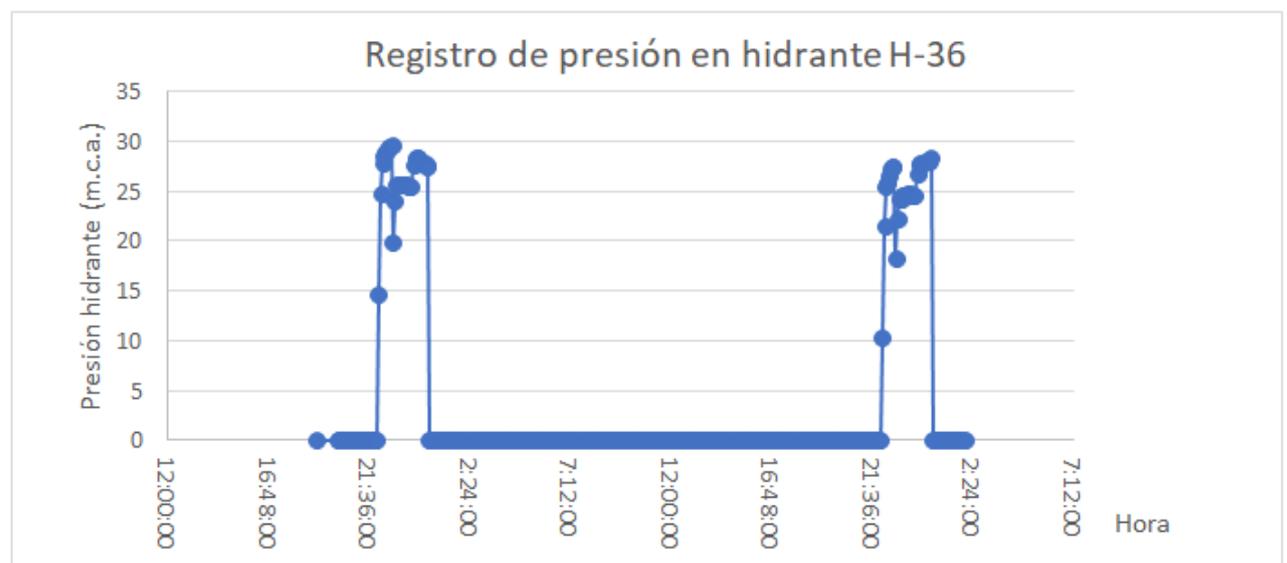


Figura 4.31: Presiones registradas en el hidrante 36, Sector 1.

Por último, el hidrante 37 ha trabajado durante el primer y segundo día a las 22 horas aproximadamente, figura 4.32. Luego, en un momento puntual en el que también ha trabajado pero solo para la limpieza de filtro. Este hidrante ha funcionado a una presión media de 19,03 mca.

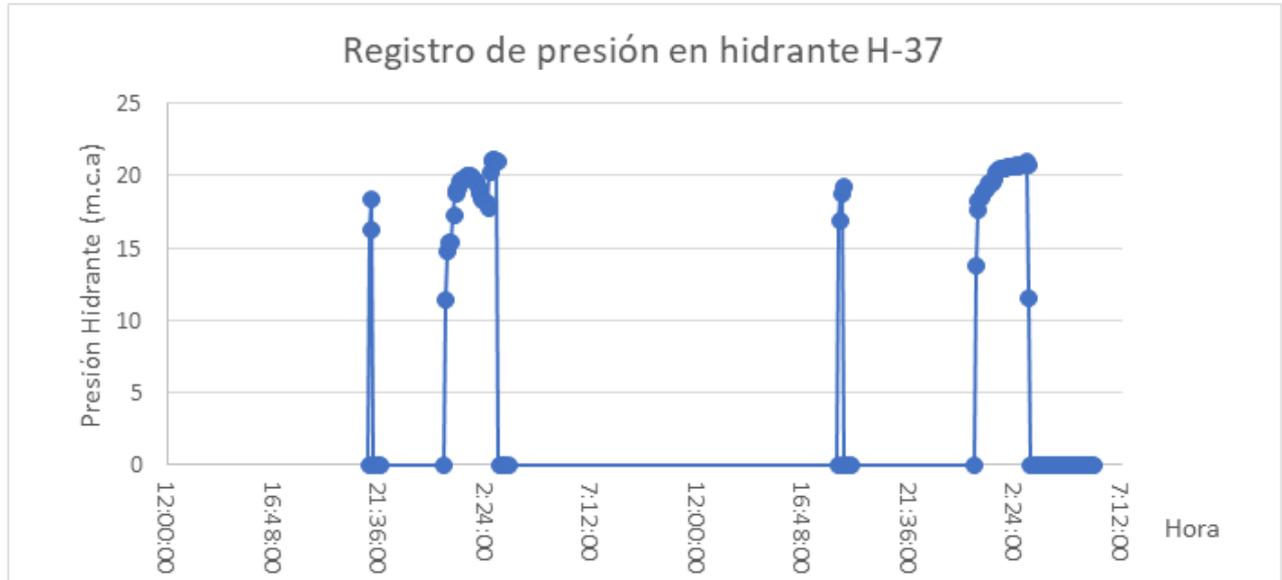


Figura 4.32: Presiones registradas en el hidrante 37, Sector 2.

Por tanto, con los anteriores datos y las gráficas se puede realizar el modelo de calibración. El proceso de calibración consiste en el ajuste del modelo para que, con las presiones existentes en el cabezal para cada sector, tabla 4.2, y los caudales demandados, las presiones en los hidrantes se aproximen a sus valores reales. Este proceso, para una red de este tamaño, se puede resolver de forma iterativa, por tanteo de diversos valores de la rugosidad de las conducciones y las pérdidas de carga localizadas. El objetivo es el ajuste de la pendiente hidráulica para cada “serie de calibración” en los sectores donde se ha realizado medición. Para esto, se asume una cota ficticia y constante en el cabezal de 30 mca.

Además, se han obtenido unas diferencias en los valores de presión, del modelo respecto a los medidos, tras la calibración, inferiores al 2 %.

Análisis de los Resultados

5.1 Análisis del Modelo Actual

5.1.1 Resultados del Análisis Hidráulico

En este apartado se van a analizar los resultados hidráulicos obtenidos tras la realización del modelo de calibración. Tras la simulación, se han obtenido los siguientes resultados en cada sector:

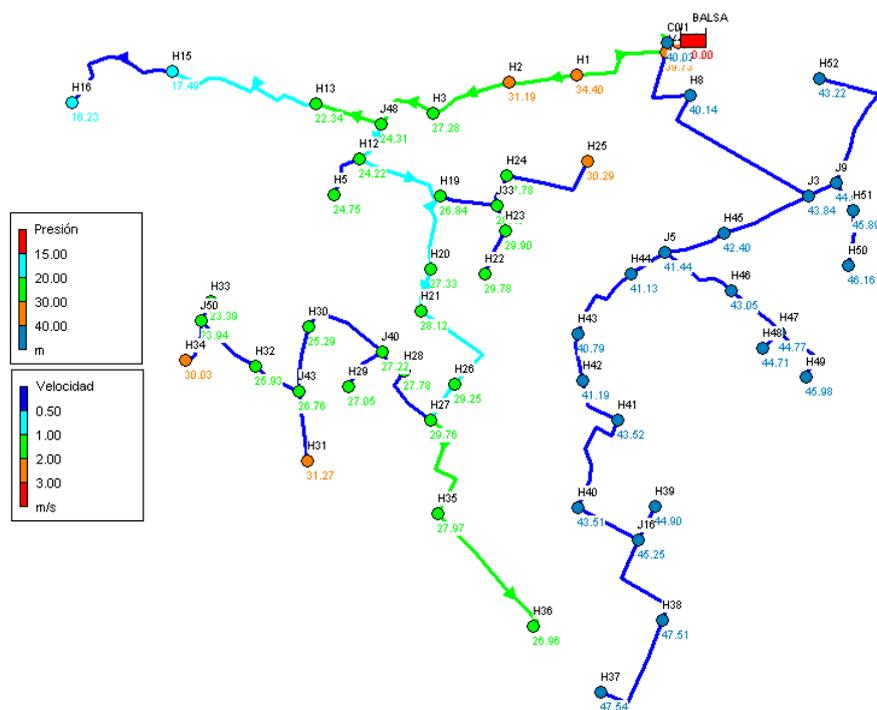


Figura 5.1: Resultados de la simulación en el Sector 1.

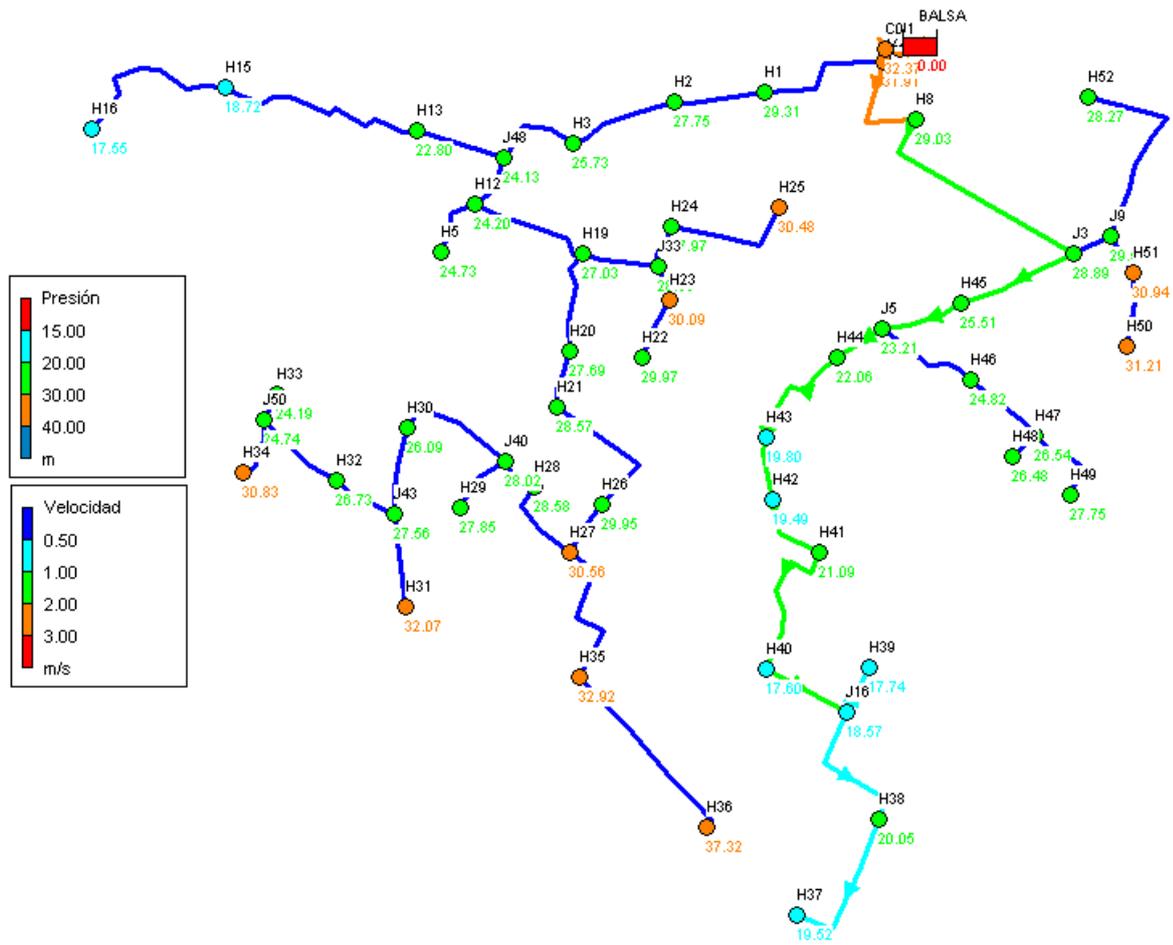


Figura 5.2: Resultados de la simulación en el Sector 2.

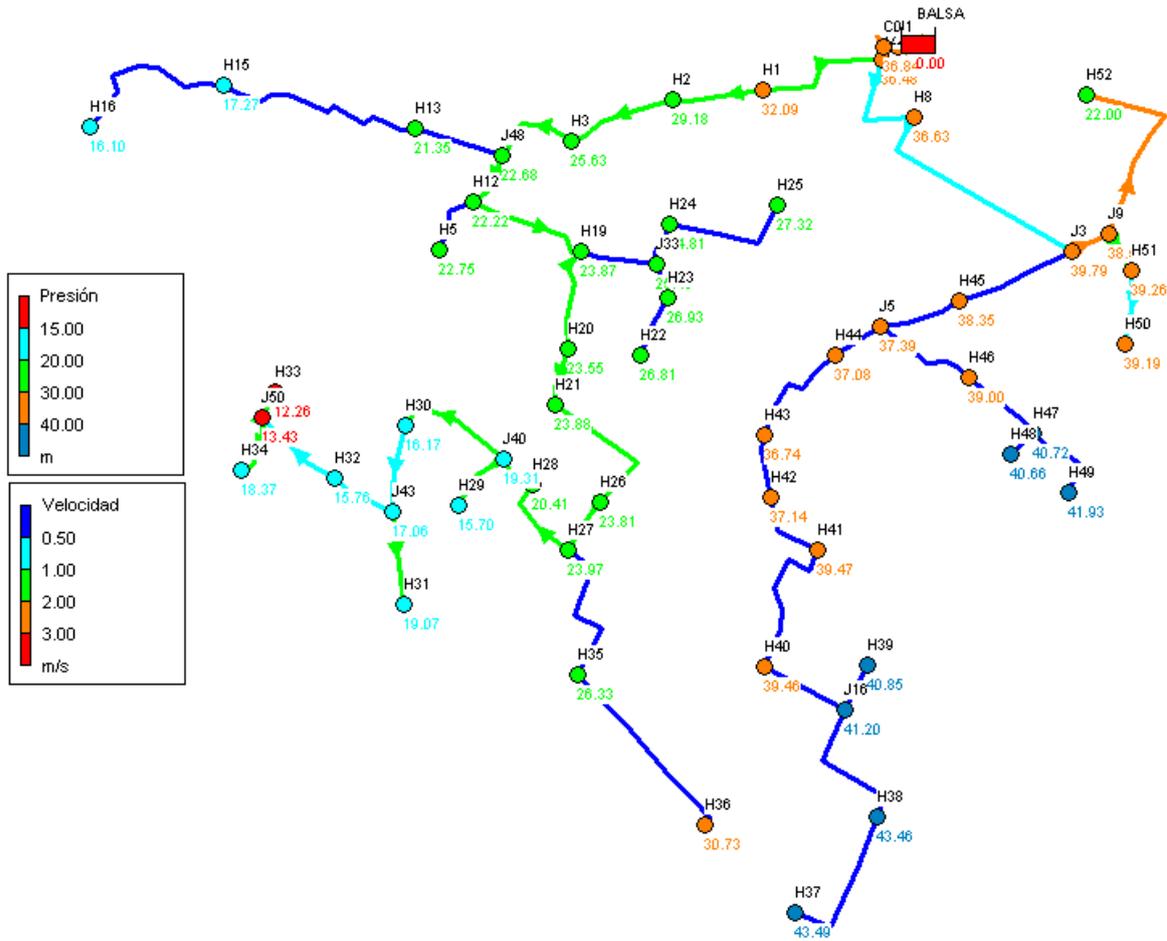


Figura 5.3: Resultados de la simulación en el Sector 3

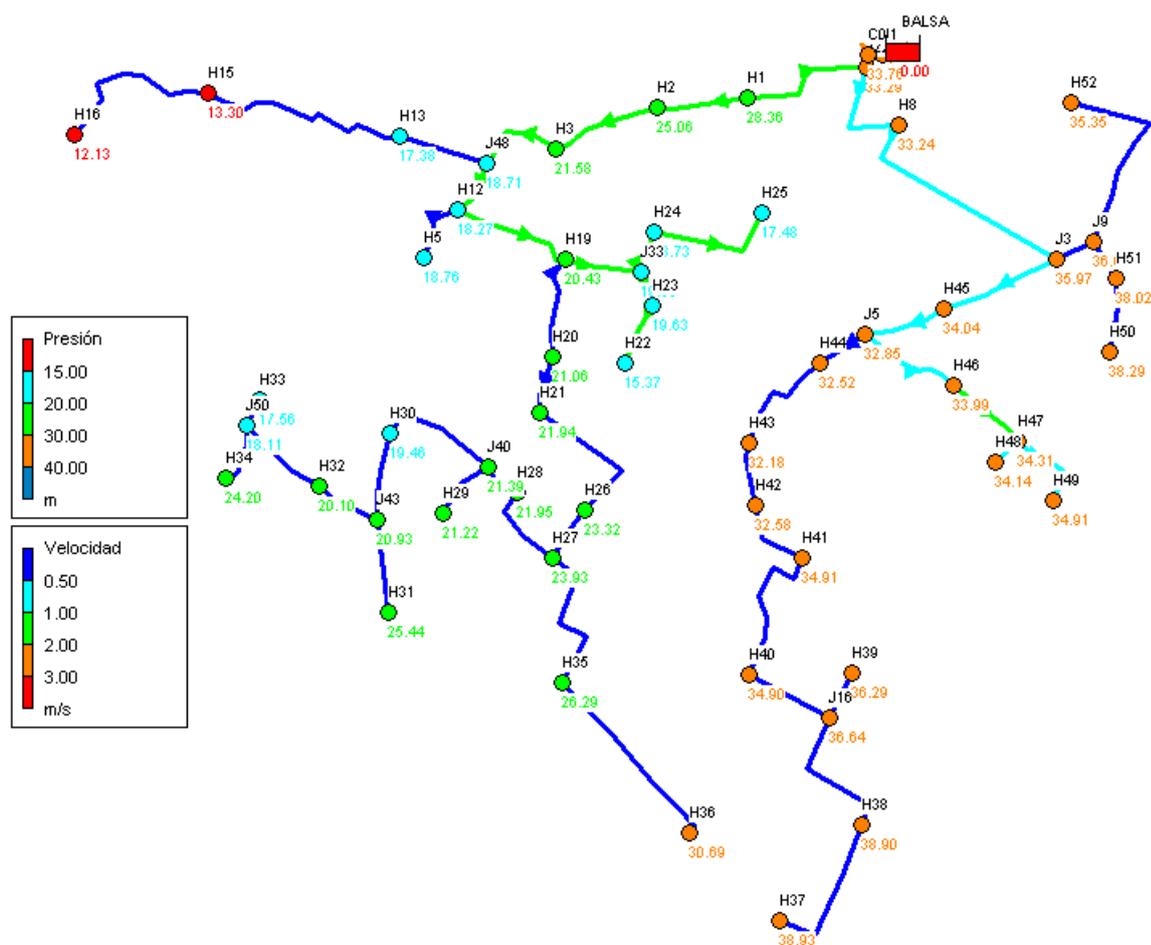


Figura 5.4: Resultados de la simulación en el Sector 4.

Con el reparto de caudales existente en la red de Santa Paula no existen problemas por exceso de velocidad, los valores máximos que se observan no sobrepasan los 2 m/s. Excepto en una tubería del sector 2, con una velocidad de 2,46 m/s. Este parámetro de la velocidad es muy importante en el diseño de una red. Velocidades excesivamente bajas da lugar a problemas de sedimento en las conducciones y esto puede traer problemas de obturación en ciertos elementos de la red, como en los goteros o en los microtubos de las electroválvulas, y puede generar un mal funcionamiento en los contadores. Por otro lado, velocidades muy altas pueden provocar erosiones en las tuberías y fugas. No obstante, existe un tramo con velocidades siempre inferiores a 0.5 m/s lo cual puede conllevar, como se ha comentado, problemas de deposiciones y sedimentación en las paredes de estos tramos de conducción.

Respecto a las presiones, se identifican dos sectores con problemas potenciales al situarse la presión en valores inferiores a los 20 m.c.a en algunos hidrantes, especialmente en el sector 3, figura 5.3, donde los hidrantes más alejados en la red muestran valores inferiores a los 15 m.c.a. Este déficit de presión se puede corregir con un reajuste de la presión de consigna para la regulación de la bomba.

Respecto al reparto de caudales, esta red está muy condicionada por los elementos de automatización existentes, no obstante, existe margen de ajuste.

Tabla 5.1: Variación del caudal total entre sectores.

Sector	Reparto de caudal según contadores (l/s)	Variación sobre la media (%)
1	40.36	14.23
2	32.72	-7.38
3	36.92	4.50
4	31.32	-11.35
Media	35.33	

Como dato adicional, se observa una discrepancia entre los valores del caudal registrado en el cabezal y los resultantes de la suma de los caudales asociados a las tomas de un 13%. Este valor puede asociarse a problemas de calibración de los contadores o a fugas en la red. Ambos problemas son posibles, pero durante las visitas de campo se han observado hidrantes con pérdidas de agua. Las fugas son inevitables en toda red de distribución, pero un 13% de fugas de agua significa un 13% de energía extra suministrada y no aprovechada para el riego.

5.1.2 Resultados de la Evaluación Energética

A continuación, se van a analizar los resultados obtenidos en la evaluación energética. Para ello se ha seguido el protocolo de auditoría energética según el IDAE, [1]. Este protocolo se ha explicado anteriormente en el apartado 3.5.

Durante las jornadas de medición para la calibración del modelo, también se registró la potencia eléctrica suministrada por los grupos de bombeo de la red. Se ha excluido de este análisis la potencia consumida por el pozo. La potencia del pozo puede ser importante en periodos punta, sin embargo, se entiende que su uso es complementario. En estudios posteriores debería analizarse su consumo para determinar el interés de dotarlo con un variador de frecuencia si sufre fluctuaciones importantes de nivel. Además, sería interesante efectuar una medición para el balance de caudales y poder conocer los aportes reales de la acequia y el pozo.

Se han utilizado los analizadores de redes para el registro de los parámetros eléctricos tanto en la bomba de velocidad fija como en la bomba de velocidad variable, como se ha comentado y descrito en el apartado 4.4.

En las siguientes gráficas se pueden observar los valores de potencia registrados por ambos equipos de bombeo. Existe un completo acople entre ambas gráficas y los valores de presión registrados en el cabezal. También se pueden observar las anomalías detectadas en el registro de presión, con demanda de potencia fuera del periodo nocturno de riego. Del mismo modo, se observan los ajustes de la bomba de velocidad variable 5.5, mientras que la bomba fija 5.6 trabaja en un régimen casi constante.

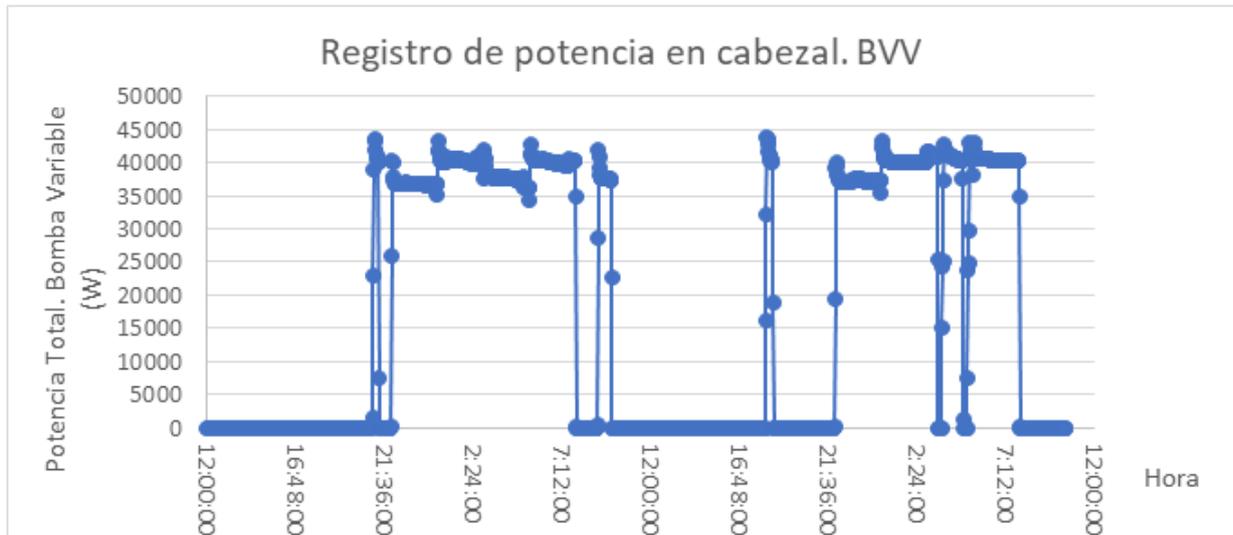


Figura 5.5: Potencia medida en la bomba de velocidad variable.

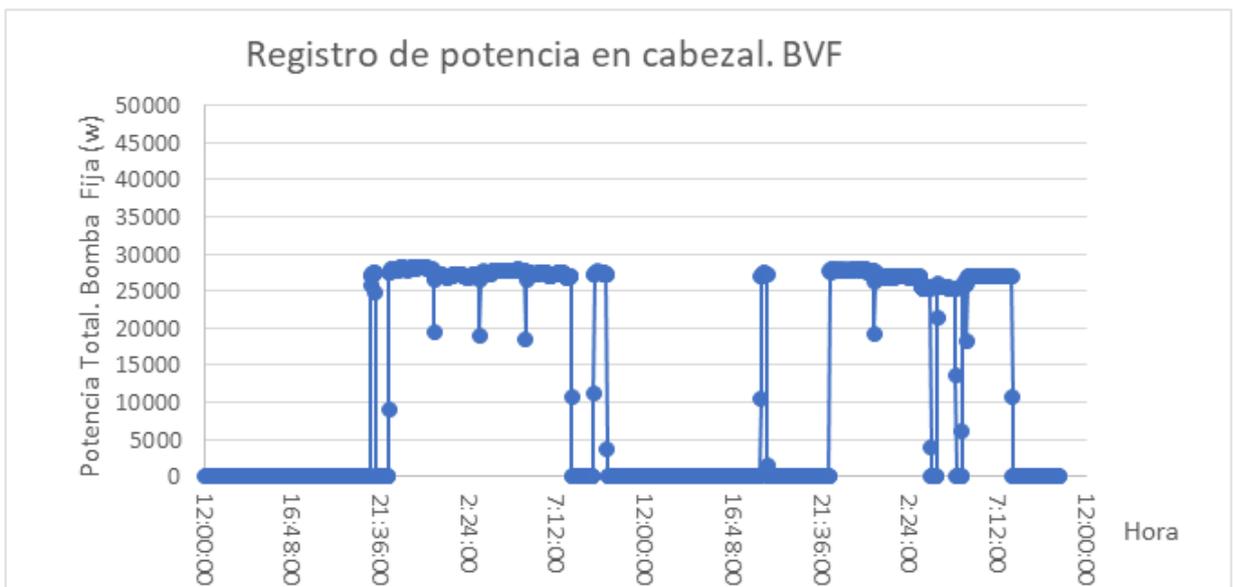


Figura 5.6: Potencia medida en la bomba de velocidad fija.

A partir de la suma de la potencia consumida por ambas bombas y los valores de potencia neta demandada por cada sector, se obtiene la eficiencia del bombeo a la red. No se puede afirmar que esta sea la eficiencia global de la comunidad de regantes puesto que no están incluidos todos los bombeos (pozo y sondeo). No obstante, se puede cuantificar el consumo principal.

Tabla 5.2: Balance de potencias para la evaluación energética.

Sector	Pot Eléctrica BVF (kW)	Pot. Eléctrica BVV (kW)	Pot. Eléctrica Total (kW)	Pot neta demandada (kW)	Eficiencia del bombeo	Energía eléc. demandada sector/día (kWh)
1	28.02	36.88	64.90	28.42	44 %	162.26
2	27.06	40.43	67.49	32.99	49 %	168.72
3	27.53	37.57	65.10	31.02	48 %	162.75
4	27.23	40.13	67.36	29.81	44 %	168.40
Energía diaria demandada						662.12

Por último, es importante comentar que si se analiza exclusivamente este bombeo, los resultados entran todos en el rango de “aceptables”. Incluso, están próximos a “normales” en dos sectores. Muy previsiblemente con algunos ajustes en la sectorización, sería posible mejorar la eficiencia para toda la red. Por otro lado, es posible que esta instalación no pueda llegar a rendimientos “buenos” puesto que la sectorización inicial para la que se seleccionó el sistema de bombeo estaba destinada a regar en 6 sectores, sin que exista constancia que la bomba se haya modificado o cambiado o para los 4 sectores actuales.

5.2 Análisis del Modelo de Proyecto

En este apartado, se va a realizar un breve análisis de los resultados hidráulicos obtenidos en la simulación de la red de riego si se hubiera realizado en con 6 sectores.

Se ha observado, en el sector 1 5.7, que con una cota en el embalse de 70 metros se llegan a presiones muy bajas en algunas zonas de la red. Hay muchos hidrantes con presiones desfavorables, por debajo de 20 mca, por ejemplo el hidrante 10 da una presión de 4,47 mca. Por el contrario, en el sector 1 del modelo actual 5.1, no se observan nodos con presiones desfavorables

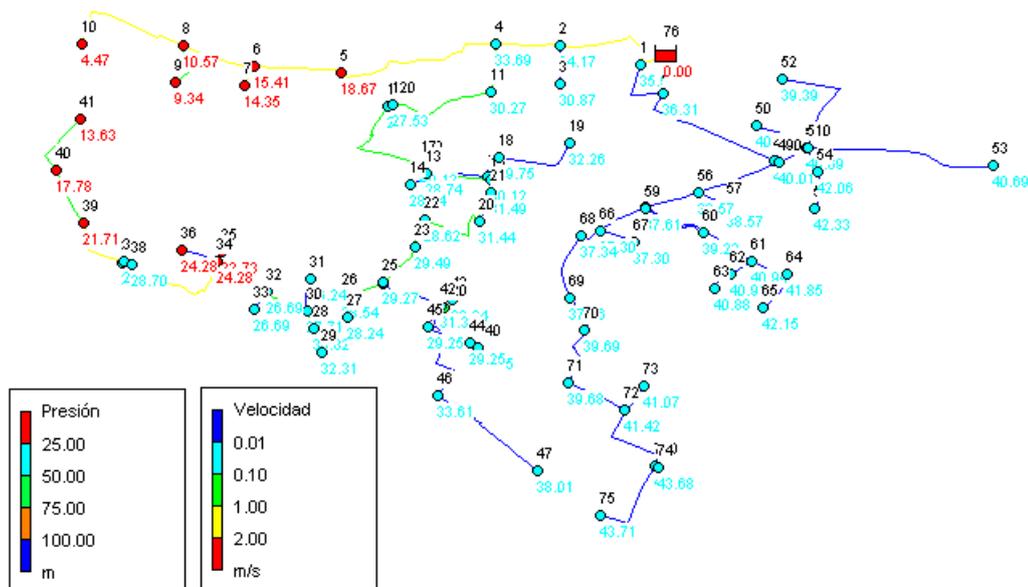


Figura 5.7: Resultados en el Sector 1 del Modelo Proyecto.

En el sector 2 con una cota en el embalse de 62,8 metros se obtienen unos valores de presión negativos, es decir, las bombas no aportan la suficiente energía por tanto se debería de cambiar la presión de consigna en ellas. Para ello, se aumenta en epanet la cota en el embalse a 85 metros y se observa una mejora en las presiones de la red. Por el contrario, el sector 2 del modelo actual 5.2 no presenta problemas por presiones pero si por velocidades elevadas.

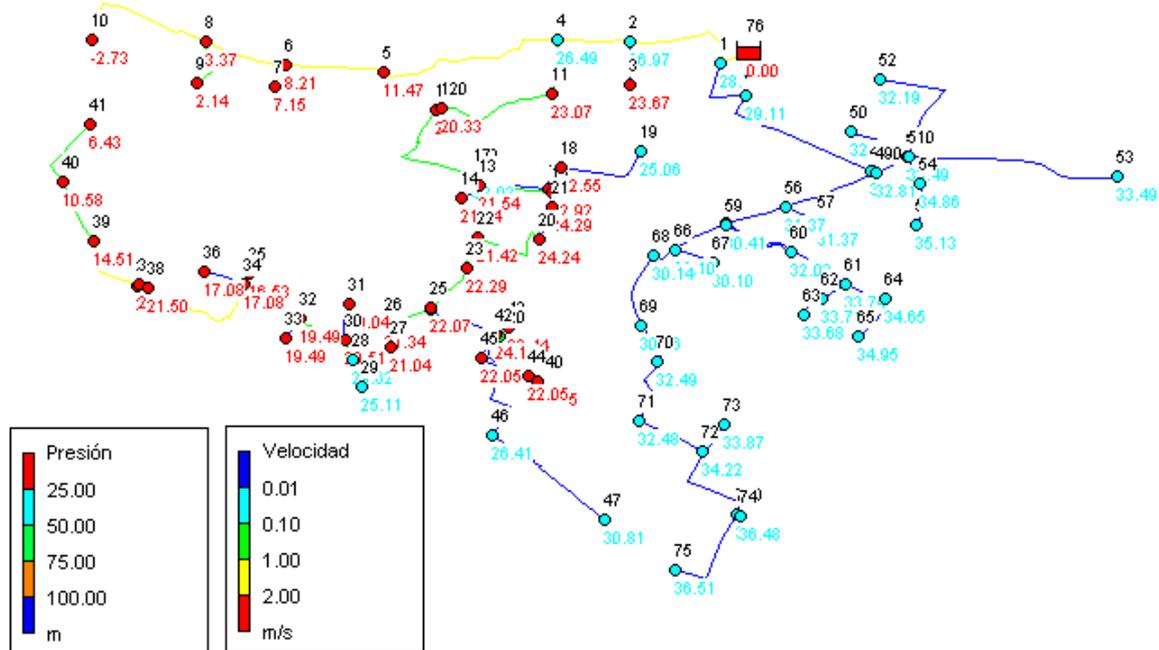


Figura 5.8: Resultados en el Sector 2 del Modelo Proyecto.

Por tanto, se puede concluir que el modelo de proyecto presentaría problemas por presiones muy bajas en todos los sectores. Se debería de ajustar adecuadamente el equipo de bombeo en caso de que se llegue a realizar la instalación con 6 sectores.

Propuestas de Mejora para el Funcionamiento de la Red

6.1 Parámetros a Analizar en la Red

Los cambios en la red, se han realizado en base a dos parámetros, la velocidad y la presión. A partir de estos, se han establecido unos requisitos que la red debe cumplir para considerarse adecuada y correcta. Por el contrario, si la red no cumple alguno de estos requisitos se deberán hacer los cambios pertinentes.

Los valores en la red respecto a las velocidades deben ser menores que 2 m/s. Este requisito se ha impuesto porque a velocidades muy elevadas hay problemas de rotura de las tuberías y de fugas. Además, las presiones aceptables se han definido en un intervalo de entre 20-30 mca.

Para establecer este rango de presiones hay que tener en cuenta que, en la red de riego hay instalados una serie de goteros. Estos goteros funcionan de tal manera que, el caudal que dan es proporcional a la presión que reciben. Hay dos tipos de goteros, los no compensantes y los compensantes. Los goteros no compensantes se diseñan normalmente para regar con una presión de 10 mca. Por otro lado, los goteros compensantes proporcionan más margen, se puede trabajar correctamente con 15 mca. Por tanto, para realizar un diseño correcto en la red son recomendables unas presiones por encima de 20 mca porque por debajo de 15 mca ya no se podría regar.

Entonces, se establece el rango de presiones de entre 20-30 mca como el adecuado, porque por encima de 30 mca hay sobrepresión. Además, las tuberías de la red son de PN6, es decir, como máximo las tuberías pueden llegar a una presión nominal de 60mca. Sin embargo, en ningún momento en la red, las conducciones superan este valor. Por tanto, se puede concluir que la red cumple con la presión mínima y máxima requerida.

Es importante destacar que la nomenclatura de los nudos y las tuberías se observan mejor en el Anexo A.5.

6.2 Propuestas de Mejora en el Sector 1

Para realizar la simulación de la red en el sector 1, se asume que el embalse tiene una cota ficticia y equivalente a la cota del cabezal, 30 mca, más la presión que se observa en el sector 1, es decir, en total 70 mca. Se ha comprobado que la red en el sector 1 cumple con los requisitos de velocidad y presión establecidos anteriormente por tanto no será necesaria ninguna mejora. Esto se observa en la figura 5.1 en el apartado anterior.

Adicionalmente, se incluyen dos tablas 6.1 y 6.2 con los valores de las velocidades y las presiones máximas del sector 1:

Tabla 6.1: Velocidades máximas en el sector 1.

Tubería	Velocidad (m/s)
Tubería L28	1.40
Tubería L26	1.54
Tubería L27	1.54
Tubería L25	1.72

Tabla 6.2: Presiones máximas en el sector 1.

Nudo	Presión (mca)
Conexión H49	45.22
Conexión H50	45.40
Conexión H38	46.75
Conexión H37	46.78

6.3 Propuestas de Mejora en el Sector 2

En cuanto al sector 2, con una cota ficticia en el embalse de 62,8 mca se observa en la figura 5.2 que hay una tubería con una velocidad elevada, en concreto la tubería L4 con una velocidad de 2,46 m/s. Los valores requeridos de velocidad en las tuberías han de ser como máximo de 2 m/s y esta tubería no lo cumple. Por tanto se deberán realizar las mejoras adecuadas para bajar esta velocidad.

Para bajar la velocidad de la tubería L4 se pueden realizar cambios de las tuberías en todo el tramo que se observa con mayor velocidad o pasar un hidrante del sector 2 al sector 1 que es el sector con mejores condiciones. En este caso se va a optar por la segunda opción. Para esto, se cambia el patrón de demanda del hidrante H8 de 2 a 1. Por tanto, como se va a cambiar un hidrante de cada sector, es conveniente poner una electroválvula en el hidrante H8 y en la tubería L6 . La electroválvula permite abrir y cerrar automáticamente el caudal que circula en ese momento. A continuación, se observa en la figura 6.1 como este cambio ha mejorado la velocidad en la tubería, ahora de 1,82 m/s.

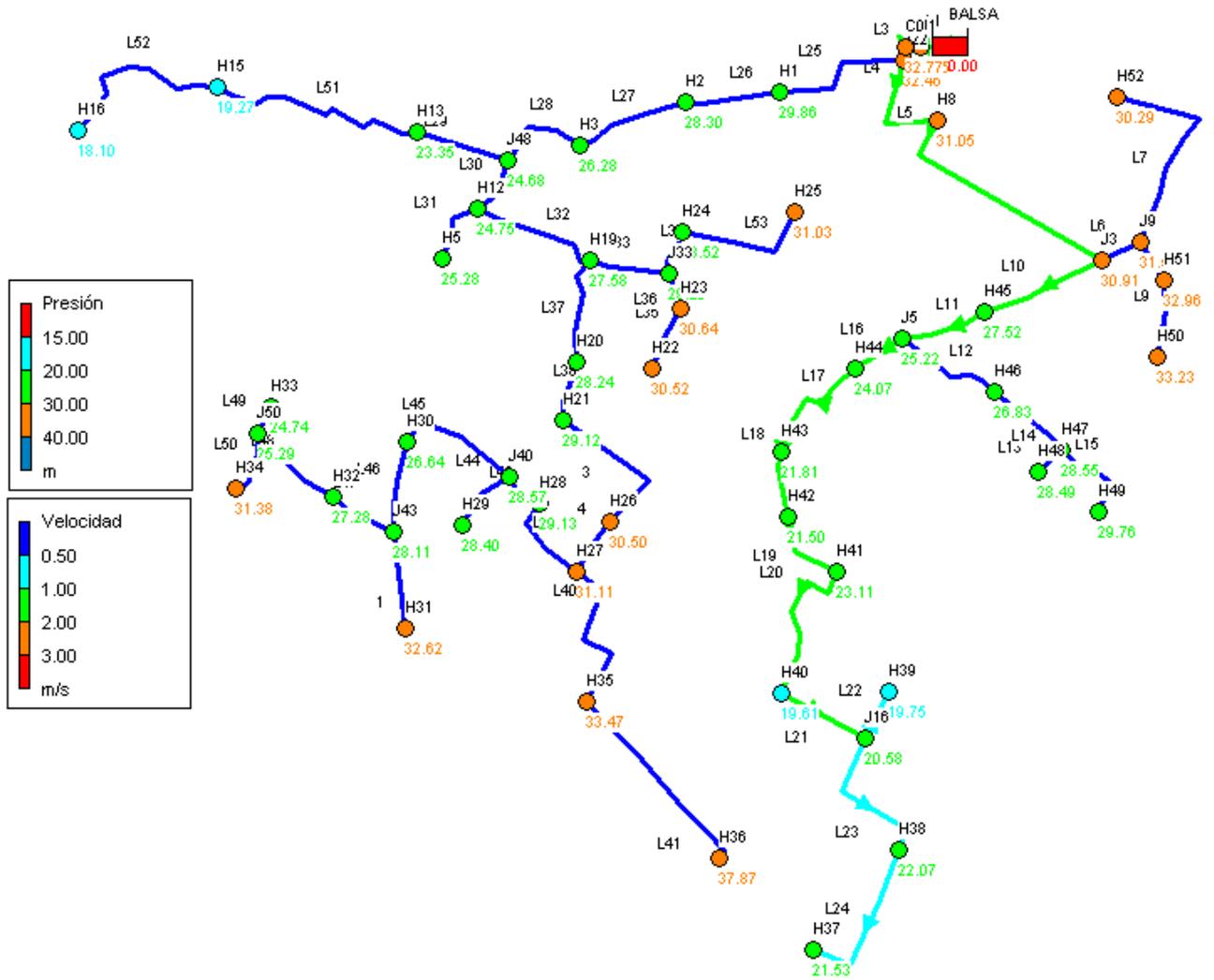


Figura 6.1: Sector 2 mejorado.

Por último, se han obtenido las tablas, 6.3 y 6.4, con las velocidades y presiones máximas del sector 2:

Tabla 6.3: Velocidades máximas en el sector 2.

Nodos	Velocidad (m/s)
Tubería L18	1,51
Tubería L16	1,82
Tubería L17	1,82
Tubería L20	1,83

También, se observa un tramo de tuberías con velocidades altas, superiores a 2 m/s. Para bajar estas velocidades se debe actuar aumentando los diámetros en estas tuberías, L6 y L7 a 166,2 mm. Con esta mejora la tubería L6 da una velocidad de 1,28 m/s y la tubería L7 de 0,87 m/s. El tramo que se deberá modificar se muestra en la siguiente figura 6.3:

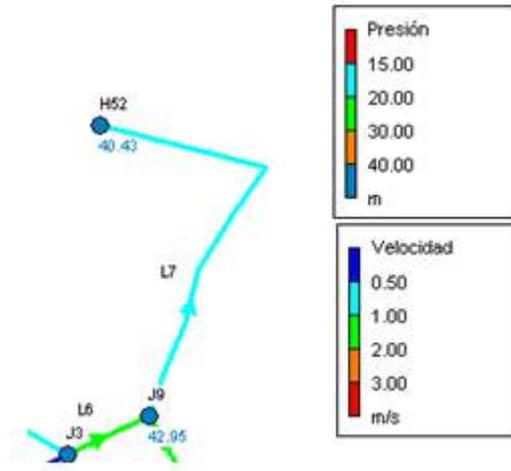


Figura 6.3: Tuberías L6 y L7 mejoradas.

El sector 3 mejorado se observa en la figura 6.4:

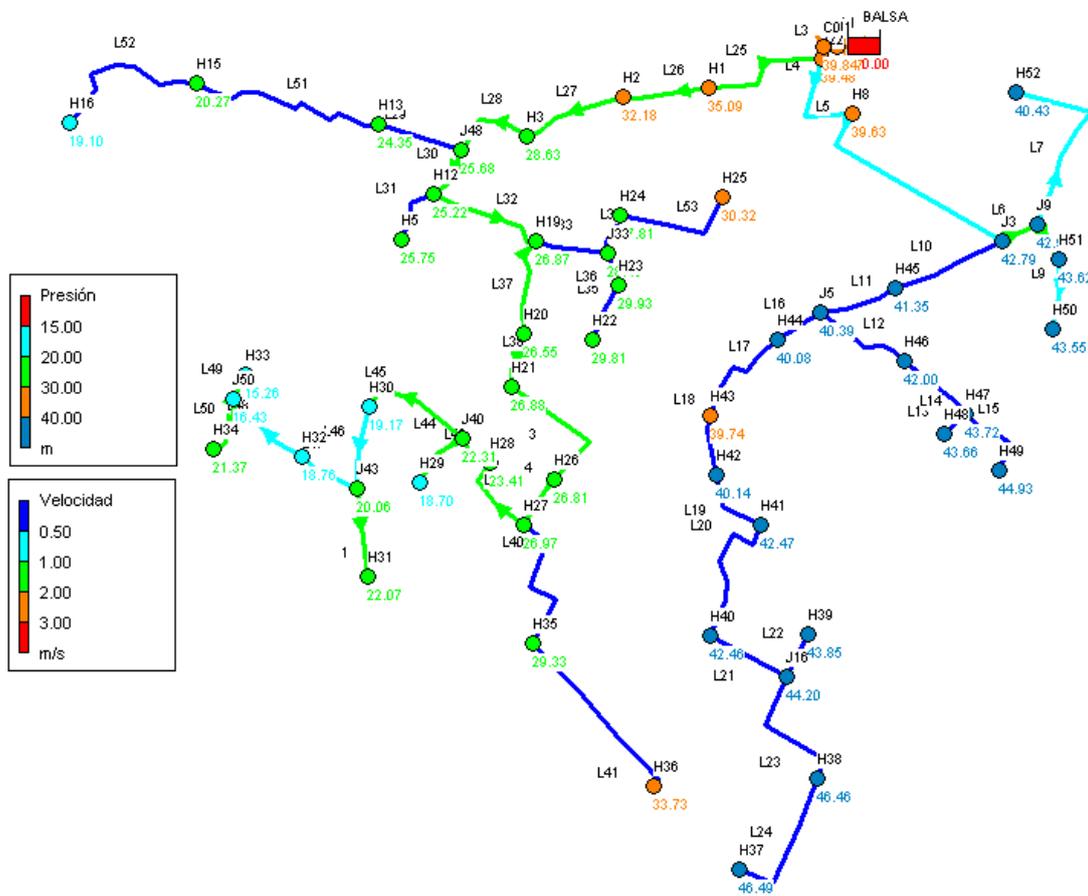


Figura 6.4: Mejora en el sector 3.

A continuación se muestran las tablas, 6.5 y 6.6, con las velocidades y presiones máximas del sector 3:

Tabla 6.5: Velocidades máximas en el sector 3.

Nudos	Velocidad (m/s)
Tubería 1	1,42
Tubería L43	1,43
Tubería L44	1,51
Tubería L42	1,65

Tabla 6.6: Presiones máximas en el sector 3.

Nudos	Presión (mca)
Conexión J16	44,2
Conexión H49	44,93
Conexión H38	46,46
Conexión H37	46,49

6.5 Propuestas de Mejora en el Sector 4

Para el sector 4, se ha cambiado la cota ficticia en el embalse a 61,3 mca. En la figura 5.4 se observa como aparecen varios hidrantes, H15, H16, desfavorables con presiones muy bajas. Para mejorar esta situación se va a actuar con un aumento en la cota en el embalse, hasta 68 mca. Ahora, se observan mejoras en los hidrantes que anteriormente eran desfavorables. El hidrante H15 tiene una presión de 17,10 mca y el hidrante H16 de 15,93 mca. Esto se muestra en la figura 6.5:

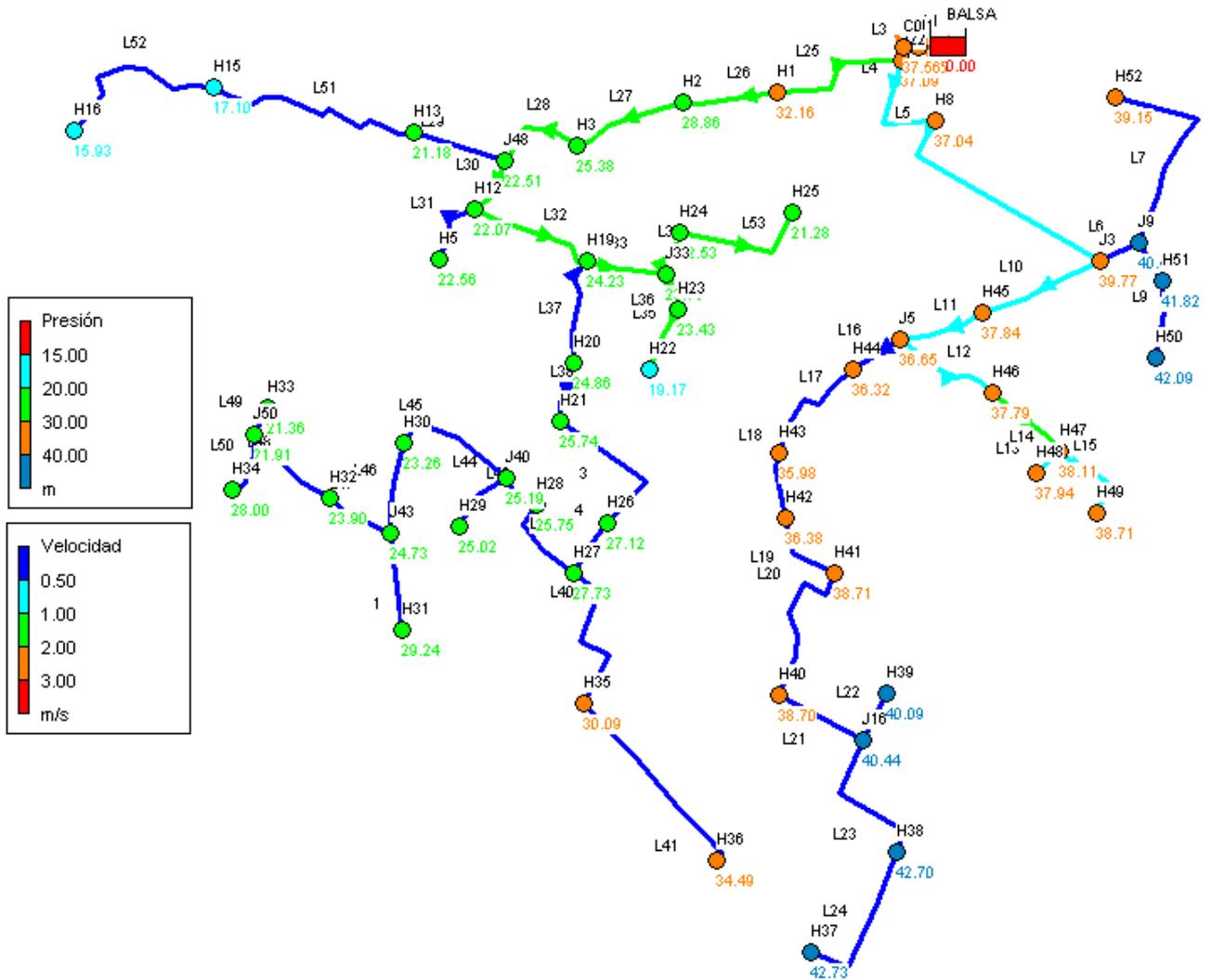


Figura 6.5: Mejora en el sector 4.

Por último, se van a incluir las tablas, 6.7 y 6.8, de las velocidades y presiones máximas en el sector 4:

Tabla 6.7: Velocidades máximas en el sector 4

Nodos	Velocidad (m/s)
Tubería L26	1,58
Tubería L33	1,78
Tubería L36	1,91
Tubería L35	1,94

Tabla 6.8: Presiones máximas en el sector 4.

Nudos	Presión (mca)
Conexión H51	41,82
Conexión H50	42,09
Conexión H38	42,7
Conexión H37	42,73

6.6 Mejora en el Funcionamiento Energético

La red de riego está formada principalmente por dos bombas, una pequeña de velocidad fija y otra bomba grande de velocidad variable. Esta segunda es la que se mantiene encendida durante más tiempo y se ajusta a un punto de funcionamiento u otro dependiendo de la presión del sistema. En este caso, las bombas se habían diseñado inicialmente para abastecer una red de riego de 6 sectores pero en realidad deben de abastecer a 4 sectores. Además, no se conocen las curvas características de ninguna de las bombas ni los modelos porque son muy antiguas. Por todo esto se propone realizar el cambio de este sistema de bombeo.

Se ha consultado con la casa comercial KSB para la elección de estas dos bombas [29]. Se ha elegido un modelo para abastecer un caudal y una altura determinada, $Q= 52 \text{ l/s}$ y $H= 45 \text{ mca}$. El modelo Etanorm 100-080-200, con una velocidad de giro de $n = 2.900 \text{ rpm}$ ofrece buenos rendimientos para el modelo. El modelo de bomba que se propone es del tipo Etabloc, para ambas bombas, una de velocidad variable y otra de velocidad fija.



Figura 6.6: Bomba tipo Etabloc. Fuente: [29]

Es importante definir la curva característica de una bomba para encontrar el punto de funcionamiento óptimo de esta y que pueda proporcionar buenos resultados en la instalación. Existen varias curvas que generalmente vienen dadas en el catálogo del fabricante. Está la curva de altura-caudal (H-Q), la de rendimiento- caudal (η -Q) y la curva de potencia - caudal (P-Q). Estas se muestran a continuación:

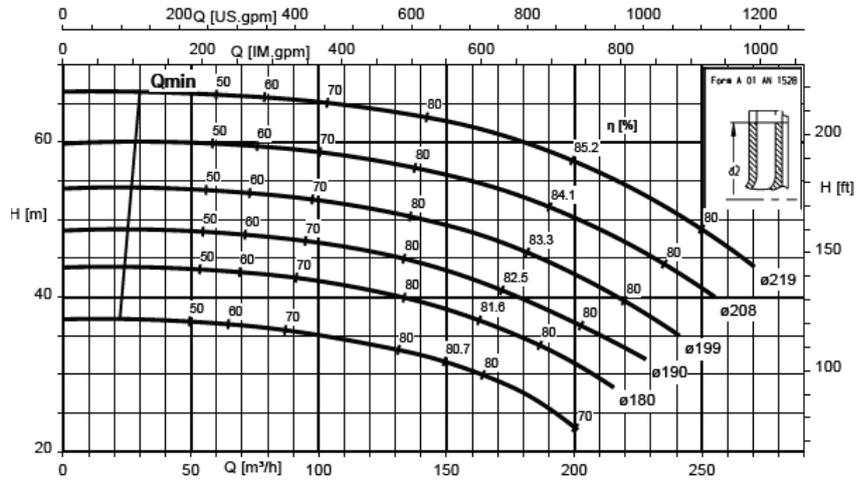


Figura 6.7: Curva característica de la bomba, Altura- Caudal. Fuente:[29]

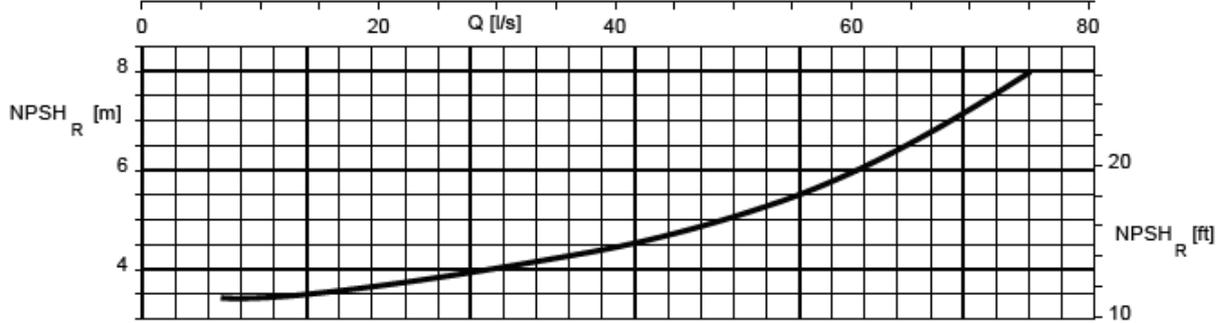


Figura 6.8: Curva característica de la bomba, Rendimiento- Caudal. Fuente:[29]

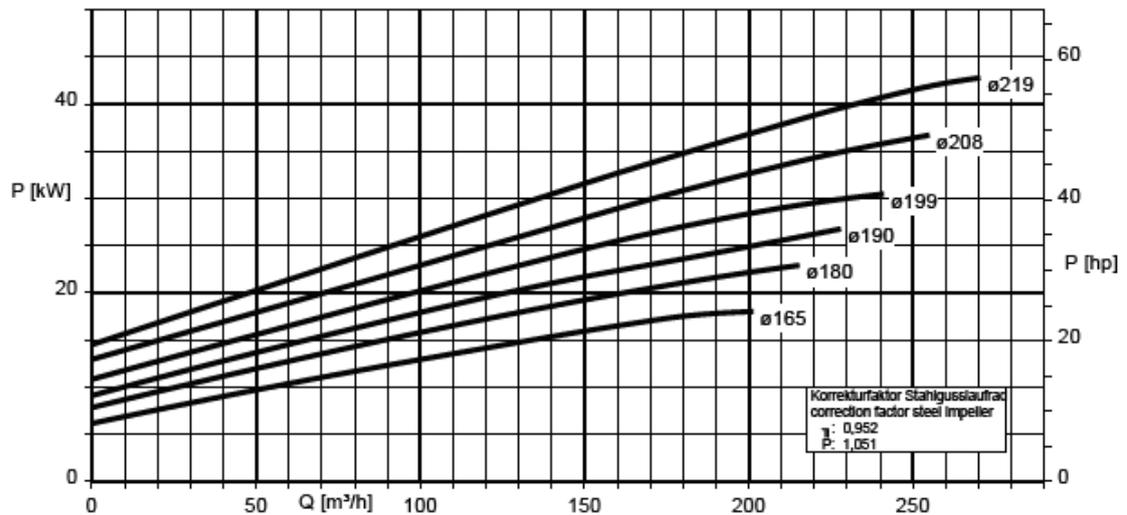


Figura 6.9: Curva característica de la bomba, Potencia - Caudal. Fuente:[29]

La curva característica Altura- Caudal tiene la siguiente forma:

$$Hb = A + B \cdot Q + C \cdot Q^2 \quad (6.1)$$

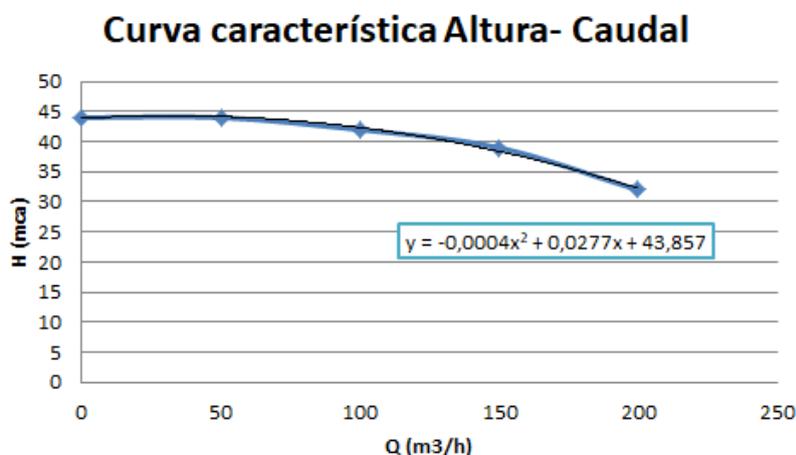


Figura 6.10: Ecuación de la Curva característica H-Q. Fuente:propia

De la gráfica anterior se obtiene la siguiente ecuación, que tiene la forma de la ecuación 6.1:

$$Hb = 43,857 + 0,0277 \cdot Q - 0,0004 \cdot Q^2 \quad (6.2)$$

Además, existe un variador de frecuencia sobre la bomba de velocidad variable. Este instrumento, como ya se ha explicado, incrementa o disminuye la velocidad de giro para mantener una presión constante en el cabezal. Por tanto, si la bomba gira a su velocidad nominal, de 2900 rpm, el consumo disminuye en la red y por tanto también la demanda, provocando que el punto de funcionamiento en la instalación se desplaza sobre la curva 6.10, para proporcionar una altura mayor. Por el contrario, si el consumo aumenta en la red, la demanda también aumenta y la curva reduce la altura. Como consecuencia, se aumenta la velocidad de giro automáticamente.

6.7 Mejora en la Distribución del Fertilizante

Otro tipo de mejora que se le puede aplicar a la red de riego es el cambio de la bomba de inyección de fertilizante. El problema principal que presenta esta bomba es que suministra la misma cantidad de fertilizante a cada sector, independientemente del caudal en cada uno. La dosificadora de fertilizante actual proporciona un caudal de 532 l/h de forma fija. Sería aconsejable el cambio a una bomba centrífuga, de tamaño pequeño y con un variador de frecuencia para que se ajuste el caudal de la tubería principal.

Para garantizar la adecuada dosificación, se propone la bomba centrífuga de un caudal entre 600-700 l/h y con una presión de 60-70 mca. De esta forma la inyección del abono sería proporcional al caudal del sector y podría conseguirse una concentración uniforme en todos los hidrantes de la red.

Estas dos modificaciones, tanto el cambio de la bomba de fertilizante a una bomba centrífuga como la incorporación del variador de frecuencia, se han incluido en el presupuesto el cual se puede consultar en el documento 8.

6.8 Otras mejoras

Se recomienda incorporar un variador de frecuencia en el pozo-sondeo con una potencia equivalente a las dos bombas en paralelo, es decir, de 68KW como mínimo. Esto tiene la finalidad de proporcionar la presión necesaria requerida del sistema.

Se propone un modelo tipo SD500 de la casa comercial Power Electronics, [30]. Este modelo cubre un rango de potencias entre 0,75 kW y 90 kW.



Figura 6.11: Variador de Frecuencia Tipo SD500. Fuente:[30]

Esta modificación también se ha incluido en el presupuesto, documento 8 como un precio estimado del equipo.

6.9 Valoración Económica de las Propuestas

Para garantizar un buen funcionamiento hidráulico, es necesario el cambio de diámetro en las tuberías L6 y L7 a DN 180 mm una longitud de 297.47 metros. La sustitución de las tuberías por las nuevas tiene un coste de 11.848,10 €.

Además, con la finalidad de mejorar la eficiencia en el sistema de bombeo, se ha llegado a la conclusión de que lo mejor es la sustitución de las bombas, las de velocidad variable y la de velocidad fija y la sustitución de la bomba dosificadora de fertilizante con variador de frecuencia. La sustitución de todo el sistema de bombeo tiene un coste de 26.941,01 €.

Otros cambios como la adición de electroválvulas y el variador de frecuencia en el pozo asciende a un coste de 1.100 €

Por tanto, como resultado de la suma de todos los costes incluyendo el IVA, el presupuesto de la instalación asciende a 55.852,44 €. Esto se puede comprobar con más detalle en documento 8.

Es importante añadir que para el cálculo del presupuesto, se han tenido en cuenta una serie de consideraciones:

- Para la estimación de los precios se ha utilizado la base de datos del IVE 2020, [31].
- Los precios de las bombas y de la tubería de PVC se han obtenido del catálogo de precios de KSB, [29] y del anexo 4.1.
- La máquina retroexcavadora de orugas tarda 1 minuto por cada metro excavado
- Las horas de trabajo de la mano de obra corresponden a 5 días.
- El porcentaje de gastos auxiliares es del 2% correspondiente al transporte o material secundario.
- Los gastos generales son del 13% que corresponden al consumo de energía, a la limpieza de las instalaciones o al mantenimiento, entre otras.
- El porcentaje de beneficio industrial es del 6%.

Capítulo 7

Conclusiones

Tras el estudio y el análisis realizado, se puede concluir que se ha cumplido el objetivo principal de trabajo. Se ha realizado el análisis hidráulico y energético de la red de riego de Santa Paula de tal forma que todos los nodos y las tuberías de la red cumplen con los requisitos establecidos. También, se ha realizado la digitalización de la cartografía y el modelo hidráulico mediante el programa de Epanet. Con estas dos herramientas, se podrá planificar y gestionar mejor la red en un futuro. Además, se han realizado una serie de propuestas para la mejora de la red y se ha obtenido el presupuesto económico.

Con respecto al análisis de los parámetros hidráulicos, principalmente de la velocidad y la presión se ha analizado el modelo de proyecto y el modelo actual mediante el programa informático de Epanet. El modelo de proyecto da problemas en cuanto a presiones muy desfavorables en los 6 sectores por lo que se debería ajustar convenientemente el equipo de bombeo. No obstante, las velocidades en las tuberías son las adecuadas. Por otro lado, el modelo actual con 4 sectores presenta algunos problemas de velocidad y de presión en ciertos tramos y momentos de la simulación. Para este modelo, se han propuesto una serie de mejoras.

Estos dos parámetros que se han analizado, deben de cumplir unos requisitos específicos. Las velocidades deben ser menores a 2 m/s porque velocidades elevadas implica fugas y roturas en las tuberías pero velocidades muy bajas provoca la sedimentación de los sólidos en las tuberías y esto puede traer problemas de obturación en ciertos elementos y generar un mal funcionamiento en los contadores. Además, las tuberías de toda la red son de PN6, es decir, la presión máxima que se puede soportar es de 60mca.

Por tanto, en cuanto a la presión, lo adecuado es un intervalo entre, aproximadamente, 20-30 mca porque con esta presión la red trabaja favorablemente. Valores mayores de 30 mca, no es lo adecuado porque existe sobrepresión pero es aceptable. En cambio, valores por encima de 60 mca no son aceptables porque existe mucha sobrepresión. Por último, valores menores a 15 mca no son suficientes porque una vez descontadas las pérdidas de carga en los hidrantes o en las tuberías de la parcela, la presión que llega a los goteros no es la adecuada para tener una buena y uniforme distribución de agua para las plantas, además de proporcionar un caudal insuficiente. Una vez establecidos los requisitos que debe cumplir la red, se han realizado las simulaciones de los 4 sectores, su análisis y las propuestas de mejora.

En primer lugar, tras simular el sector 1 se observa que los parámetros cumplen con los requisitos establecidos. En segundo lugar, en el sector 2, se observa como da problemas de velocidad elevada, tubería L4 con 2,42 m/s. Para mejorar esto, se ha cambiado el patrón de demanda del hidrante H8 del sector 2 al sector 1 que es el sector con mejores condiciones. Además, es adecuada la implementación de dos electroválvulas, en la tubería y en dicho hidrante para tener un control automático del caudal que circula en ese tramo. Ahora la velocidad en la tubería es de 1,82 m/s, se ha mejorado.

Luego, tras simular el sector 3 se han observado problemas de presiones desfavorables. Con la finalidad de mejorarlas, se ha elevado la cota del embalse de 67 mca hasta 70 mca. Además, en este sector se ha observado un tramo de tubería con velocidad muy elevada, superior a 2 m/s y se ha cambiado el diámetro en ese tramo, a DN 180 mm. Por último, el sector 4 presenta presiones desfavorables y se ha aumentado la cota de 61,3 mca hasta 68 mca.

Por otro lado, en cuanto al análisis energético de la instalación, se ha concluido que una opción interesante es la sustitución del sistema de bombeo. El bajo rendimiento obtenido, aproximadamente del 40 %, puede ser debido a la resectorización de 6 sectores a 4. Por esto, se proponen dos bombas en paralelo, una de velocidad fija y otra de velocidad variable. Se ha realizado una comprobación y una preselección donde se ha verificado que existen en el mercado bombas con rendimientos superiores al 80 % para el punto de trabajo de la red de riego. Por tanto, se propone utilizar el tipo de bomba Etabloc.

Además, sería adecuado el cambio de la bomba inyectora de fertilizante porque se da el mismo aporte a todos los sectores independientemente del caudal que pasa por ellos. Se propone una bomba centrífuga eléctrica con variador de frecuencia.

Por último, se ha realizado una estimación de los costes económicos relacionados con las mejoras en la instalación. Se ha concluido que la inversión necesaria es de 55.852,44 €.

Bibliografía

- [1] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes. www.idae.es. Online; accessed 20 Noviembre 2020 (vid. págs. 6, 17, 18, 45).
- [2] Ayuntamiento de Benavites. *La vila de Benavites*. Online; accessed 19 julio 2020 (vid. págs. 7-9).
- [3] Junta de Govern de les Aigües de la Font de Quart de les Valls. *La Font de Quart*. <http://fontdequart.com/>. Online; accessed 16 Noviembre 2020 (vid. pág. 8).
- [4] Conselleria d'agricultura, Medi Ambient, Canvi Climàtic i Desenvolupament Rural. *El regadío en la Comunidad Valenciana*. <http://www.agroambient.gva.es/documents/162218839/164381878/El+Regad%C3%ADo+en+la+Comunitat+Valenciana+2017/ef9b71d2-3d5b-4b9f-9dd8-0bf3e0257c6b>. Online; accessed 19 Julio 2020 (vid. págs. 9, 13).
- [5] Moisés Mario Fernández de Sousa. “El sistema de riego localizado”. En: *Tecnología Agroalimentaria*, (14) (2010) (vid. págs. 10, 11, 16, 17).
- [6] Carlos Fuentes y col. “El sistema de ecuaciones de Saint-Venant y Richards del riego por gravedad: 1. La ley potencial de resistencia hidráulica”. En: *Tecnología y ciencias del agua* 19.2 (2015), págs. 65-75 (vid. pág. 12).
- [7] Carlos Chávez, Carlos Fuentes y Eusebio Ventura Ramos. “Uso eficiente del agua de riego por gravedad utilizando yeso y poliacrilamida”. En: *Terra Latinoamericana* 28.3 (2010), págs. 231-238 (vid. pág. 12).
- [8] Especialistas en agricultura. *Particularidades del riego por aspersión*. <http://agriculturers.com/particularidades-del-riego-por-aspersion/>. Online; accessed 27 Julio 2020 (vid. pág. 12).
- [9] Diario de agricultura de Castilla y León. *La superficie de regadío se ha incrementado en España durante el 2017*. <https://www.agronewscastillayleon.com/>. Online; accessed 27 Julio 2020 (vid. pág. 13).

- [10] Lúdia Penelo. *Cítricos: propiedades, beneficios y valor nutricional*. Online; accessed 18 julio 2020. 2019 (vid. pág. 14).
- [11] Insituto Valenciano de Investigaciones agrarias. *Citricultura valenciana*. <http://gipcitricos.ivia.es/citricultura-valenciana>. Online; accessed 19 Julio 2020 (vid. pág. 14).
- [12] Emerit Bono. *Naranja y desarrollo: La base agrícola exportadora de la economía del País Valenciano y el modelo de crecimiento hacia fuera*. Universitat de València, 2011 (vid. pág. 14).
- [13] Javier E Vélez, Javier G Álvarez-Herrera y Oscar H Alvarado-Sanabria. “El estrés hídrico en cítricos (Citrus spp.): Una revisión”. En: *Orinoquia* 16.2 (2012), págs. 32-39 (vid. pág. 14).
- [14] Lúdia Penelo. *Caqui o palosanto: propiedades, beneficios y valor nutricional*. <https://www.lavanguardia.com/comer/frutas/20180725/451086064339/caqui-o-palosanto-propiedades-beneficios-y-valor-nutricional.html>. Online; accessed 18 Julio 2020 (vid. pág. 15).
- [15] Joaquín Ferrandis. *Revolución caqui*. https://elpais.com/ccaa/2015/12/04/valencia/1449223944_915957.html. Online; accessed 18 Julio 2020 (vid. pág. 15).
- [16] A Hernandiz. “El cultivo de kaki en la comunidad valenciana”. En: *Cuadernos de tecnología agraria serie fructicultural* 3 (1999) (vid. pág. 15).
- [17] Mark L. Dreher Adrienne J. Davenport. “Hass Avocado Composition and Potential Health Effects”. En: DOI: 10.1080/10408398.2011.556759 (2013) (vid. pág. 15).
- [18] AVA-ASAJA, Associació Valenciana d'agricultors. *AVA-ASAJA apuesta por el aguacate como alternativa de cultivo por su rentabilidad y su potencial consumo*. <http://www.avaasaja.org/index.php/prensa/notas-de-prensa/item/2778-ava-asaja-apuesta-por-el-aguacate-como-alternativa-de-cultivo-por-su-rentabilidad-y-su-potencial-consumo>. Online; accessed 19 Julio 2020 (vid. pág. 15).
- [19] Jesús Antonio Moya Talens. *Riego localizado y fertirrigación*. Mundi-Prensa Libros, 2009 (vid. pág. 16).
- [20] QGIS. *Programa QGIS*. <https://qgis.org/es/site/>. Online; accessed 16 Noviembre 2020 (vid. págs. 19, 33).
- [21] Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana. *Instituto Geográfico Nacional*. <http://www.ign.es/web/ign/portal>. Online; accessed 16 Noviembre 2020 (vid. págs. 20, 33).
- [22] Ministerio de Hacienda. *Sede electrónica del Catastro*. <https://www.sedecatastro.gob.es/>. Online; accessed 16 Noviembre 2020 (vid. págs. 20, 33).
- [23] LAMA. *Ficha técnica. Malla EKOLU*. <https://lama.es/download/LAMA-MALLA-EKOLU.pdf>. Online; accessed 14 Noviembre 2020 (vid. pág. 24).

-
- [24] Damova. *Catálogo Bomba Dosificadora DAMOVA*. <http://www.damova.es/>. Online; accessed 14 Noviembre 2020 (vid. pág. 25).
- [25] Comunidad de regantes. *Fertirrigación*. https://www.itc.es/wp-content/uploads/article-Fertirrigacion_comunidades_regantes-ES.pdf. Online; accessed 16 Noviembre 2020 (vid. pág. 26).
- [26] Chauvin-Arnoux. *Catálogo del analizador de red*. https://catalog.chauvin-arnoux.com/fr_es/c-a-8333-3644.html. Online; accessed 15 Noviembre 2020 (vid. pág. 28).
- [27] Dynasonics. *Catálogo del caudalímetro*. <https://www.badgermeter.com/brands-es/dynasonics/>. Online; accessed 15 Noviembre 2020 (vid. pág. 30).
- [28] Grupo multidisciplinar de modelación de fluidos de la UPV. *Manual de usuario del programa EPANET*. https://epanet.es/wp-content/uploads/2012/10/EPANET_Manual_Usuario.pdf. Online; accessed 16 Noviembre 2020 (vid. pág. 34).
- [29] KSB. *Selección de bombas. Marca KSB*. www.ksb.es. Online; accessed 16 Noviembre 2020 (vid. págs. 56, 57, 60).
- [30] Power Electronics. *Catálogo del Variador de Frecuencia*. www.power-electronics.com/es/. Online; accessed 16 Noviembre 2020 (vid. pág. 59).
- [31] Instituto Valenciano de la Edificación. *Base de Precios 2020*. <https://www.five.es/productos/herramientas-on-line/visualizador-2020/>. Online; accessed 16 Noviembre 2020 (vid. pág. 60).

Parte II

PRESUPUESTO

Capítulo 8

Presupuesto

8.1 Justificación de Precios

En primer lugar, se ha realizado una tabla de los precios agrupados según la mano de obra, la maquinaria y el material utilizados en las mejoras de la instalación.

Tabla 8.1: Justificación de los precios por recursos

RESUMEN MANO DE OBRA				
Unidad	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Precio Total (€)
h	Oficial 1ª de Construcción	1,2	19,21	23,05
h	Peón Ordinario	120	15,06	1.807,20
IMPORTE TOTAL				1830,25 €
RESUMEN MAQUINARIA				
Unidad	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Precio Total (€)
h	Retroexcavadora de orugas 115 CV, 1m3	72	66,02	4753,44
IMPORTE TOTAL				4753,44 €
RESUMEN MATERIAL				
Unidad	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Precio Total (€)
ud	Electroválvula para riego PGV 24V. DN 110mm	2	50	100
ud	Bomba Etabloc, marca KSB. Potencia de 75 KW	2	12.968,17	25.936.34
ud	Bomba centrífuga eléctrica con variador de frecuencia.	1	700	700
ud	Variador de Frecuencia DS500, marca Power Electronycs.	1	1.000	1.000
m	Tubería PVC DN 180 mm	297,47	16,47	4.899,33
IMPORTE TOTAL				32.835.67 €
PRESUPUESTO TOTAL			39.419.36€	
Costes indirectos (2%)			788.39€	

8.2 Resumen por Capítulos

Tabla 8.2: Presupuesto del Capítulo 1. Sustitución de las tuberías.

Capítulo 1: Sustitución de las Tuberías				
Unidad	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Precio Total (€)
m	Excavación Zanja.	297,47	6,32	6.633,45
m	Desmontaje de las Tuberías	297,47	1,06	315,32
m	Montaje de las Tuberías DN 180 mm	297,47	16,47	4.899,33
Total capítulo 1				11.848,10 €

Tabla 8.3: Presupuesto del Capítulo 2. Sustitución de las Bombas.

Capítulo 2: Sustitución de las Bombas				
Unidad	Descripción	Medición	Precio (€/ud)	Precio Total (€)
ud	Bomba Etabloc, marca KSB. Potencia de 75 KW	2	12.968,17	25.936,34
ud	Bomba centrífuga eléctrica con variador de frecuencia	1	700	700
h	Peón ordinario	1	15,06	15,06
h	Oficial de Construcción	0,15	19,21	2,88
%	Costes Auxiliares	0,02	286,73	286,73
Total Capítulo 2				26.941,01 €
Total Presupuesto				38.789,11 €

8.3 Presupuesto Económico

Por último, el presupuesto total de las mejoras en la instalación es el siguiente:

Tabla 8.4: Resumen del Presupuesto Total

	Importe (€)
Total Capítulo 1	11.848,10
Total Capítulo 2	26.941,01
Presupuesto de Ejecución Material (PEM)	38.789,11
Beneficio Industrial 6 % (BI)	2.327,35
Gastos Generales 13 % (GG)	5.042,58
GG+BI	7369,93
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)	46.159,04
IVA (21 %)	9.693,40
Presupuesto de Inversión (PEC+IVA)	55.852,44

El presupuesto total de la instalación asciende a **55.852,44 €**, cincuenta y cinco mil ocho cientos cincuenta y dos euros con cuarenta y cuatro céntimos.

Parte III

ANEXOS

ANEXOS A

Anexos

A.1 Dimensionamiento de la Red

A.1.1 Sectorización. Reparto de Caudales.

Sector 1	
Nodo	Caudal (l/s)
1	7,36
3	5,80
12	7,69
13	8,19
15	14,41
16	5,11
35	10,63
36	12,61
Caudal Total del sector	71,79

Sector 2	
Nodo	Caudal (l/s)
8	26,75
37	10,70
38	7,16
39	12,44
40	18,70
41	8,08
42	6,18
43	12,76
Caudal Total del sector	102,77

Sector 3	
Nodo	Caudal (l/s)
26	4,86
27	8,91
28	5,93
29	5,45
30	6,10
31	11,55
32	4,45
33	5,50
34	5,22
50	4,49
51	4,35
52	18,85
Caudal Total del sector	85,66

Sector 4	
Nodo	Caudal (l/s)
2	9,78
5	13,29
19	3,60
20	4,52
21	4,61
22	9,95
23	5,82
24	8,15
25	6,51
44	8,92
46	5,38
47	2,69
48	5,86
49	7,94
Caudal Total del sector	97,02

A.2 Parámetros de las tuberías

Tubería	Longitud (m)	Diámetro(mm)	Rugosidad (mm)
Tubería L53	153.94	81.40	0.15
Tubería L1	18.97	230.80	0.15
Tubería L2	16.86	230.80	0.15
Tubería L3	13.76	230.80	0.15
Tubería L4	132.98	230.80	0.15
Tubería L5	279.85	230.80	0.15
Tubería L6	49.56	166.20	0.15
Tubería L7	247.91	166.20	0.15
Tubería L8	49.94	101.60	0.15
Tubería L9	87.05	101.60	0.15
Tubería L10	141.96	230.80	0.15
Tubería L11	97.77	230.80	0.15
Tubería L12	122.54	184.60	0.15
Tubería L13	100.98	129.20	0.15
Tubería L14	34.97	115.40	0.15
Tubería L15	102.75	115.40	0.15
Tubería L16	61.13	230.80	0.15
Tubería L17	140.17	230.80	0.15
Tubería L18	73.86	230.80	0.15
Tubería L19	92.14	230.80	0.15
Tubería L20	189.98	184.60	0.15
Tubería L21	107.19	184.60	0.15
Tubería L22	59.11	129.20	0.15
Tubería L23	173.44	166.20	0.15
Tubería L24	185.00	147.60	0.15
Tubería L25	161.38	230.80	0.15
Tubería L26	105.33	230.80	0.15
Tubería L27	129.29	230.80	0.15
Tubería L28	106.00	230.80	0.15
Tubería L29	105.19	184.60	0.15
Tubería L30	66.29	230.80	0.15
Tubería L31	76.95	230.80	0.15
Tubería L32	145.32	230.80	0.15
Tubería L33	90.46	147.60	0.15
Tubería L34	52.25	129.20	0.15
Tubería L35	41.18	101.60	0.15
Tubería L36	74.50	81.40	0.15
Tubería L37	120.73	230.80	0.15
Tubería L38	68.56	230.80	0.15
Tubería L40	191.40	147.60	0.20
Tubería L41	236.48	115.40	0.40
Tubería L42	105.31	184.60	0.15
Tubería L43	47.68	184.60	0.15
Tubería L44	77.50	67.80	0.15
Tubería L45	143.64	184.60	0.15
Tubería L46	102.67	184.60	0.15
Tubería L47	78.86	147.60	0.15
Tubería L48	110.04	147.60	0.15
Tubería L49	34.85	81.40	0.15

Tubería	Longitud (m)	Diámetro(mm)	Rugosidad (mm)
Tubería L50	72.01	81.40	0.15
Tubería L51	247.83	184.60	0.15
Tubería L52	210.06	162.20	0.15
Tubería 1	105.00	101.60	0.15
Tubería 3	179.05	230.80	0.15
Tubería 4	66.14	230.80	0.15

A.3 Diámetros Nominales de las Tuberías de PVC

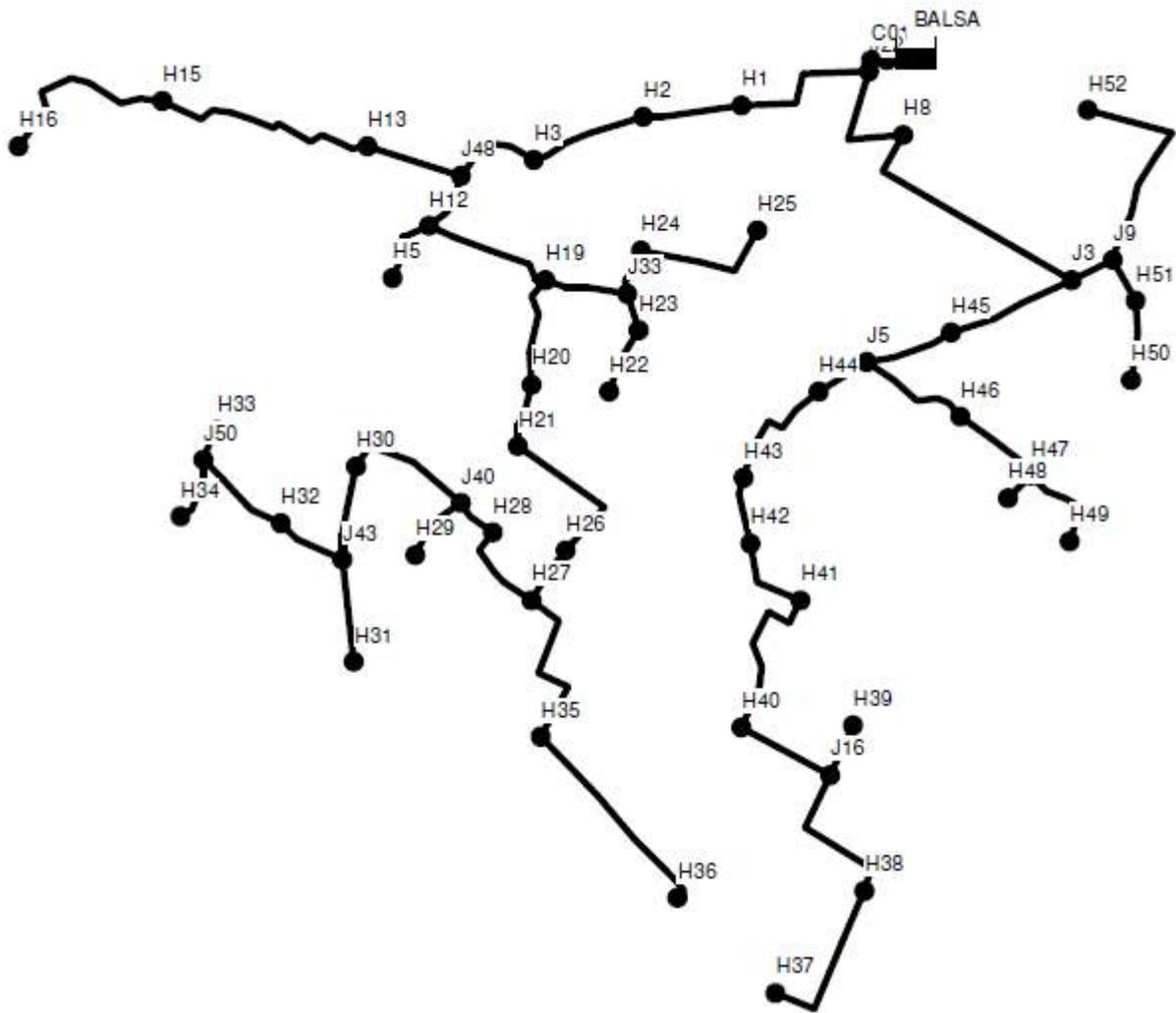
DN (mm)	PN Atm.	Espesor (mm)	Long. total (m)	Nº Tubos/ Cant. Min. Pedido	Nº Tubos/Palet	Código	€/m
63	6	2,0	6	66	116	1002234	2,88
75	6	2,3	6	41	68	1002236	3,91
90	6	2,8	6	35	69	1002240	5,52
110	6	2,7	6	38	76	1100171	6,11
125	6	3,1	6	30	53	1115300	8,01
140	6	3,5	6	20	39	1100177	10,24
160	6	4,0	6	17	28	1100178	10,13
180*	6	4,4	6	11	22	1100181	16,47
200	6	4,9	6	9	18	1100179	19,83
250	6	6,2	6	7	11	1100180	31,71
315	6	7,7	6	7	13	1100191	49,33
400	6	9,8	6	5	9	1100192	79,45
500	6	12,3	6	4	4	1100193	124,64
630	6	15,4	6	3	3	1100194	196,19

A.4 Catálogo de la Bomba Dosificadora. Marca Damova.

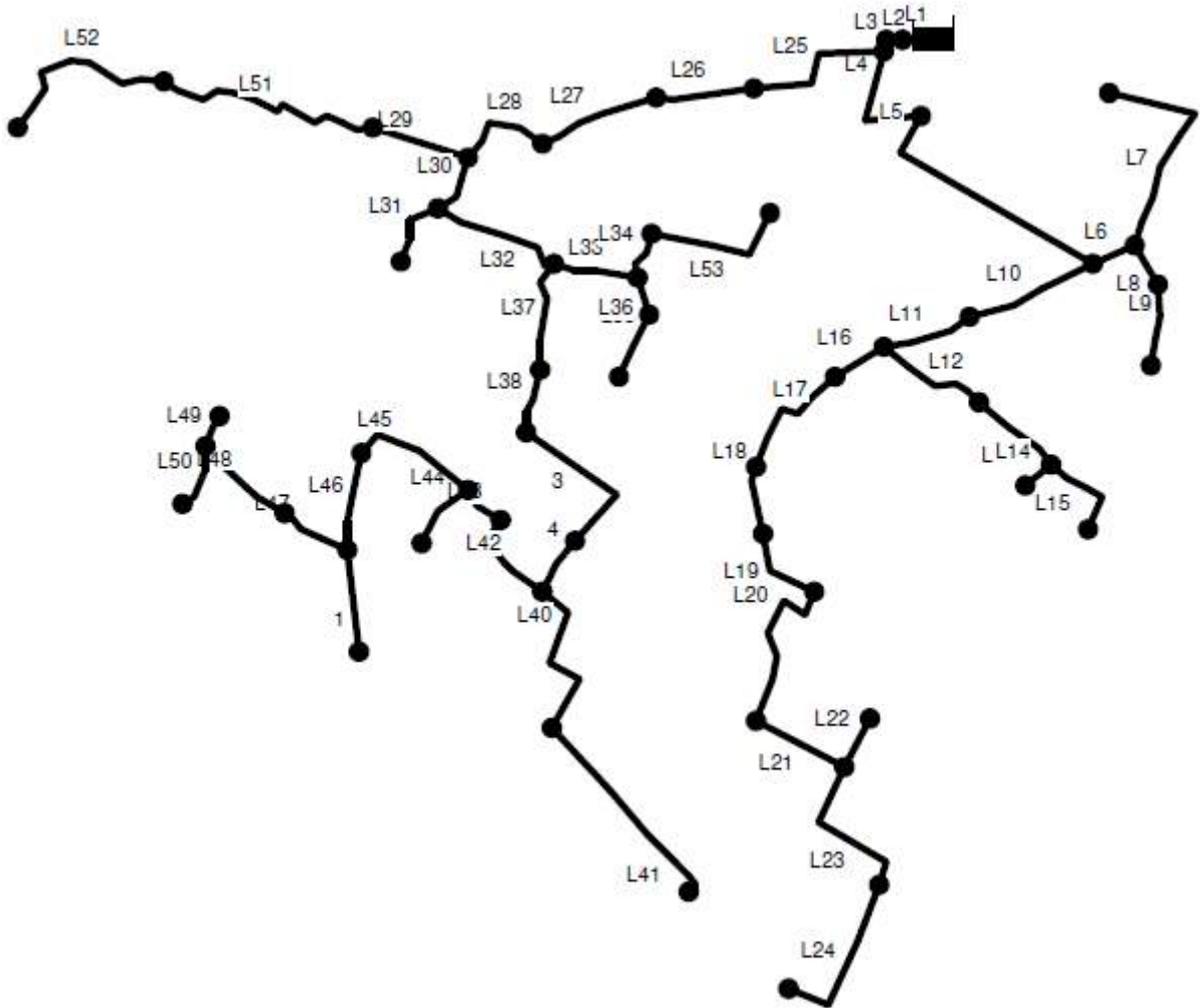
TIPO	CAUDAL [l/h]	PRESION Máx. [bar] Bomba P.V.C.	PRESION Máx. [bar] Bomba INOX.	Ø Pistón [mm]	Carrera [mm]	Ø Bocas Asp/imp.	Potencia Motor [CV]	Imp/min	Peso Kgs. con Bomba PVC
DR-25x38.B	164	-	20	38	25	1/2"	0,75	96	18
DR-25x38.C	191							112	
DR-25x48.B	257	10	17	48	25	3/4"	0,75	96	18
DR-25x48.C	300							112	
DR-25x54.A	192	10	13	54	25	3/4"	0,75	56	19
DR-25x54.B	329							96	
DR-25x54.C	384							112	
DR-25x64.A	266	9,5	9,5	64	25	1"	0,75	56	21
DR-25x64.B	456							96	
DR-25x64.C	532							112	
DR-25x76.A	383	6,5	6,5	76	25	1"	0,75	56	22
DR-25x76.B	657							96	
DR-25x76.C	766							112	
DR-25x89.A	521	4,8	4,8	89	25	1"	0,75	56	24
DR-25x89.B	893							96	
DR-25x89.C	1042							112	

A.5 Red Actual en Epanet

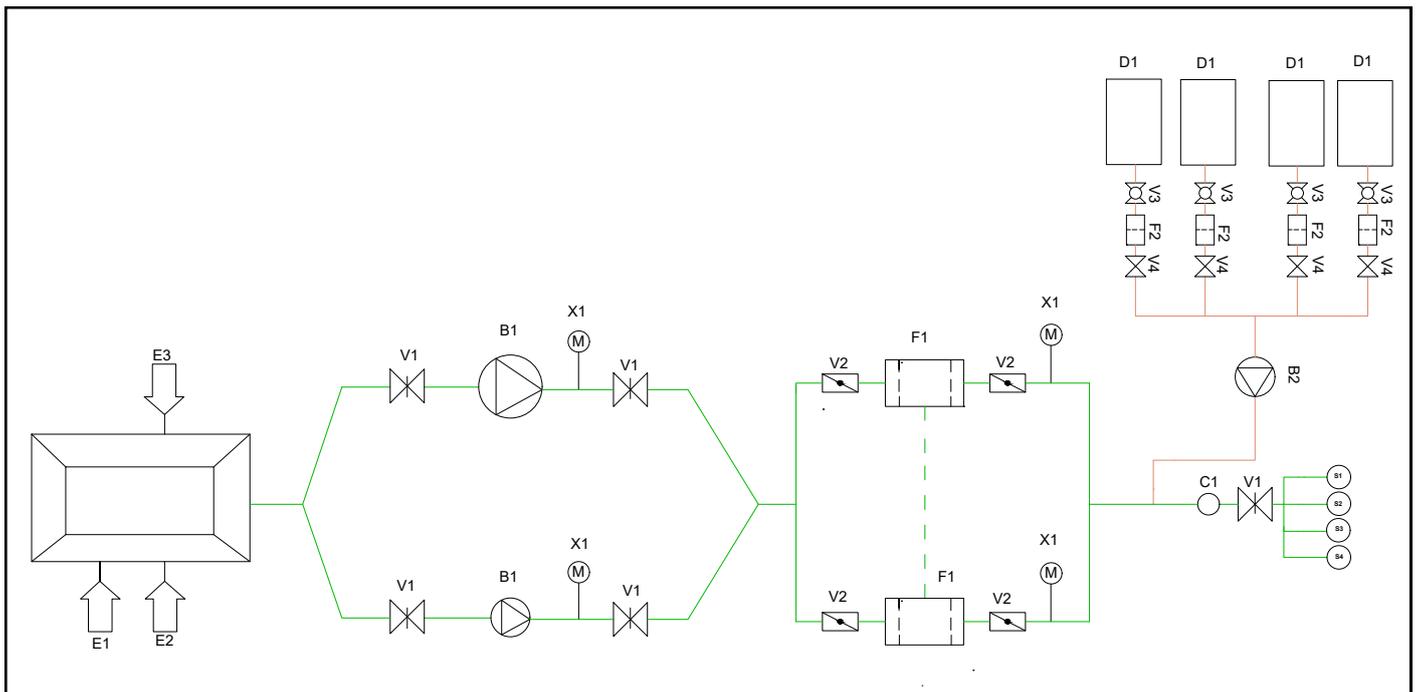
A.5.1 Nomenclatura de los Nudos



A.5.2 Nomenclatura de las tuberías



A.6 Diagrama de flujo



LEYENDA

Identificación	Denominación	Identificación	Denominación
E1	Agua del primer pozo	F1	Filtro de Líquido
E2	Agua del segundo pozo	F2	Filtro General
E3	Agua del canal	D1	Déposito de Fertilizante
V1	Válvula de compuerta	B1	Bomba
V2	Válvula de mariposa	B2	Bomba Dosificadora
V3	Válvula de bola	X1	Manómetro
V4	Electroválvula	C1	Contador de agua
		Si	Sector i=1,2,3

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA



Proyecto: ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO Y ENERGÉTICO Y PROPUESTAS DE MEJORA DE LA RED DE RIEGO DE SANTA PAULA (VALENCIA)

Título: DISTRIBUCIÓN DEL CABEZAL DE LA RED DE RIEGO

Autor: OLGA PASCUAL BALDOVÍ

Fecha: Diciembre 2020

Escala: S/E

1