



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Estudio para la mejora de la eficiencia energética, con
criterios de Ecodiseño, en la Comunidad de Regantes de
Villarreal, Castellón, España.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

AUTOR/A: Martinez Gonzalez, Hugo Alberto

Tutor/a: Gómez Sellés, Elena

Cotutor/a: Del Teso March, Roberto

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Trabajo Fin de Máster

*Estudio para la mejora de la
eficiencia energética, con criterios
de Ecodiseño, en la Comunidad de
Regantes de Villarreal, Castellón,
España.*

Intensificación: *HIDRÁULICA URBANA*

Autor:

HUGO ALBERTO MARTINEZ GONZALEZ

Tutor:

DRA. ELENA GÓMEZ SELLÉS

Cotutor/es:

DR. ROBERTO DEL TESO MARCH

06, 2024



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

A mi familia, amigos y tutores.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

1.- Introducción	10
1.1 Desarrollo de la interacción entre agua y energía.....	10
1.2 Uso del agua y la agricultura en España	12
1.2.1 Energía para bombeo de agua	13
1.2.2 Sistemas de riego y eficiencia energética.....	13
1.2.3 Energías renovables en la agricultura	14
1.2.4 Gestión integrada de recursos hídricos y energéticos	15
1.2.5 Desafíos y oportunidades:	15
1.2.6 Intensidad energética en España	16
1.2.5 Caso de Estudio: Comunidad de Regantes de Villarreal:	16
2.- Objetivo	17
3.- Antecedentes.....	18
4.- Zona de estudio.....	19
4.1 Delimitación de regadío	19
4.2 Captación de agua y estación de bombeo	20
4.3 Acequia mayor.....	21
5.- Metodología.....	22
5.1 Datos	22
5.2 Modelo	23
5.3 Traslado de coordenadas del modelo	23
5.4 Propuesta de eco-trazado.....	25
5.5 Demandas y patrones de consumo.....	28
5.6 Dimensionado de tuberías desde cabezal hacia los sectores con el método de la pendiente óptima (Jo).....	29
5.7 Cálculo de altura mínima para las nuevas líneas.....	34

5.8 Selección de grupo de bombeo para las líneas de trabajo	35
5.9 Periodos para la tarifa y coste de electricidad	38
5.10 Cálculo del análisis energético y costes.....	39
5.11 Cálculo del presupuesto del proyecto.....	41
5.12 Intensidad energética.....	41
6.- Resultados y discusión	42
6.1 Tarifa usada para cálculo de costes de energía	43
6.2 Resultados Línea 1	44
6.2.1 Funcionamiento del sector 1	44
6.2.1 Coste energético Línea 1	45
6.3 Resultados Línea 2	46
6.3.1 Funcionamiento del sector 2.....	46
6.3.2 Coste energético Línea 2	47
6.4 Resultados Línea 3	48
6.4.1 Funcionamiento del sector 3.....	48
6.4.2 Coste energético Línea 3	49
6.5 Resultados coste total energético.....	50
6.6 Resultados de la intensidad energética.....	51
6.7 Presupuesto del ejecutar el estudio.....	52
7.- Conclusiones	53
7.1 Desarrollos futuros.....	54
8.- Referencia Bibliográficas (Según Norma ISO690)	55
9.-ANEXOS	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Evolución del consumo de energía para riego en España	10
Tabla 2.	Elementos que gestionar dentro del riego localizado en la comunidad de regantes de Villarreal	20
Tabla 3.	Elementos iniciales del modelo.....	23
Tabla 4.	Giro y desplazamiento de coordenadas	25
Tabla 5.	Comprobación del cálculo de patrones de consumo	28
Tabla 6.	Parámetros para el cálculo de la Jo.....	31
Tabla 7.	Caudales de los tramos nuevos	32
Tabla 8.	Cálculo del diámetro óptimo.....	33
Tabla 9.	Datos para selección de grupos de bombeo	35
Tabla 10.	Datos principales de las bombas seleccionadas	35
Tabla 11.	Periodos península	38
Tabla 12.	Volúmenes según cada sector.....	39
Tabla 13.	Cálculo del análisis energético	40
Tabla 14.	Elementos principales de la Línea 1.....	44
Tabla 15.	Costes energéticos Línea 1	45
Tabla 16.	Elementos principales de la Línea 2.....	46
Tabla 17.	Costes energéticos Línea 2	47
Tabla 18.	Elementos principales de la Línea 3.....	48
Tabla 19.	Costes energéticos Línea 2	49
Tabla 20.	Costes energéticos totales	50
Tabla 21.	Análisis energético y costes asociados con la energía normalizada	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Evolución conjunta del regadío español con el consumo eléctrico neto..	11
Figura 2.	Usos principales del agua en las cuencas hidrográficas peninsulares.....	12
Figura 3.	Potencial eléctrico fotovoltaico en España	15
Figura 4.	Zona de estudio delimitado por cada sector	19
Figura 5.	Ubicación de la estación de bombeo	20
Figura 6.	Acequia mayor que atraviesa por Villarreal.....	21
Figura 7.	Traslado de coordenadas antes y después (regadío de Villarreal)	23
Figura 8.	Mapa de contorno de cotas en regadío de Villarreal.....	25
Figura 9.	Línea 1	26
Figura 10.	Línea 2.....	26
Figura 11.	Línea 3.....	26
Figura 12.	Coste material PVC-12.5 atm	30
Figura 13.	Factor de instalación en relación con el diámetro en (m)	31
Figura 14.	Precios de la electricidad para los consumidores domésticos - datos semestrales (desde 2007 en adelante).	32
Figura 15.	Curvas característica y curva de rendimiento de la bomba, empleada en el sector 1	36
Figura 16.	Curvas características y curva de rendimiento de la bomba, empleada en el sector 2	36
Figura 17.	Curva característica y curva de rendimiento de la bomba, empleada en el sector 3	37
Figura 18.	Tarifas de acceso	38
Figura 19.	Costes tarifa Open 3.0 TD	43
Figura 20.	Caudal a la salida de la bomba Línea 1	44

Figura 21.	Presión a la salida de la bomba (Línea 1).....	45
Figura 22.	Caudal a la salida de la bomba Línea 2.....	46
Figura 23.	Presión a la salida de la bomba (Línea 2).....	47
Figura 24.	Caudal a la salida de la bomba Línea 2.....	48
Figura 25.	Presión a la salida de la bomba (Línea 2).....	49
Figura 26.	Volúmenes m ³ de regado por mes.....	50
Figura 27.	Resumen del presupuesto	52

Resumen

La optimización del uso de energía y agua en el sector agrícola es fundamental para abordar los desafíos de la sostenibilidad y el cambio climático. En este contexto, el presente estudio se centra en la Comunidad de Regantes de Villarreal, Castellón, España, con el objetivo de mejorar la eficiencia energética de redes de riego a presión mediante el ecodiseño.

Se resalta la importancia de una topología óptima desde el punto de vista energético para mantener la presión de la red cercana a los estándares establecidos, evitando en la medida de lo posible los excesos de presión. Para lograr esto, se propone la sectorización y centralización de los cabezales, que permite ajustar mejor la presión suministrada a los hidrantes y, por tanto, reducir el consumo energético del sistema.

El estudio se apoya en el modelo matemático del sistema y evalúa diferentes escenarios, utilizando como referencia el trazado actual de las redes en las comunidades de regantes de Villarreal (Solaes, Cariñena y Cap de Terme). Se identifican acciones para mejorar la eficiencia energética, algunas de las cuales pueden contradecir los criterios de diseño tradicionales, pero respaldan las tendencias modernas de gestión sostenible.

Se consideran criterios de trazado para buscar soluciones que reduzcan costos, ajusten presiones y fomenten el ahorro energético. En resumen, este trabajo final de máster ofrece un enfoque práctico y aplicado para mejorar la eficiencia energética en la comunidad de regantes de Villarreal, contribuyendo así a un uso más sostenible de la red de riego.

Palabras claves: eficiencia energética, redes de riego, ecodiseño, sostenibilidad de servicios de agua.

Resum

L'optimització de l'ús d'energia i aigua en el sector agrícola és fonamental per a abordar els desafiaments de la sostenibilitat i el canvi climàtic. En este context, el present estudi se centra en la Comunitat de Regants de *Villarreal, Castelló, Espanya, amb l'objectiu de millorar l'eficiència energètica de xarxes de reg a pressió mitjançant l'ecodisseny.

Es ressalta la importància d'una topologia òptima des del punt de vista energètic per a mantindre la pressió de la xarxa pròxima als estàndards establits, evitant en la mesura que siga possible els excessos de pressió. Per a aconseguir això, es proposa la sectorització i centralització dels capçals, que permet ajustar millor la pressió subministrada als hidrants i, per tant, reduir el consum energètic del sistema.

L'estudi es recolza en el model matemàtic del sistema i avalua diferents escenaris, utilitzant com a referència el traçat actual de les xarxes en les comunitats de regants de Vila-real (*Solaes, *Cariñena i *Cap de *Terme). S'identifiquen accions per a millorar l'eficiència energètica, algunes de les quals poden contradir els criteris de disseny tradicionals, però recolzen les tendències modernes de gestió sostenible.

Es consideren criteris de traçat per a buscar solucions que reduïsquen costos, ajusten pressions i fomenten l'estalvi energètic. En resum, este treball final de màster oferix un enfocament pràctic i aplicat per a millorar l'eficiència energètica en la comunitat de regants de Vila-real, contribuint així a un ús més sostenible de la xarxa de reg.

Paraules claus: eficiència energètica, xarxes de reg, ecodisseny, sostenibilitat de servicis d'aigua.

Abstract

Optimizing energy and water use in the agricultural sector is critical to addressing the challenges of sustainability and climate change. In this context, this study focuses on the Irrigation Community of Villarreal, Castellón, Spain, with the aim of improving the energy efficiency of pressure irrigation networks through eco-design.

The importance of an optimal topology from an energy point of view is highlighted to keep the grid pressure close to the established standards, avoiding excess pressure as much as possible. To achieve this, the sectorization and centralization of the heads is proposed, which allows to better adjust the pressure supplied to the hydrants and, therefore, reduce the energy consumption of the system.

The study is based on the mathematical model of the system and evaluates different scenarios, using as a reference the current route of the networks in the irrigation communities of Villarreal (Solaes, Cariñena and Cap de Terme). Actions to improve energy efficiency are identified, some of which may contradict traditional design criteria, but support modern sustainable management trends.

Layout criteria are considered to find solutions that reduce costs, adjust pressures and promote energy savings. In summary, this final master's project offers a practical and applied approach to improve energy efficiency in the irrigation community of Villarreal, thus contributing to a more sustainable use of the irrigation network.

Keywords: energy efficiency, irrigation networks, eco-design, sustainability of water services.

1.- Introducción

1.1 Desarrollo de la interacción entre agua y energía

Desde el año 2002, España ha llevado a cabo una modernización significativa de sus sistemas de riego pasando del método tradicional de riego por gravedad a sistemas más eficientes como el riego localizado y por goteo. Este proceso fue impulsado por planes de modernización y políticas públicas que buscan optimizar el uso del agua y mejorar la sostenibilidad de la agricultura.

Ejemplos de estos planes son (Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación, n.d.) :

-Plan Nacional de Regadíos Horizonte (2002-2008): el plan tenía como objetivo modernizar y transformar las infraestructuras de riego para aumentar la eficiencia del uso del agua. Gracias a este plan, se modernizaron 1,5 millones de hectáreas y se transformaron otras 200.000 hectáreas, lo que permitió un ahorro anual de 3.000 hectómetros cúbicos de agua

-Plan de Choque (2006-2007): este plan regulaba las obras urgentes de mejora y consolidación de regadíos para paliar los daños causados por la sequía. Incluyó la modernización de infraestructuras y la implementación de nuevas tecnologías para mejorar la gestión del agua

El empleo de energía para el riego, Tabla 1, detalla la evolución del consumo de energía destinado al riego en España a lo largo de los años. Resulta evidente que, con los planes impulsados, la energía ha adquirido un papel preponderante como recurso primordial para la gestión del agua en el sector agrícola.

Tabla 1. Evolución del consumo de energía para riego en España

Año	Superficie (Miles Ha)	Uso de agua (HM³)	Consumo de agua (HM³)	Consumo de energía (GWH)
1900	1000	9000	5400	0
1930	1350	12150	7594	182
1940	1500	12750	8288	191
1950	1500	12375	8353	309
1970	2200	17600	12320	1056
1980	2700	20925	14648	2093
1990	3200	24000	17400	3480
2000	3410	23870	18499	4893
2007	3760	24440	20163	5866

Fuente: (Corominas, 2010)

Se puede relacionar esta evolución del consumo de energía con otros datos como el de la Figura 1, existe una correlación entre el uso cada vez mayor del regadío localizado, teniendo este mismo (el consumo energético unitario más elevado 0,24 kWh/m³) (Hardy & Garrido, 2010).

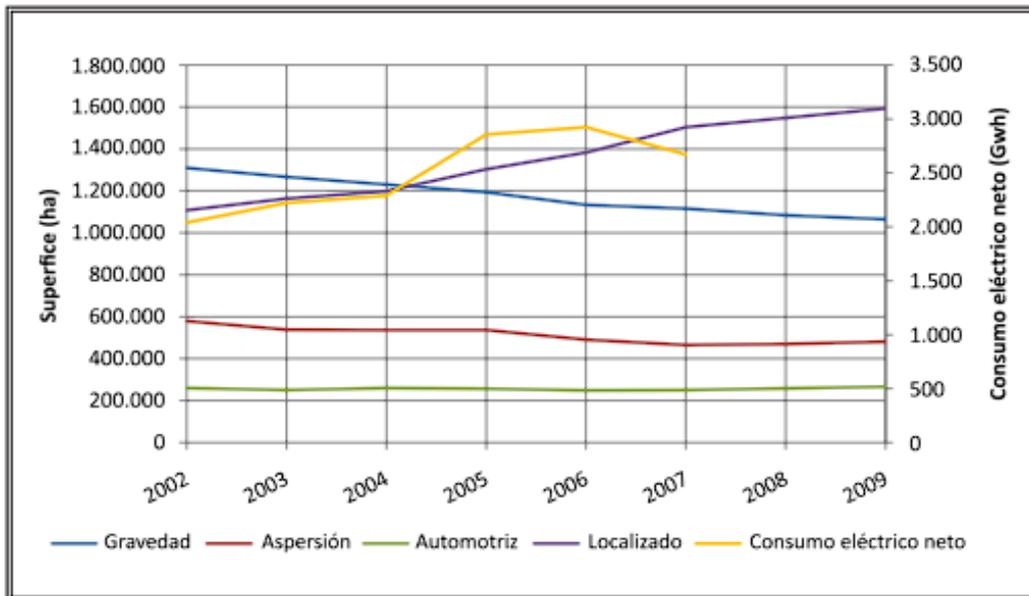


Figura 1. Evolución conjunta del regadío español con el consumo eléctrico neto.
Fuente:(Hardy & Garrido, 2010)

Sin embargo, este progreso no ha estado exento de desafíos y consecuencias negativas. La explotación indiscriminada de recursos energéticos e hídricos ha dado lugar a la degradación ambiental, la escasez de agua y la emisión de gases de efecto invernadero, contribuyendo al cambio climático y poniendo en riesgo la sostenibilidad de los ecosistemas y la vida humana en el planeta.

La agricultura enfrenta desafíos sin precedentes en la actualidad. La creciente demanda de alimentos junto con la escasez de recursos requiere una transformación que permita aumentar la productividad con menos recursos, al mismo tiempo que se minimiza el impacto ambiental y se contrarrestan los efectos del cambio climático.

1.2 Uso del agua y la agricultura en España

Se estima que en España un 79,1% del recurso hídrico se lo lleva la agricultura y la ganadería (Caballero, 2024), la zona de estudio que se ubica entre los municipios de Villarreal y Burriana atraviesa gran parte de la cuenca hidrográfica Júcar donde el uso principal del agua es en el sector agrario como lo demuestra la Figura 2.

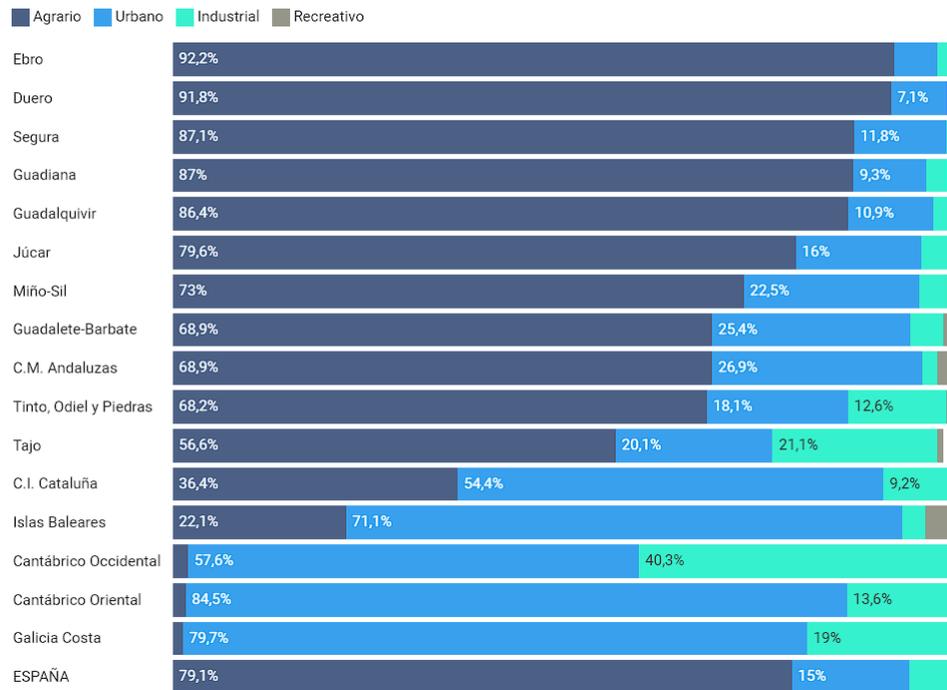


Figura 2. Usos principales del agua en las cuencas hidrográficas peninsulares

Fuente: (Caballero, 2024)

El uso del agua en la agricultura está estrechamente vinculado a la energía necesaria para su extracción, bombeo, distribución y aplicación en los campos. En España, donde la agricultura es una parte vital de la economía, esta relación es particularmente relevante. La gestión eficiente de ambos recursos es crucial para la sostenibilidad del sector agrícola y para la preservación de los recursos naturales. Por ejemplo en otras bibliografías como en (Europeo & Directiva, 2008) menciona que el uso principal se lo lleva la agricultura con un 75 % del total.

1.2.1 Energía para bombeo de agua

En España, el bombeo de agua para riego representa una de las principales demandas energéticas en el sector agrícola. La extracción de agua de pozos, ríos y embalses y su distribución a través de redes de riego requiere una cantidad significativa de energía. Los sistemas de bombeo modernos, si bien son más eficientes que sus predecesores, aún consumen grandes cantidades de electricidad o combustibles fósiles. En este contexto, la adopción de tecnologías más eficientes y la optimización de los sistemas de bombeo pueden resultar en ahorros significativos de energía y costos operativos.

Es parte fundamental, innovar los sistemas de bombeo, cuidar al máximo las pérdidas que puedan existir en los sistemas, y seleccionar bombas que sean eficientes, algunas bibliografías relacionan la parte crucial de la sectorización para evitar los derroches de energía, en (Rocamora Osorio & Energía, 2008) los puntos críticos de consumo energético de redes de distribución se encuentran tanto en las captaciones como en las estaciones de bombeo que suministran la presión necesaria a la red de distribución.

1.2.2 Sistemas de riego y eficiencia energética

De acuerdo con (Molecor, 2023) los sistemas de acequias y canales abiertos han quedado obsoletos y deben sustituirse por sistemas de gestión de los recursos hídricos más modernos y eficientes que aprovechen hasta la última gota de agua. La eficiencia energética de los sistemas de riego depende en gran medida del diseño y la gestión de la infraestructura. Los sistemas de riego por goteo, por ejemplo, son más eficientes en el uso del agua y la energía que los sistemas de riego por aspersión en el estudio para el regadío de Villarreal el sistema que se utiliza para el riego es el riego por goteo. El riego por goteo aplica el agua directamente a la raíz de las plantas, reduciendo la evaporación y el desperdicio, y requiere menos presión y, por lo tanto, menos energía para funcionar.

Algunas de las ventajas del riego por goteo mencionadas por la Comunidad de Regantes de Villarreal son las siguientes(Vila-real, n.d.):

- Mejorar la utilización del agua en calidad y cantidad, consiguiendo la regularización del riego y la reducción del consumo de agua (cifrada en un 30%).
- Minimizar el coste de explotación mediante una distribución automatizada del agua y abono, reduciendo los costes de mano de obra.
- Evitar la contaminación de acuíferos por precolación de nitratos al disminuir la cantidad de unidades fertilizantes aplicadas por una distribución controlada del abono a través del agua.
- Optimizar y mejorar los recursos humanos mediante la automatización del sistema en lo que se refiere a recursos de gestión y administración, distribución de agua, gastos de explotación y medios técnicos.
- Modernizar los trabajos lo que comporta una mejor calidad de vida de los regantes, por favorecer en gran medida las condiciones de su trabajo.

En contraste, los sistemas de riego por aspersión necesitan más presión para distribuir el agua a través de los aspersores, lo que incrementa el consumo energético.

1.2.3 Energías renovables en la agricultura

La incorporación de energías renovables, como la solar y la eólica, en la agricultura española está ganando tracción como una estrategia para reducir la dependencia de la red eléctrica convencional y disminuir los costos energéticos, con la centralización de los cabezales es posible el planteamiento en desarrollos futuros de instalar paneles solares, además se cuenta con espacio suficiente. Los paneles solares fotovoltaicos pueden instalarse en terrenos agrícolas o sobre infraestructuras de riego para proporcionar una fuente de energía limpia. Un ejemplo que la energía solar fotovoltaica es viable en España es el que demuestra la Figura 3.

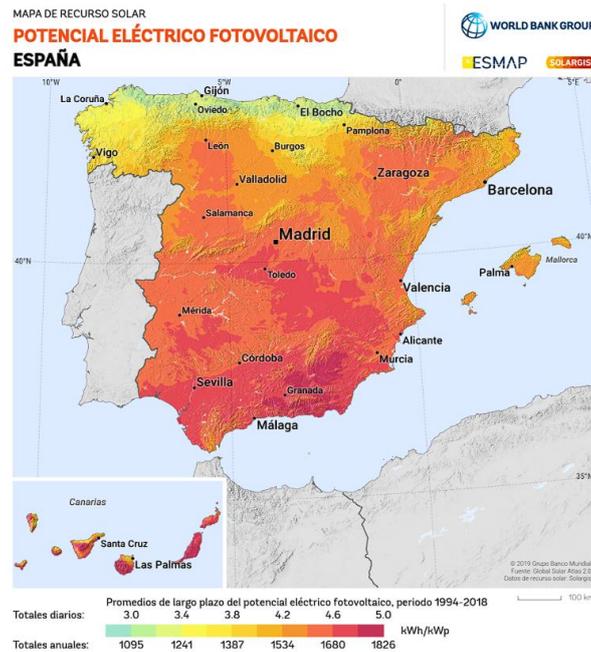


Figura 3. Potencial eléctrico fotovoltaico en España
Fuente: (Grupo Banco Mundial)

De manera similar, las turbinas eólicas pueden aprovechar los vientos locales para generar electricidad. Estas soluciones no solo reducen la huella de carbono de las operaciones agrícolas, sino que también mejoran la sostenibilidad económica de las explotaciones al reducir los costos de energía.

1.2.4 Gestión integrada de recursos hídricos y energéticos

En España, para asegurar que la agricultura sea eficiente y sostenible requiere gestionar de manera inteligente tanto el agua como la energía. Esto significa utilizar tecnologías modernas, como sensores de humedad del suelo y sistemas de riego automáticos, que nos ayuden a usar el agua de manera precisa, sin desperdiciarla, y al mismo tiempo, optimizar el uso de la energía. Las estrategias de adaptación al cambio climático pueden exigir cambios más drásticos en el modo en que la agricultura, la industria y los asentamientos humanos se manejan en general (Sadoff Claudia, 2010).

1.2.5 Desafíos y oportunidades:

Uno de los principales desafíos en la agricultura española es equilibrar la demanda de agua para riego con la disponibilidad de energía sostenible. Las fluctuaciones en el suministro de agua debido a la variabilidad climática y las sequías

recurrentes aumentan la presión sobre los recursos energéticos necesarios para el riego. Sin embargo, esto también presenta oportunidades para innovar en el diseño y la gestión de los sistemas de riego. La implementación de criterios de ecodiseño y la adopción de tecnologías eficientes pueden transformar la forma en que se gestionan los recursos hídricos y energéticos en la agricultura.

1.2.6 Intensidad energética en España

En el contexto actual de cambio climático y escasez de recursos hídricos, la eficiencia en la gestión del agua para riego se ha convertido en una prioridad estratégica a nivel global. En este sentido, la intensidad energética, medida en kilovatios hora por metro cúbico (kWh/m^3), es un indicador crucial que refleja la cantidad de energía utilizada para extraer, transportar y distribuir agua en los sistemas de riego. Este indicador es fundamental para evaluar la sostenibilidad y eficiencia de estos sistemas. Siendo específicos en el caso del regadío, la componente energética (kWh/m^3), ha aumentado hasta $0.34 \text{ (kWh/m}^3\text{)}$ en el año 2008, con respecto a $0.15 \text{ (kWh/m}^3\text{)}$ en el año 1990 (Corominas, 2010), la intensidad energética en el riego ha sido objeto de diversos estudios que reflejan una amplia variabilidad según el tipo de cultivo, tecnología empleada y región geográfica. Proyectos específicos, como el uso de bombes fotovoltaicos en el Valle de Almanzora, demuestran el potencial de las energías renovables para reducir la dependencia de fuentes energéticas convencionales y disminuir la huella de carbono de las actividades de riego (Distribuci et al., n.d.).

1.2.5 Caso de Estudio: Comunidad de Regantes de Villarreal:

En la Comunidad de Regantes de Villarreal, en Castellón, se busca aplicar estos principios para mejorar la eficiencia energética y la sostenibilidad de los sistemas de riego. El proyecto implica la optimización del diseño de las redes de tuberías. Estos esfuerzos no solo buscan reducir el consumo de energía, sino también asegurar una distribución equitativa y eficiente del agua, preservando los recursos hídricos para las futuras generaciones.

2.- Objetivo

Los objetivos del presente estudio están definidos de la siguiente manera:

- Primero identificar el estado actual de la red, identificando a que intensidad energética trabaja, por tanto, desde aquí con este resultado se tiene un punto de partida.
- Proponer un enfoque de diseño basado en el eco-trazado para optimizar la eficiencia energética. La importancia de este enfoque radica en la necesidad de encontrar soluciones innovadoras y sostenibles para enfrentar los desafíos actuales relacionados con el uso de recursos naturales y la mitigación del cambio climático en el sector agrícola.
- Planificar y trazar nuevas líneas de distribución de agua que minimicen el consumo energético asociado con el bombeo de agua para riego. Al emplear técnicas de eco-trazado, se busca optimizar la configuración de las redes de distribución, teniendo en cuenta aspectos como la topografía del terreno, la distancia entre puntos de extracción y uso de agua, y la demanda de agua de los cultivos, además de una buena selección en lo grupos de bombeo para que trabajen con la mejor eficiencia posible.
- Considerar aspectos relevantes, como el coste de instalación de las nuevas infraestructuras, hacer un diseño óptimo con la elección de diámetros óptimos de diseño, y la capacidad de mantener una presión mínima requerida para garantizar un suministro adecuado de agua a los cultivos.
- Proponer desarrollos futuros, y plantear alternativas apoyadas con los resultados de este estudio que sirvan para futuras líneas de investigación.

3.- Antecedentes

La gestión de sistemas de distribución de agua ha evolucionado significativamente, especialmente en el contexto de crecientes demandas y restricciones ambientales. Un aspecto crítico en el diseño y operación de estos sistemas es asegurar que el agua se suministre a una presión adecuada en todos los puntos de consumo. Este objetivo es fundamental para garantizar la eficiencia operativa, minimizar el consumo energético y reducir los costos de mantenimiento. En (Pramod R., 1983) la red óptima será aquella en la que su diseño no esté fijo a priori sino que se permita variar para obtener la solución óptima.

En el diseño de la red de distribución, es crucial establecer diferentes sectores de riego, asegurando que cada sector abastezca a los hidrantes ubicados a una altitud similar y sea alimentado por un equipo de bombeo independiente. Así, cada grupo de bombeo consume la cantidad de energía requerida por el sector específico al que suministra agua, logrando así un uso eficiente de la energía (Rocamora Osorio & Energía, 2008).

Por ejemplo, el Proyecto de Distribución de Agua con Bombeo Fotovoltaicos en el Valle de Almanzora, que tiene como objetivo la utilización de aguas no convencionales para el abastecimiento de varias comunidades de regantes mediante el uso de bombes fotovoltaicos. Incluyendo la implantación de energías renovables y un sistema de automatización y telecontrol para optimizar la gestión de riegos y energía (Distribuci et al., n.d.), pero no contempla en sus alternativas realizar eco-trazados para rediseñar la red, toman en cuenta diámetros energéticos e hidráulicamente más eficiente, pudiendo ser el caso de diámetros óptimos pero no con el mismo planteamiento del presente estudio.

Los eco-trazados representan una estrategia para diseñar redes de distribución de agua que se aproximen lo máximo posible a suministrar agua a la presión de servicio requerida. A través del uso de modelado hidráulico, sectorización, tecnologías de control, es posible optimizar la operación del sistema, reducir el consumo energético y mejorar la sostenibilidad. Estos antecedentes destacan la importancia de un diseño cuidadoso y adaptativo en la gestión de recursos hídricos y energéticos.

4.- Zona de estudio

4.1 Delimitación de regadío

El presente estudio se realizará en las cercanías de los municipios de Villarreal y Burriana, como se puede apreciar en la Figura 4. Villarreal se encuentra al norte, atravesado por la carretera N-340, conocida en la antigüedad como la Vía Augusta, la calzada romana más extensa de la Hispania romana, con una longitud aproximada de 1500 km. Por su parte, Burriana se ubica en el lado sur, junto a la carretera CV-18. Ambos municipios forman parte de la provincia de Castellón, en la región de la Comunidad Valenciana en el ANEXO 1 Zona de estudio se ve a detalle los sectores de riego y su ubicación.

Por ejemplo, en la Figura 4 delinea las áreas de estudio en zonas específicas. Solaes limita con las acequias Mayores de Villarreal y Burriana, así como con el río Mijares y el Camino Viejo de Burriana. Cariñena se delimita con el término de Burriana, el río Seco, Acequiola y el Camino Viejo de Burriana. Cap de Terme, por otro lado, limita con la Acequia de Arriba, el Riu Sec, y los términos de Nules y Burriana.

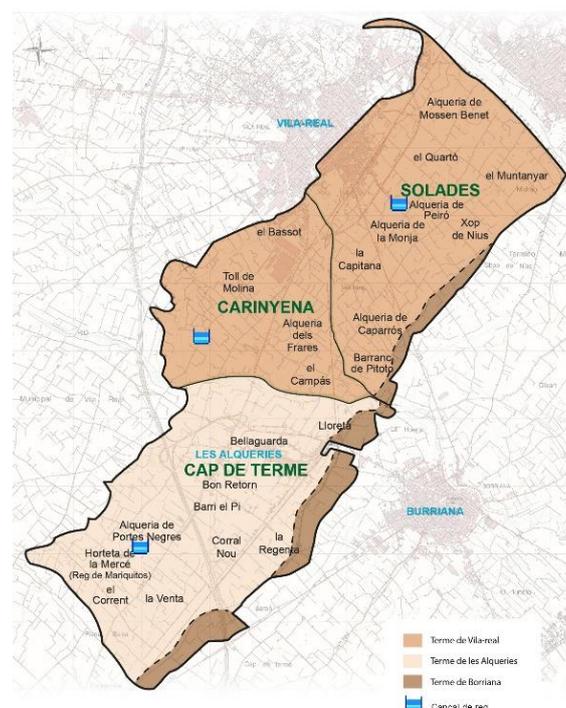


Figura 4. Zona de estudio delimitado por cada sector
Fuente: https://www.regvila.com/riego_comunidad

La principal explotación de esta zona es para riego por goteo, en total la superficie a regar es aproximadamente de 20,000 hanegadas. En la Tabla 2 se muestra a modo de resumen lo que actualmente hay en la zona de regadío que son los elementos que gestionar dentro del riego localizado.

Tabla 2. Elementos que gestionar dentro del riego localizado en la comunidad de regantes de Villarreal

Elementos que gestionar actualidad
3 EMBALSES CON UN TOTAL DE 50.000 M ³ DE CAPACIDAD.
2.500 KWA DE POTENCIA.
240 M ³ DE SILOS DE ABONO.
CAPACIDAD DE FILTRADO 6000 M ³ /H.
300 KILOMETROS DE TUBERÍAS.
1200 CASSETAS HIDRANTES.
1200 FILTROS EN HIDRANTES.
12000 CONTADORES.
9000 ELECTROVALVULAS.
1500 VALVULAS VENTOSAS

Fuente: https://www.regvila.com/riego_goteo

4.2 Captación de agua y estación de bombeo

La acequia se utilizará como balsa de regulación, elevándose 1.5 metros. Para este estudio, se asumirá que la cota de la lámina de agua en la cabecera es de 43 metros. La parcela destinada para la estación de bombeo está ubicada en la intersección de la carretera N-340 y la Avenida Franca. En la Figura 5 se delimita el área de la parcela que se utilizará para la estación de bombeo, desde la cual se extraerá el agua.

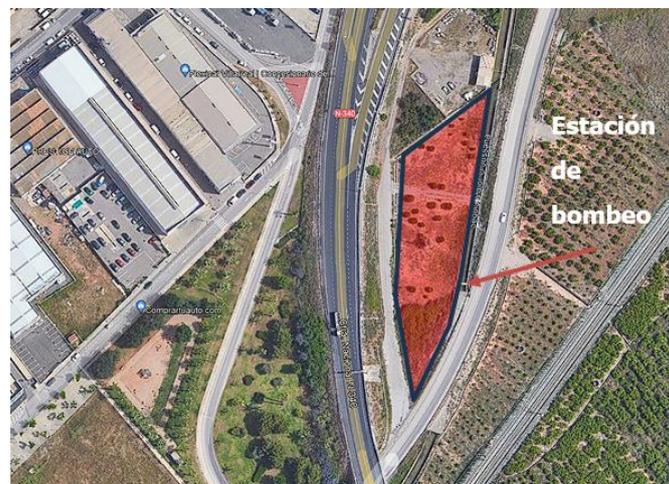


Figura 5. Ubicación de la estación de bombeo

Fuente: Google Earth

4.3 Acequia mayor

Para la instalación de las tuberías que transportaran el agua hacia las nuevas líneas se utilizará la Acequia mayor de Villarreal, en la Figura 6 se marca en rojo por donde albergara la instalación de estas tuberías.



Figura 6. Acequia mayor que atraviesa por Villarreal
Fuente: elaboración propia

5.- Metodología

Partiendo de los datos de entrada relacionados con las demandas, horas de funcionamiento y ortofotos, se inicia el estudio mediante un modelo matemático que contenía los nudos, las tuberías y algunos elementos del regadío actual que después será alimentado con las demandas correspondientes a los nudos. Primero, se identifican los fallos que pueda tener el modelo, para posteriormente corregir esos errores, lo que resulta posicionarlo adecuadamente trasladando las coordenadas. Una vez corregido, se procede a proponer un eco-trazado para definir nuevos sectores, asignando demandas y patrones que resulten en caudales constantes. Se realiza el dimensionado de las tuberías que abastecerán las nuevas líneas de trabajo y se sugieren bombas para cada sector que cumplan con la presión de servicio de 15 mca en cada nudo de los sectores. Finalmente, se efectúa el cálculo del análisis energético y de los costes, considerando las horas de trabajo de las bombas en cada sector para abastecer las demandas correspondientes durante un año.

5.1 Datos

Como punto de partida principal se reúne la información necesaria para aplicar la metodología de trabajo, se divide en dos grandes competentes esta información:

1. Datos para evaluar la red: estos datos son los que son proporcionados por la comunidad de regantes, los datos de demandas, los datos de operación, horas de riego, etc.
2. Programa de simulación hidráulica: EPANET (Environmental Protection Agency).

Se toman consideraciones o hipótesis para el modelo, de cara a los resultados que se obtienen, por ejemplo, la primera consideración es no tomar en cuenta las pérdidas por fugas, al no tener los datos suficientes, no se contemplan en este modelo, se tiene información que las pérdidas por fugas son el 3% pero al no disponer la información suficiente se emplea esta hipótesis. La otra hipótesis es tomar en cuenta que la rugosidad es de 0,1 en tuberías de PVC utilizadas en este estudio, para el estudio no se contempla la variación de la rugosidad a lo largo de los años, por eso se utiliza un dato conservador, pensar en valores mayores puede resultar un sobre dimensionamiento quedando con ese valor para este estudio.

5.2 Modelo

Se define el modelo, desde EPANET, con las siguientes características como se muestran en la Tabla 3. Partiendo de este modelo inicial primero se ajusta la definición del sistema corrigiendo los errores que pueda tener y después se realizan los cálculos hidráulicos.

Tabla 3. Elementos iniciales del modelo

Nudos	1198
Tuberías	1197
Depósitos	1
Embalses	2
Estación de bombeo	1
Bombas	3

Fuente: Elaboración propia

5.3 Traslado de coordenadas del modelo

Se examinan las altitudes y las coordenadas espaciales para determinar la ubicación de las tuberías. El modelo original la red de riego presentaba un desplazamiento significativo con respecto a la realidad. Por lo tanto, fue necesario realizar una corrección, trasladando las coordenadas para rectificar este error. La Figura 7 ilustra visualmente el efecto de este proceso antes y después de su aplicación.



Figura 7. Traslado de coordenadas antes y después (regadío de Villarreal)

Fuente: elaboración propia

Para hacer las correcciones de las coordenadas se trabaja el modelo hidráulico cargado en EPANET, se exporta de EPANET a un formato .dxf (Drawing Exchange File) y se ejecuta en Civil3D. Posteriormente para abrirlo en QGIS se exporta la red desde EPANET en formato (.INP). Esto permite visualizar el modelo en ambos programas, cada uno con sus características distintivas (Martinez Alzamora, 2019). Actualmente, con el nuevo complemento Qgisred, es posible cargar cualquier archivo INP en el modelo de datos, exportarlo a archivos CSV y, de acuerdo con el modelo relacional, mostrar las capas en el mapa. En este estudio en particular, se realizan las visualizaciones correspondientes mediante QGIS, utilizando este complemento como ayuda.

Se toma como referencia 4-5 puntos en coordenadas UTM que se obtiene mediante el visor de QGIS. Se utilizan las fórmulas de traslación y rotación de coordenadas. Las fórmulas empleadas son las siguientes:

$$X' = X \cos \alpha + Y \sin \alpha \quad (\text{Eq. 1})$$

$$Y' = -X \sin \alpha + Y \cos \alpha \quad (\text{Eq. 2})$$

$$X'' = a + c X' \quad (\text{Eq. 3})$$

$$Y'' = b + d X' \quad (\text{Eq. 4})$$

Se calcula el centroide de los sectores que presentaban desplazamientos. Luego, utilizando estos centroides como referencia, se transforman las coordenadas actuales a coordenadas relativas. Las operaciones de giro y desplazamiento se realizan utilizando estas coordenadas relativas, y posteriormente se suman los centroides para convertirlas nuevamente a coordenadas UTM.

Se determinan las variables de Alpha, a y b, mientras que para c y d se toman valores de 1 con el fin de simplificar el cálculo. La Tabla 4 ilustra un ejemplo de la aplicación de este procedimiento. Este proceso se aplica en cada sector, utilizando de 4 a 5 puntos de referencia.

Para finalizar se calcula el centroide tanto para los nodos como para los vértices de las tuberías. Toda la información se trabaja a través del archivo (.inp) junto con el editor de EPANET y se realizaron los cálculos en Excel.

Tabla 4. Giro y desplazamiento de coordenadas

Coord Actuales		Coord Relativas		Giro		Desplazamiento		Nuevas coordenadas		Coord Deseadas		Error
X	Y	x	y	x'	y'	x''	y''	X''	Y''	X ref	Yref	
745449.7	4421387.7	23.2	-16.1	23.3	-16.0	9.7	-30.0	745436.2	4421373.9	745435.8	4421374.1	0.457
745433.4	4421415.4	6.9	11.5	6.9	11.6	-6.7	-2.4	745419.7	4421401.5	745419.8	4421401.4	0.096
745419.7	4421409.3	-6.8	5.4	-6.8	5.4	-20.5	-8.6	745406.0	4421395.3	745405.7	4421395.6	0.448
745403.1	4421403.0	-23.4	-0.8	-23.4	-1.0	-37.0	-15.0	745389.5	4421388.9	745389.5	4421388.9	0.015
745426.5	4421403.9											1.0
Centroide												Suma

Fuente: elaboración propia

5.4 Propuesta de eco-trazado

Se realiza el análisis de las cotas a partir del modelo corregido, para definir las nuevas líneas de trazado. Se evalúa la posibilidad de establecer 3, 4 o 5 niveles, considerando que un mayor número de líneas de separación reduce la diferencia de cotas. Sin embargo, para este estudio, se establecen 3 líneas. La definición de estas líneas se basa en la ubicación prevista para las nuevas tuberías, tomando como referencia principal la acequia mayor y las cotas de los hidrantes. La Figura 8 muestra un mapa de cotas que ilustra estos aspectos. El mapa de cotas sirve para definir las nuevas líneas de trabajo. Finalmente quedan definidos los nuevos sectores, en la Figura 9, 10 y 11 son los correspondientes.

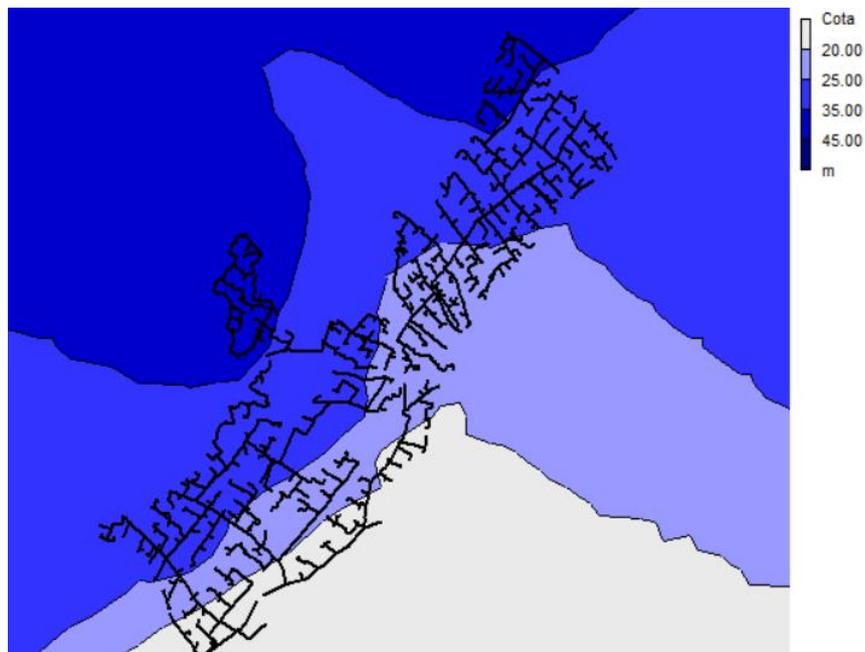


Figura 8. Mapa de contorno de cotas en regadío de Villarreal

Fuente: Epanet

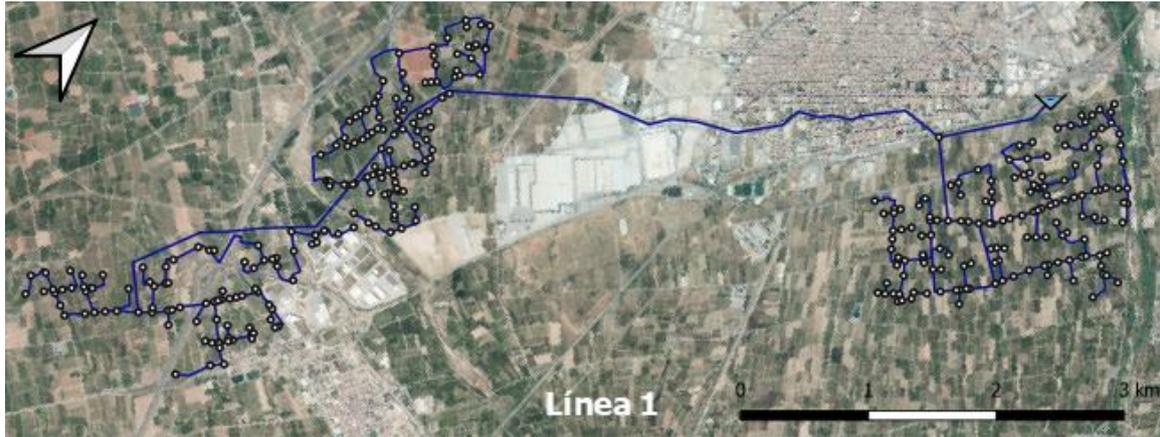


Figura 9. Línea 1
Fuente: Elaboración propia

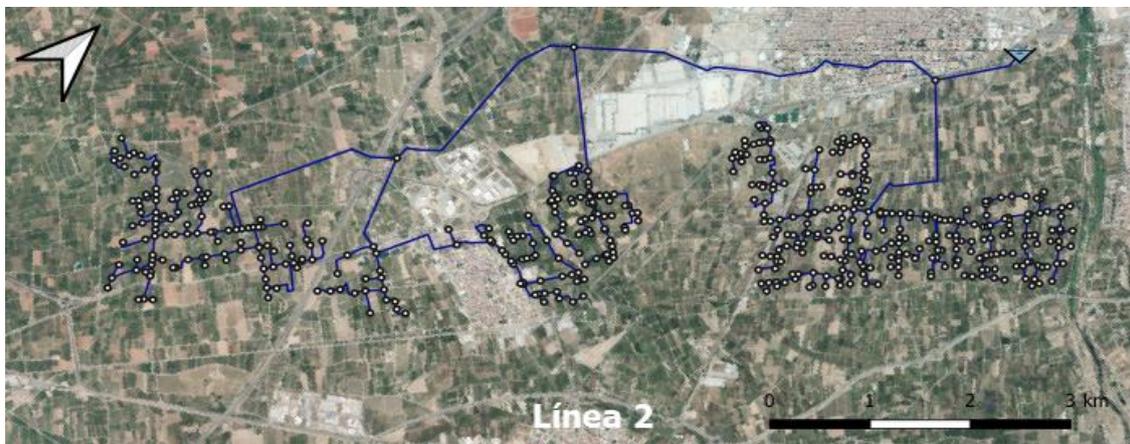


Figura 10. Línea 2
Fuente: Elaboración propia

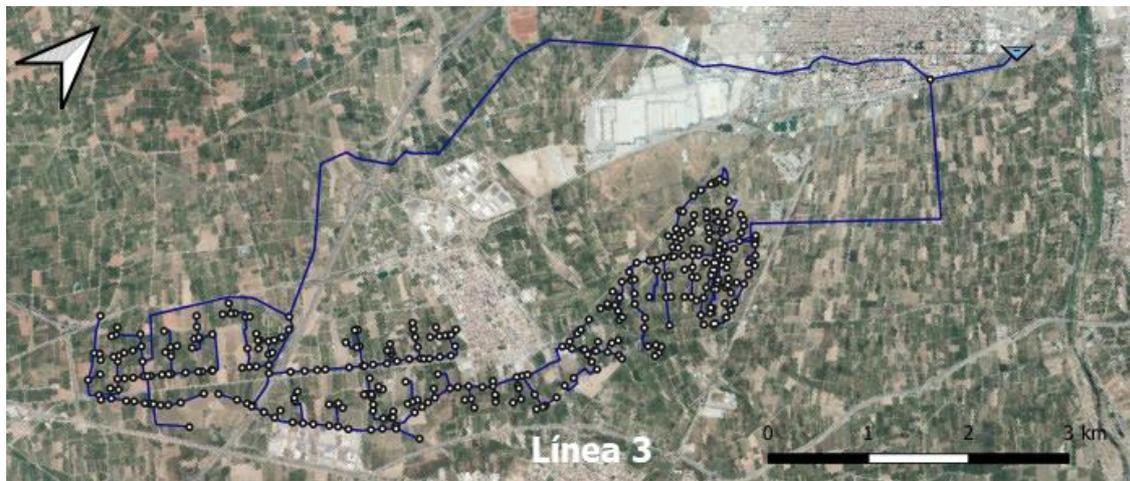


Figura 11. Línea 3
Fuente: Elaboración propia

Previo al trazado de las nuevas líneas, se lleva a cabo un análisis de elevaciones para determinar las características esenciales, además se toma en cuenta la tipología de la red para los nuevos sectores a dividir. Se establece un rango de variación de elevación entre 11 y 16 metros, entre los nodos con distintas alturas, se parte desde la zona con cota menor hacia la mayor. Este rango de variación es debido al trazado de la red, la topología de la red existente limita a definir los sectores, además se cuidaba no hacer cortes que implique proponer nuevas tuberías que fueran necesarias dentro de cada sector.

- línea 1:
 - Conexión CT3841 -> Cota: 27.05m
 - Conexión S1182 -> Cota: 42.50m
 - Diferencia de nivel= 15.45m
- línea 2:
 - Conexión CT3754 -> Cota: 21.14m
 - Conexión CT3715 -> Cota: 33.28m
 - Diferencia de nivel= 12.14m
- línea 3:
 - Conexión CT3997 -> Cota: 14.39m
 - Conexión S1389 -> Cota: 26.06m
 - Diferencia de nivel= 11.674m

Para los cortes de los sectores, es importante considerar cómo se dividen los sectores ya definidos. Tomar en cuenta las cotas es fundamental para saber que nudos son parte del nuevo sector. Además, se deben considerar factores como el cruce de carreteras y la instalación de tuberías en la acequia, como se mencionó anteriormente, haber realizado el traslado de coordenadas y trabajar con el mapa base (una ortofoto de la zona) en el modelo en EPANET facilito el proceso para realizar la sectorización y proponer las nuevas conducciones.

5.5 Demandas y patrones de consumo

Se establece cuatro turnos de riego, cada uno con una duración de dos horas, en la zona se riega 8 horas al día (turno de trabajo), además para el análisis energético se trabaja en horas valle, por tanto, minoriza el coste. Dependerá del regadío la manera de definir sus turnos de riego, cada sistema establece las horas de riego dependiendo diversos factores como la zona de trabajo, las estaciones del año o incluso las horas de trabajo.

Para trasladar la información al modelo primero se toma en cuenta que los caudales en cada turno deben ser iguales, manteniéndose estables a lo largo del tiempo en los turnos de riego. A partir de la información de las demandas se hace el cálculo de los turnos que posteriormente esa información es insertada al modelo.

Tabla 5. Comprobación del cálculo de patrones de consumo

SECTOR SOLAES						TOTAL	174.861	175.347	175.694	175.833
HIDRANTE		POR HORA	L/S	DEMANDA MEDIA	TURNO	PATRON	Q1	Q2	Q3	Q4
1125	VALVULA1	5.5	1.53	2.2222	1	0.688	1.53	0.00	0.00	0.00
	VALVULA2	17.5	4.86		2	2.188	0.00	4.86	0.00	0.00
	VALVULA3	1	0.28		3	0.125	0.00	0.00	0.28	0.00
					4	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

Con la asignación correcta de los patrones se comprueba todos los caudales en la simulación en cada turno sean iguales para optimizar la energía en el sector, lo cual permitirá que las bombas trabajen de manera más eficiente en consecuente reduciendo los gastos energéticos, contribuye además a darle una estabilidad a las líneas propuestas.

5.6 Dimensionado de tuberías desde cabezal hacia los sectores con el método de la pendiente óptima (Jo)

El cálculo del dimensionado de las tuberías se realiza con la fórmula empleada para la pendiente óptima que es usada en el artículo "Cálculo de nivel económico de fricción en sistema de aguas presurizados", llamado como el nivel económico de fricción, Economic Level of Friction (EFL) (Cabrera et al., 2018). Como menciona en (Cabrera et al., 2021) la base de este indicador es determinar desde una óptica económica que contemple tanto los costes de instalación (relacionados con el coste del material de la tubería y su instalación) como los costes de operación (costes asociados a la energía). El nivel medio de fricción óptimo del sistema, J_o , se calcula con la siguiente expresión:

$$J_o = (0.0826f)^{\frac{c}{5+c}} Q^{\frac{2c-5}{5+c}} \left[\frac{0.2c \cdot F_i \cdot a_o(p) \cdot \eta_e \cdot \eta_p}{\gamma \cdot n \cdot h \cdot \bar{p}_e} \right]^{\frac{5}{5+c}}$$

(Eq. 5)

Donde:

J_o = pendiente óptima (m/km)

0.0826= constante adimensional de proporcionalidad.

f = factor de fricción, adimensional.

c = exponente, adimensional (m+n)

Q = caudal (m³/s)

F_i =el factor de instalación contempla los costes asociados a la tubería a excepción del coste del material, como son el transporte, montaje, reposición de pavimento y servicios afectados, entre otros, adimensional.

$a_o(p)$ = obtenida de la relación entre el precio de la tubería y su diámetro, adimensional.

η_e = rendimiento del equipo electrónico, adimensional.

η_p = rendimiento del equipo hidráulico, adimensional.

γ = peso específico del fluido (KN/m³)

n= vida útil en (años)

h= horas de funcionamiento al año.

pe= precio medio de la energía, incluye el impacto en el coste de la energía del término de potencia. Si la estación de bombeo funciona en diferentes periodos horarios con diferenciación de tarifa, se adoptará el valor medio. (€/kWh)

Los parámetros del coste de la tubería que son empleados en la fórmula de la pendiente óptima se obtienen de los costes de tubería y de instalación de un catálogo de Ingeniería, el tipo de tubería seleccionada es tubería PVC orientado de 12.5 atm, en la Figura 12 se puede ver la relación que existe entre el precio de la tubería y su diámetro.

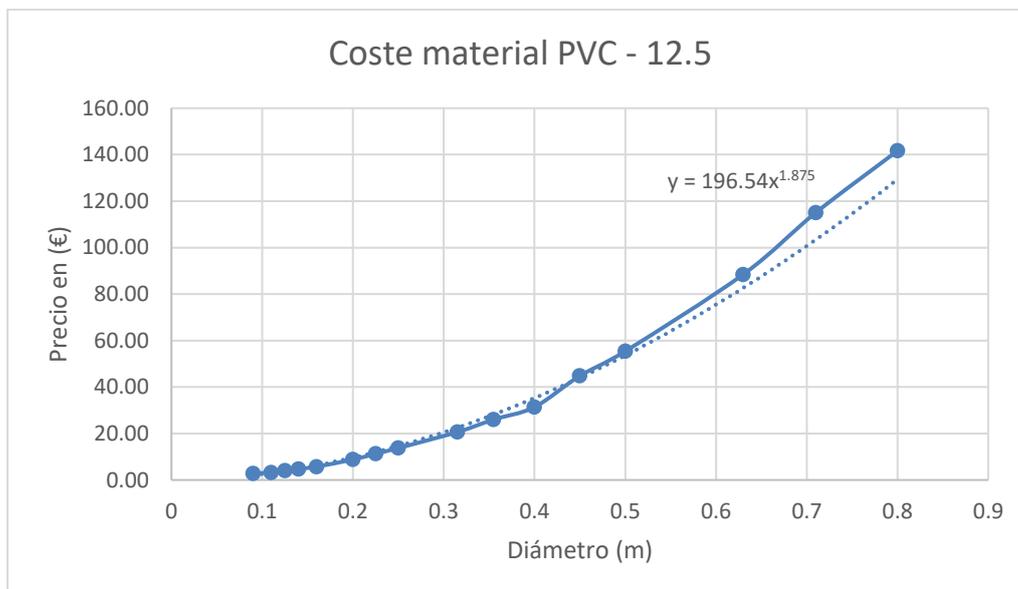


Figura 12. Coste material PVC-12.5 atm

Fuente: elaboración propia

Además, se calcula el factor de instalación (Fi) en la Figura 13 muestra la relación de Fi con el diámetro. El factor de instalación (Fi) es un coeficiente adimensional que ajusta la eficiencia teórica para reflejar las condiciones reales del sistema de distribución. Siendo el cociente del coste total entre el coste de tubería.

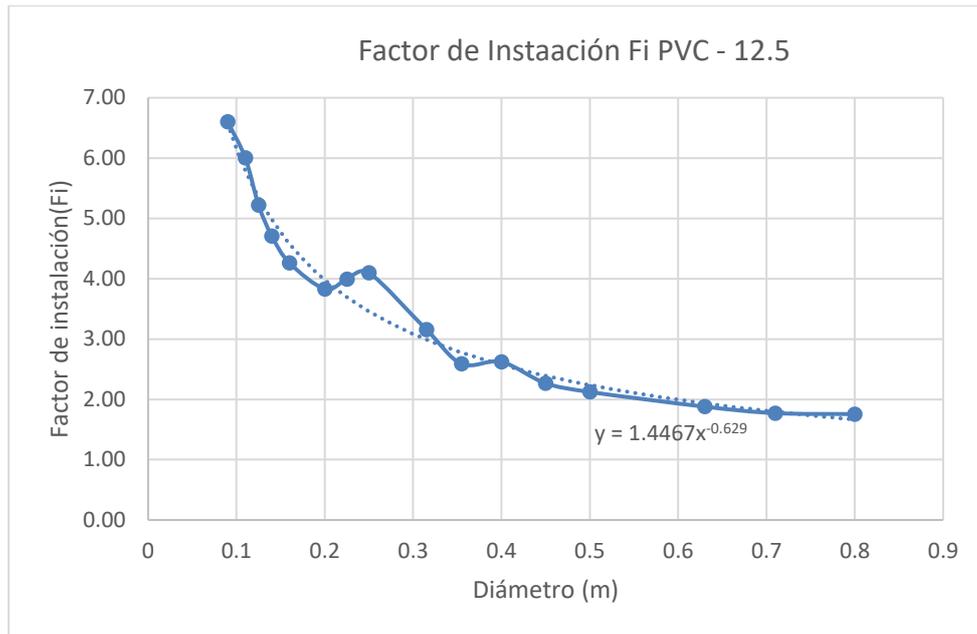


Figura 13. Factor de instalación en relación con el diámetro en (m)
Fuente: elaboración propia

Estos son parámetros para el cálculo de la pendiente óptima:

Tabla 6. Parámetros para el cálculo de la Jo

Parámetros					
Coste de la tubería		Coste energía		Variables de funcionamiento	
Ao	196.54	Pe	0.23 €/kWh	gamma	9.81 KN/m ³
m	1.875	n	50 años	f	0.02
Fi	1.4467	h	1492 h/año		
n	-0.629	Rendimiento	0.75		
c=m+n	1.246				

Fuente: elaboración propia

Se considera un precio de la energía promedio de 0.23 €/kWh, en base según los datos de Eurostat, como se muestra en la Figura 14 capturado de (eurostat, 2024), la tendencia va desde un mínimo de 0.11 hasta un 0.29 €/kWh, la vida útil de las tuberías de 50 años, se establece un rendimiento de 0.75 de los equipos y bomba y las horas de funcionamiento al año es un dato proporcionado por la Comunidad de Regantes de Villarreal esta variable resulta con mayor sensibilidad a la hora de calcular la pendiente óptima, cuando se trabajan menos horas resultan pendientes mayores, esto es, debido a que el sistema debe manejar el mismo volumen de agua en menos tiempo, por tanto el agua deberá moverse más rápido demandando pendientes mayores.

**Development of electricity prices for household consumers, EU,
2008-2023**
(€ per kWh)

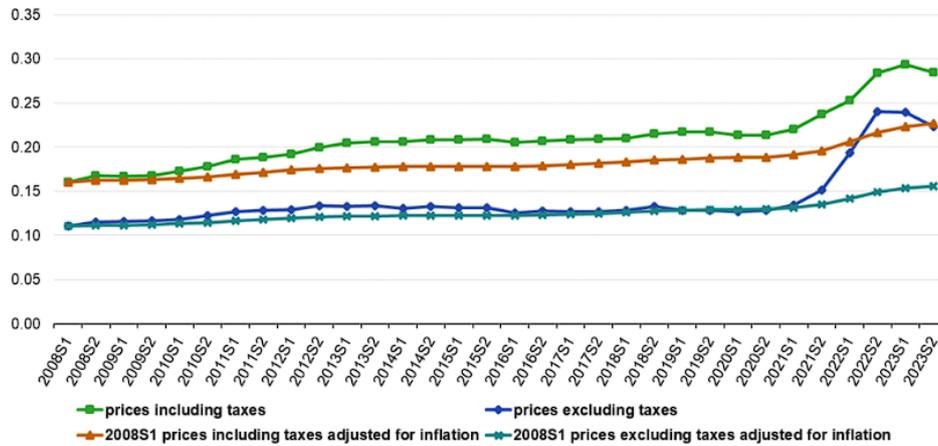


Figura 14. Precios de la electricidad para los consumidores domésticos - datos semestrales (desde 2007 en adelante).

Fuente: (eurostat, 2024)

Se aplica la formula de la pendiente óptima, con los caudales (promedio) que pasan por las nuevas líneas proyectadas desde la estación de bombeo nuevo. Esos caudales, como se muestra en la Tabla 7, se utilizan en el cálculo para encontrar la pendiente óptima, y con esa pendiente se calcula el diámetro óptimo.

Tabla 7. Caudales de los tramos nuevos

Linea	Tramo	Caudal promedio (LPS)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /h)
1	Inicio-Nodo SC	355.01	0.355	1278.044
	Nodo SC- Nodo CTC	179.68	0.180	646.856
	Nodo SC- Sector S	175.32	0.175	631.16
	NodoCTC-Sector C	66.51	0.067	239.452
	NodoCTC-Sector CT	113.17	0.113	407.42
2	Inicio-Nodo SCCT	538.87	0.539	1939.932
	Nodo SCCT-Nodo CTC	272.24	0.272	980.046
	Nodo CTC- Nodo CT	236.37	0.236	850.923
	Nodo CT-CT1	166.53	0.167	599.49
	Nodo CT-CT2	69.85	0.070	251.442
	Nodo CTC-C	35.87	0.036	129.114
3	Nodo SCCT-Sector Solaes	266.64	0.267	959.886
	Inicio- Nodo SCT	436.31	0.436	1570.716
	Nodo SCT- Nodo CT	322.78	0.323	1162.008
	Nodo SCT- Sector Solaes	113.53	0.114	408.708
	Nodo CT-CT1	88.26	0.088	317.745
	Nodo CT-CT2	234.52	0.235	844.263

Fuente: elaboración propia

Se obtienen los diámetros óptimos como se muestra en la Tabla 8, posteriormente se seleccionan los diámetros correspondientes en base a los diámetros óptimos calculados, en las 3 líneas como máximo diámetro nominal se establece el diámetro DN (800mm) que es el tamaño mayor utilizado para los cálculos de los parámetros obtenidos de coste de tubería, además, se toma en cuenta las dimensiones de la acequia si se utilizan diámetros mayores resultaría más compleja la instalación y un mayor coste económico. A partir del valor de la pendiente óptima y el caudal medio que circula por el tramo Tabla 7, se obtienen los valores del diámetro óptimo para las tuberías que alimentan las nuevas líneas con la siguiente ecuación empleada:

$$J_o = \frac{8f}{\pi^2 D_o^5 g} Q^2$$

(Eq. 6)

Jo= pendiente óptima, (m/km)

f= factor de fricción, adimensional.

pi= constante matemática pi.

Do= diámetro interior de la tubería (diámetro óptimo)

g=equivalente fuerza gravitatoria, m/s²

Q= caudal en el tramo, m³/s

Tabla 8. Cálculo del diámetro óptimo

Línea	Tramo	f	Caudal (m ³ /s)	Jo (m/km)	Do	DN (mm)	Dint (mm)
LINEA 1	Inicio-Nodo SCCT	0.02	0.355	0.666	792.64	800	760.4
	Nodo SCCT-Nodo CCT	0.02	0.180	0.875	571.52	630	598.8
	Nodo SCCT- Sector S	0.02	0.175	0.884	564.81	630	598.8
	NodoCCTC-Sector C	0.02	0.067	1.304	354.60	400	380.2
	NodoCCT-Sector CTT	0.02	0.113	1.054	457.72	500	475.2
LINEA 2	Inicio-Nodo SCCT	0.02	0.539	0.563	968.56	800	760.4
	Nodo SCCT-Nodo CTC	0.02	0.272	0.741	697.74	800	760.4
	Nodo CTC- Nodo CT	0.02	0.236	0.784	651.97	710	674.8
	Nodo CT-CT1	0.02	0.167	0.902	551.02	630	598.8
	Nodo CT-CT2	0.02	0.070	1.279	363.02	400	380.2
	Nodo CTC-C	0.02	0.0359	1.671	263.57	315	299.4
	Nodo SCCT-Sector Solaes	0.02	0.267	0.747	690.81	800	760.4
LINEA 3	Inicio- Nodo SCT	0.02	0.436	0.613	875.16	800	760.4
	Nodo SCT- Nodo CT	0.02	0.323	0.692	757.22	800	760.4
	Nodo SCT- Sector Solaes	0.02	0.114	1.052	458.41	500	475.2
	Nodo CT-CT1	0.02	0.088	1.164	406.20	450	427.7
	Nodo CT-CT2	0.02	0.235	0.786	649.51	710	674.8

Fuente: elaboración propia

5.7 Cálculo de altura mínima para las nuevas líneas

Para el cálculo de la altura mínima de servicio, la condicionante es dar servicio mínimo de 15 mca a cada hidrante o nudo, por tanto, para simular el comportamiento hidráulico de la red de distribución, se hizo mediante el programa EPANET, se calculan las pérdidas de carga a partir de la fórmula Darcy-Weisbach:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

(Eq. 7)

Donde:

h_f = pérdida de carga (para todo el tramo considerado) (mca)

g = aceleración de la gravedad (m/s^2)

L = longitud de la tubería (m)

D = diámetro de la tubería (m)

v = velocidad del flujo (m/s)

f = factor de fricción (adimensional)

Se realizó una simulación en EPANET para determinar el nudo más desfavorable. A partir del nudo más desfavorable, se obtuvo la altura mínima necesaria para cumplir con la presión mínima de servicio en los nudos, considerando una cota de lámina de agua de la acequia de 43 metros.

- **Línea 1:** altura mínima para cumplir servicio 23.33 m, el nudo más desfavorable es el **CT3454**.
- **Línea 2:** altura mínima para cumplir servicio 12.75 m, el nudo más desfavorable es el **CT3715**.
- **Línea 3:** altura mínima para cumplir servicio 8.75 m, el nudo más desfavorable es el **CT3532**.

5.8 Selección de grupo de bombeo para las líneas de trabajo

Con las alturas calculadas y los caudales de cada línea, se seleccionaron las bombas que operarán para la inyección directa a cada sector. Para la elección de las bombas, se utilizaron el catálogo de bombas ideal, la página web de KSB mediante la aplicación de selección de bombas (KSB EasySelect), y la página web de Grundfos.

Los datos para la selección de bombas:

Tabla 9. Datos para selección de grupos de bombeo

LINEA 1		
Q=	1278.04	m ³ /h
Hb=	23.22	m
LINEA 2		
Q=	1939.93	m ³ /h
Hb=	12.75	m
LINEA 3		
Q=	1570.72	m ³ /h
Hb=	8.75	m

Fuente: elaboración propia

Se obtienen las siguientes bombas que se presentan en la Tabla 10

Tabla 10. Datos principales de las bombas seleccionadas

LINEA 1			LINEA 2			LINEA 3		
Modelo	Gamma (300-435)		Modelo	KWP K (500-500)		Modelo	KWP K (400-400)	
Potencia	92.76	Kw	Potencia	78.26	Kw	Potencia	44.28	Kw
Potencia Máx	98.48	Kw	Potencia Máx	80.94	Kw	Potencia Máx	44.29	Kw
Q(b)	1277.66	m ³ /h	Q(b)	1944.39	m ³ /h	Q(b)	1569.68	m ³ /h
Altura(b)	23.21	m	Altura(b)	12.84	m	Altura(b)	8.74	m
Rendimiento	86.89	%	Rendimiento	86.5	%	Rendimiento	84.2	%
 <p>Gamma</p>			 <p>KWP-Bloc</p>					

Fuente: elaboración propia

Con los datos que venían desde el sitio web (KSB, 2024), se graficaron las curvas características de las bombas y sus curvas rendimiento que después fueron introducidas en los modelos. Las curvas utilizadas son las que se muestran en la Figura 15, 16 y 17 además se visualiza el punto de funcionamiento donde trabajan las bombas, en el caso de la línea 1 la bomba trabaja a un rendimiento del 86% aproximadamente, para la línea 2 la bomba trabaja similar en cuanto a rendimiento al 86% y finalmente en la línea 3 la bomba trabaja a un rendimiento del 84%.

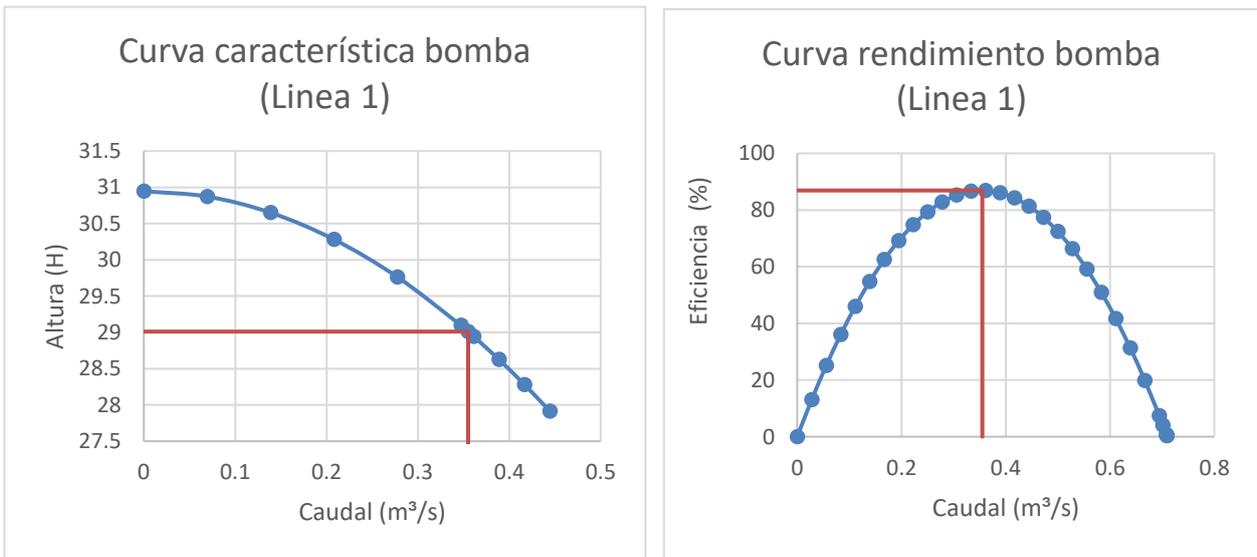


Figura 15. Curvas característica y curva de rendimiento de la bomba, empleada en el sector 1
Fuente: elaboración propia con datos de KSB (Bombas)

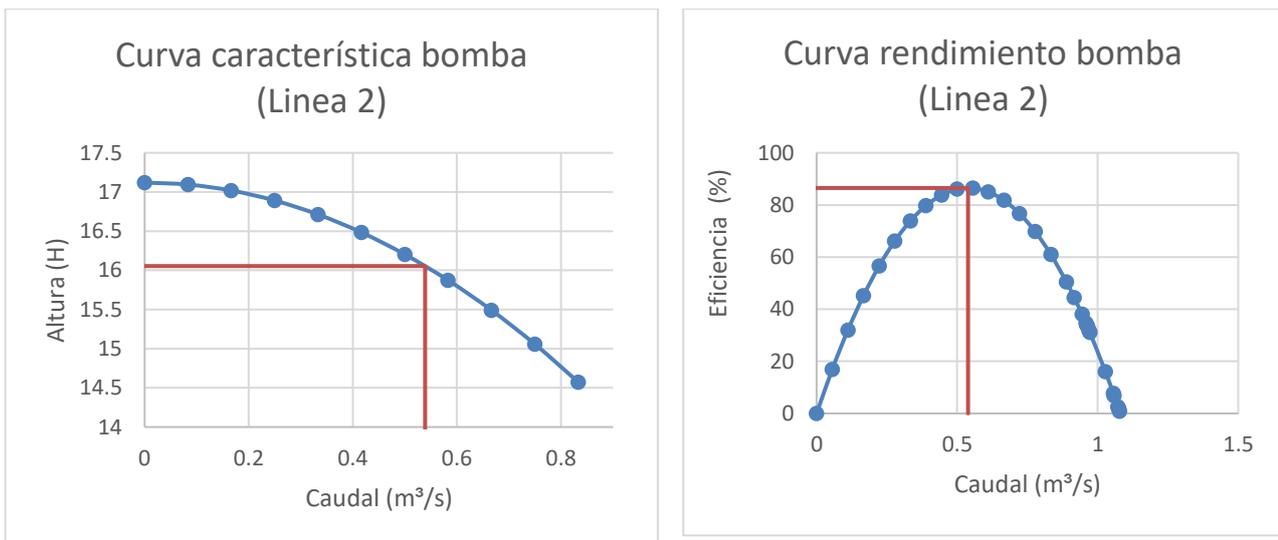


Figura 16. Curvas características y curva de rendimiento de la bomba, empleada en el sector 2

Fuente: Elaboración propia con los datos KSB (bombas)

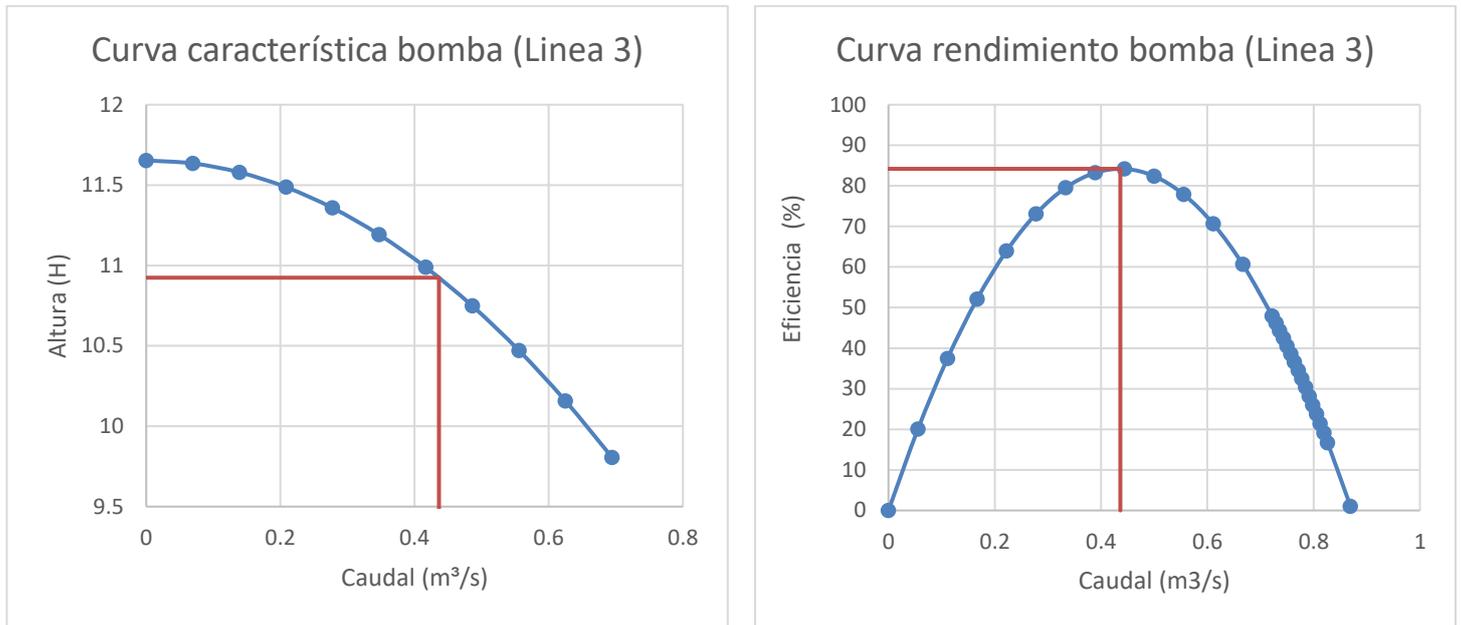


Figura 17. Curva característica y curva de rendimiento de la bomba, empleada en el sector 3

Fuente: elaboración propia con datos de KSB (Bombas)

5.9 Periodos para la tarifa y coste de electricidad

Para definir los costes asociados al término de potencia y al de energía, es necesario establecer los periodos (punta, llano y valle), en la Tabla 11 (Som Energía, 2024) se definen estos periodos de acuerdo a cada mes, para posteriormente calcular los costes asociados en cada mes para los tres periodos correspondientes, al trabajar siempre 8 horas diarias el coste para el término de energía se mantiene siempre en valle para cada mes. Los horarios de estudio para la tarifa corresponden a la Tarifa 6.1 a zona peninsular. Se ha considerado que la tensión para el regadío se encuentra entre 1 kV y menos de 30 kV, aplicándose el peaje 6.1 A (Ministerio de Economía, 2001) mostrado en la Figura 18.

Nivel de tensión	Peaje
>= 1 kV y < 30 kV	6.1A
>= 30 kV y < 72,5 kV	6.2
>= 72,5 kV y < 145 kV	6.3
>= 145 kV	6.4
Conexiones internacionales	6.5

Figura 18. Tarifas de acceso
Fuente: (Ministerio de Economía, 2001)

Tabla 11. Periodos península

MES	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICEMBRE	SÁBADOS, DOMINGOS Y FESTIVOS
24-1	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
1-2	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
2-3	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
3-4	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
4-5	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
5-6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
6-7	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
7-8	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6	P6
8-9	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
9-10	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
10-11	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
11-12	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
12-13	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
13-14	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
14-15	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
15-16	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
16-17	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
17-18	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
18-19	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
19-20	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
20-21	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
21-22	P1	P1	P2	P4	P4	P3	P1	P3	P3	P4	P2	P1	P6
22-23	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6
23-24	P2	P2	P3	P5	P5	P4	P2	P4	P4	P5	P3	P2	P6

Fuente: Elaboración propia en base a (Som Energía,2024)

5.10 Cálculo del análisis energético y costes

Con la asignación de las demandas a los nudos de consumo, el cálculo de los diámetros y la selección de las bombas, a continuación, se analiza el consumo energético utilizando los datos de las bombas (Tabla 10). Al conocer las horas mensuales de operación, se calcularon los volúmenes correspondientes para cada mes. Tabla 12, con esos volúmenes se obtiene el tiempo que requiere el caudal en cada mes para abastecer el volumen, por lo tanto, con ese tiempo se obtiene la energía necesaria kWh para bombear ese volumen.

Tabla 12. Volúmenes según cada sector

Mes	VOLUMEN1	VOLUMEN 2	VOLUMEN 3	TOTAL (m ³)
	(m ³)	(m ³)	(m ³)	
Enero	81,792.00	123,978.24	100,523.52	306,293.76
Febrero	25,560.00	38,743.20	31,413.60	95,716.80
Marzo	143,136.00	216,961.92	175,916.16	536,014.08
Abril	184,032.00	278,951.04	226,177.92	689,160.96
Mayo	173,808.00	263,453.76	213,612.48	650,874.24
Junio	184,032.00	278,951.04	226,177.92	689,160.96
Julio	306,720.00	464,918.40	376,963.20	1,148,601.60
Agosto	306,720.00	464,918.40	376,963.20	1,148,601.60
Septiembre	71,568.00	108,480.96	87,958.08	268,007.04
Octubre	194,256.00	294,448.32	238,743.36	727,447.68
Noviembre	143,136.00	216,961.92	175,916.16	536,014.08
Diciembre	92,016.00	139,475.52	113,088.96	344,580.48
Total				7,140,473.28

Fuente: elaboración propia.

Se definieron las tarifas mensuales de la energía para horas valle y se calcula la potencia necesaria para la estación de bombeo resultando 215.3 kW. Con los volúmenes calculados, y manteniendo un caudal y una altura estables, las horas de operación en los tres sectores se programaron durante las horas valle, distribuidas en 4 turnos de 2 horas cada uno. En la Tabla 13 se muestra un ejemplo del cálculo energético.

Tabla 13. Cálculo del análisis energético

Análisis Energético									
Linea 1									
Mes	Q (m³/s)	H (m)	η (%)	Pabs (kW)	Días	nh'	nh valle	EV (kWh)	Término Energía (LINEA 1)
Enero	0.355	23.22	86.9	93.07	8	8	8	5,956.21	500.32 €
Febrero	0.355	23.22	86.9	93.07	2.5	8	8	1,861.31	156.35 €
Marzo	0.355	23.22	86.9	93.07	14	8	8	10,423.36	875.56 €
Abril	0.355	23.22	86.9	93.07	18	8	8	13,401.47	1,125.72 €
Mayo	0.355	23.22	86.9	93.07	17	8	8	12,656.94	1,063.18 €
Junio	0.355	23.22	86.9	93.07	18	8	8	13,401.47	1,125.72 €
Julio	0.355	23.22	86.9	93.07	30	8	8	22,335.78	1,876.21 €
Agosto	0.355	23.22	86.9	93.07	30	8	8	22,335.78	1,876.21 €
Septiembre	0.355	23.22	86.9	93.07	7	8	8	5,211.68	437.78 €
Octubre	0.355	23.22	86.9	93.07	19	8	8	14,145.99	1,188.26 €
Noviembre	0.355	23.22	86.9	93.07	14	8	8	10,423.36	875.56 €
Diciembre	0.355	23.22	86.9	93.07	9	8	8	6,700.73	562.86 €

Fuente: elaboración propia

Una vez definida la energía consumida mensualmente, se calculó el coste energético de los sectores, considerando la energía total mensual del sector (trabajando en hora valle) y el término de potencia.

5.11 Cálculo del presupuesto del proyecto

Para concluir el presente estudio, se utilizaron las mediciones obtenidas para el trazado de tuberías y el número de bombas a emplear. En este caso, dado que se trata de bombas de gran tamaño y destinadas a regadío, se contempla una bomba por sector en el presupuesto, con la posibilidad de reparación en caso de falla. Algunos costes se incluyeron en la partida alzada de la obra civil complementaria, y los cálculos correspondientes se realizaron con el software TCQ (Tiempo, Coste y Calidad). Cabe destacar que los costes de instalación y de tuberías se obtuvieron otro presupuesto aplicado a obras en suelo agrícola. En la Figura 27 se muestra el resumen.

Los capítulos se dividen de la siguiente manera:

1. Movimiento de tierras e instalación de tuberías: todos los costes asociados a movimiento de tierras e instalación de tuberías.
2. Tuberías y accesorios: todos los costes asociados a las tuberías que se instalan, tomando en cuenta los otros materiales necesarios para la instalación.
3. Estación de bombeo: además de los costes de las bombas, se incluye el coste de su instalación y los elementos para su instalación, los elementos para la programación necesaria para la estación de bombeo, material electrónico, medidores, entre otros elementos que sirven para la estación de bombeo, también aquí se incluye los costes asociados a las válvulas.
4. Obra civil complementaria: partida alzada que contempla las acciones que derivan de la obra civil para adecuar el azud y otros servicios e imprevistos.

5.12 Intensidad energética

Para comparar los resultados del estudio propuesto con las condiciones reales en la zona, se calcula el indicador Intensidad Energética con la que trabaja la Comunidad de Regantes de Villarreal, según (Cabrera et al., 2021), este indicador se obtiene dividiendo la energía real suministrada (E_{sr}) por el volumen entregado en el punto de suministro (V_d), aplicando la siguiente fórmula:

$$I_{er} = \frac{E_{sr} \text{ kWh}}{V_d \text{ m}^3}$$

(Eq. 8)

6.- Resultados y discusión

Actualmente, este sistema de riego opera con una potencia de 1.177 kW según los datos iniciales proporcionados por la Comunidad de Regantes. La intensidad energética actual se calculó en 0,216 kWh/m³. Sin embargo, con el estudio realizado, se logró reducir este valor en un 80%, resultando como intensidad energética total de 0,043 kWh/m³, la intensidad energética para el sector 1 fue igual a 0,072 kWh/m³, para el sector 2 0,040 kWh/m³, y para el sector 3 0,022 kWh/m. El mejor resultado es en el sector 2 y 3, por las condiciones del sector resulta intensidad energética mucho menor de trabajo, en cambio el sector 1 al ser muy próximo en cota los nudos de demanda requieren una altura mayor, por tanto, resulta una intensidad energética un poco mayor, que no obstante reduce significativamente respecto la actual.

Los costos presupuestarios son elevados principalmente debido a la gran extensión del sistema de riego, que requiere tramos principales muy largos. Posicionar correctamente el modelo y trabajar con las longitudes automáticas fue crucial para obtener estas medidas. Considerar la definición de más sectores podría ser una alternativa para hacer el proyecto económicamente más viable.

Gracias a la mejora de la eficiencia energética se reducen los costes operativos, además de los costes de mantenimiento, la modernización de la red ayudará a reducir estos costes y trabajando con las presiones necesaria para cada sector ayudará a tener menores pérdidas, por tanto, un funcionamiento mejor, a lo largo del tiempo se puede evaluar que con los ahorros de acumulados en energía y mantenimiento compensarán la inversión inicial.

6.1 Tarifa usada para cálculo de costes de energía

Para realizar los costes de energía asociados al T. de energía y T. de potencia se utilizaron los costes asociados a una tarifa open 3.0 TD (Endesa, 2023) en la Figura 19 se muestra a manera de resumen la hoja, los costes no tienen asociados los impuestos de electricidad y el IVA.

Término de Energía €/kWh						
Plana	Elige tu Modalidad de Horas Open				Horas No Open	
	Día	Laboral	Fin de Semana	Noche		
Los 24h del día los 365 días al año	De 8h a 24h todos los días del año.	De 8h a 24h de lunes a viernes excepto festivos nacionales.	Las 24h del día de sábados, domingos y fest. nacionales.	De 0h a 8h todos los días del año.		
15-30 kW	0,142116	0,133006	0,123896	0,087456	0,069236	0,169446
30-50 kW	0,139854	0,130889	0,121924	0,086064	0,068134	0,166749
50-100 kW	0,136890	0,128115	0,119340	0,084240	0,066690	0,163215
>100kW	0,136890	0,128115	0,119340	0,084240	0,066690	0,163215

La potencia a facturar se calculará según corresponda a su tarifa de acceso y potencia contratada, aplicando la facturación por maxímetro o por curva de carga cuarto horaria. La energía será calculada mediante curva de carga horaria.

Las variaciones que se den en los componentes regulados que le son de aplicación, así como nuevos que puedan aparecer, se trasladarán al cliente, tanto al alza como a la baja. Los precios se podrán actualizar, cada 1 de enero, con el valor del IPC real (Último Índice de Precios al Consumo interanual general nacional publicado oficialmente en el momento de la actualización).

El cliente podrá cambiar la opción de descuento una vez al mes en cualquier momento y afectará a todo el ciclo de facturación en curso y siguientes.

Precio base del Término de Energía sin descuento (€/kWh)	
Potencia contratada (Pc)	€/kWh
15 kW < Pc ≤ 30 kW	0,182200
30 kW < Pc ≤ 50 kW	0,179300
50 kW < Pc ≤ 100 kW	0,175500
Pc > 100 kW	0,175500

Precio base del Término de Potencia sin descuento			
	€/kW y año	€/kW y mes	€/kW y día
P1	16,113047	1,342754	0,044145
P2	9,947036	0,828920	0,027252
P3	5,058211	0,421518	0,013858
P4	4,542560	0,378547	0,012445
P5	2,685209	0,223767	0,007357
P6	1,953638	0,162803	0,005352

Figura 19. Costes tarifa Open 3.0 TD

Fuente: Endesa

6.2 Resultados Línea 1

6.2.1 Funcionamiento del sector 1

En la Tabla 14 se muestran los elementos principales del sector 1, la Línea 1 propuesta contempla los 3 sectores (Soales, Cap de terme y Cariñena) y en el ANEXO 2 Esquema General de funcionamiento de la Línea 1 se puede ver los detalles del sector.

Tabla 14. Elementos principales de la Línea 1

Línea 1	
Nudos	343
Tuberías	343
Depósitos	0
Embalses	1
Estación de bombeo	1
Bombas	1
Total, de patrones	255

Fuente: elaboración propia

La presión mínima en los nudos de consumo es de 20.85 m.c.a y la presión máxima de 40.22 m.c.a en la Figura 20 se muestra la variación del caudal en los turnos de riego a la salida de la estación de bombeo se mantiene una variación mínima que va desde los 353 (l/s) a los 358 (l/s) pudiendo así deducir que se mantiene estable.

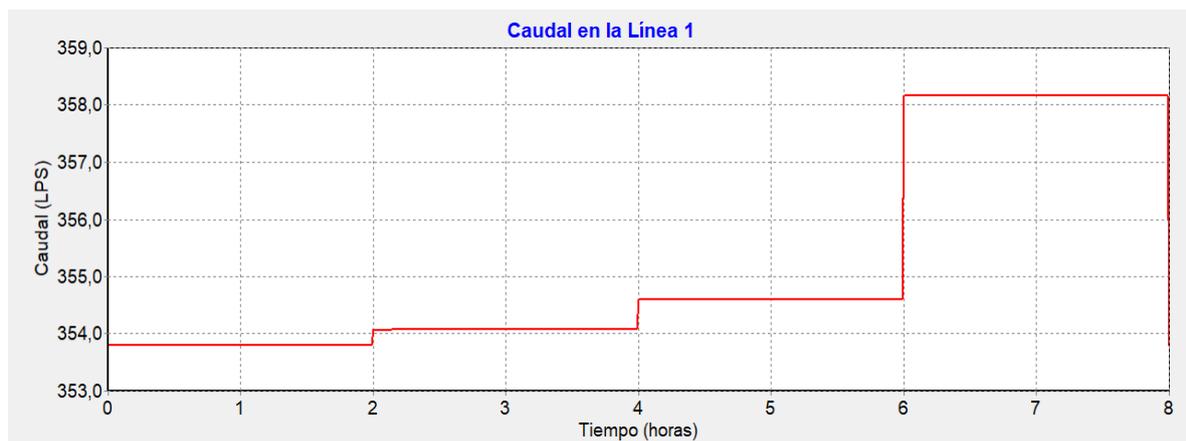


Figura 20. Caudal a la salida de la bomba Línea 1
Fuente: EPANET

En la Figura 21 se analiza la presión a la salida de la bomba a manera de comprobar los datos del modelo, la bomba se mantiene en una altura de 29 m.c.a.

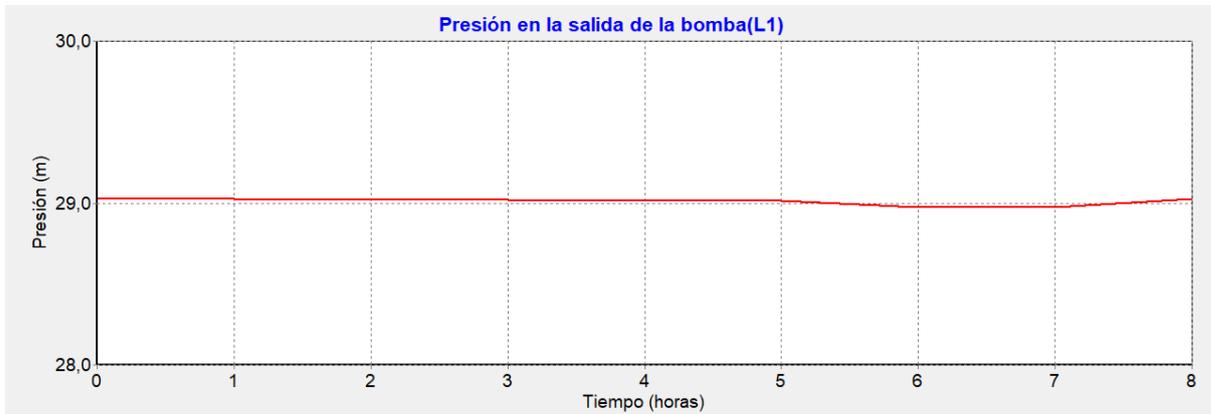


Figura 21. Presión a la salida de la bomba (Línea 1)
Fuente: EPANET

6.2.1 Coste energético Línea 1

Con los costes asociados a la energía se obtuvieron utilizando la Tarifa de Endesa previamente mencionada Figura 19, a continuación, en la Tabla 15 se muestran los resultados asociados a los costes energéticos de la Línea 1

Tabla 15. Costes energéticos Línea 1

Análisis Energético									
Línea 1									
Mes	Q (m³/s)	H (m)	η (%)	Pabs (kW)	Días	nh'	nh valle	EV (kWh)	Término Energía (LINEA 1)
Enero	0.355	23.22	86.9	93.07	8	8	8	5,956.21	500.32 €
Febrero	0.355	23.22	86.9	93.07	2.5	8	8	1,861.31	156.35 €
Marzo	0.355	23.22	86.9	93.07	14	8	8	10,423.36	875.56 €
Abril	0.355	23.22	86.9	93.07	18	8	8	13,401.47	1,125.72 €
Mayo	0.355	23.22	86.9	93.07	17	8	8	12,656.94	1,063.18 €
Junio	0.355	23.22	86.9	93.07	18	8	8	13,401.47	1,125.72 €
Julio	0.355	23.22	86.9	93.07	30	8	8	22,335.78	1,876.21 €
Agosto	0.355	23.22	86.9	93.07	30	8	8	22,335.78	1,876.21 €
Septiembre	0.355	23.22	86.9	93.07	7	8	8	5,211.68	437.78 €
Octubre	0.355	23.22	86.9	93.07	19	8	8	14,145.99	1,188.26 €
Noviembre	0.355	23.22	86.9	93.07	14	8	8	10,423.36	875.56 €
Diciembre	0.355	23.22	86.9	93.07	9	8	8	6,700.73	562.86 €
Total									11,663.74 €

Fuente: elaboración propia

6.3 Resultados Línea 2

6.3.1 Funcionamiento del sector 2

En la Tabla 17 se muestran los elementos principales del sector 2, la Línea 2 propuesta contempla los 3 sectores (Soales, Cap de terme y Cariñena) y en el ANEXO 3 Esquema General de funcionamiento de la Línea 2 se puede ver los detalles del sector.

Tabla 16. Elementos principales de la Línea 2

Línea 2	
Nudos	518
Tuberías	517
Depósitos	0
Embalses	1
Estación de bombeo	1
Bombas	1
Total, de patrones	356

Fuente: elaboración propia.

La presión mínima en los nudos de consumo es de 18.41 m.c.a y la presión máxima de 33.17 m.c.a en la Figura 22 se muestra la variación del caudal en los turnos de riego a la salida de la estación de bombeo se mantiene una variación mínima que va desde los 538.5 (l/s) a los 539.44 (l/s) pudiendo así deducir que se mantiene estable.

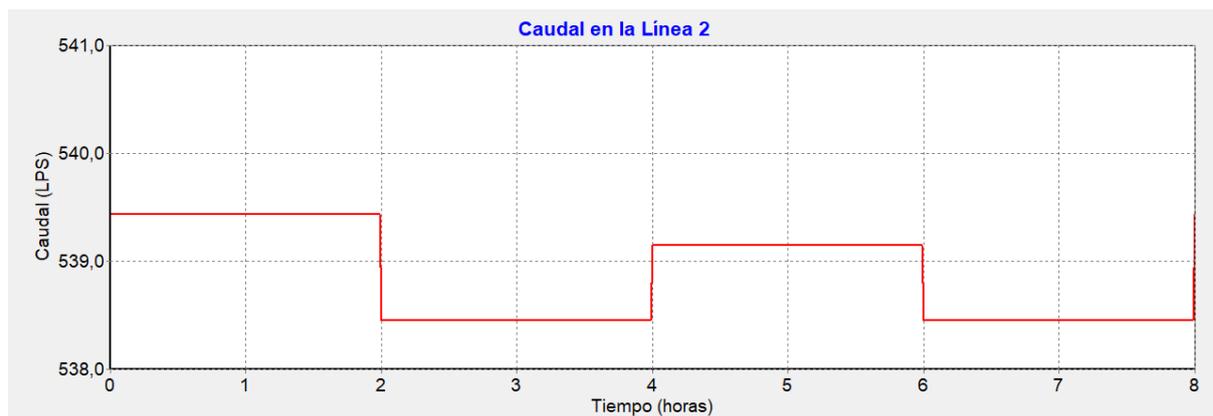


Figura 22. Caudal a la salida de la bomba Línea 2
Fuente: EPANET

En la Figura 23 se analiza la presión a la salida de la bomba a manera de comprobar los datos del modelo, la bomba se mantiene en una altura de 16 m.c.a.

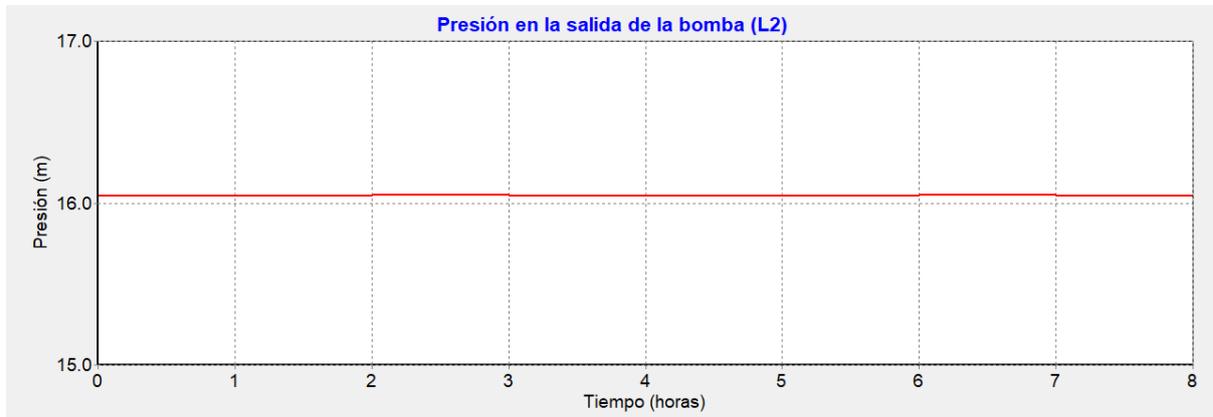


Figura 23. Presión a la salida de la bomba (Línea 2)
Fuente: EPANET

6.3.2 Coste energético Línea 2

Con los costes asociados a la energía se obtuvieron utilizando la Tarifa de Endesa previamente mencionada Figura 19, a continuación, en la Tabla 17 se muestran los resultados asociados a los costes energéticos de la Línea 2.

Tabla 17. Costes energéticos Línea 2

Análisis Energético									
Línea 2									
Mes	Q (m³/s)	H (m)	η (%)	Pabs (kW)	Días	nh'	nh valle	EV (kWh)	Término Energía (LINEA 2)
Enero	0.539	12.75	86.50	77.9	8	8.0	8.0	4,979.61	418.29 €
Febrero	0.539	12.75	86.50	77.9	2.5	8.0	8.0	1,556.13	130.71 €
Marzo	0.539	12.75	86.50	77.9	14	8.0	8.0	8,714.32	732.00 €
Abril	0.539	12.75	86.50	77.9	18	8.0	8.0	11,204.13	941.15 €
Mayo	0.539	12.75	86.50	77.9	17	8.0	8.0	10,581.68	888.86 €
Junio	0.539	12.75	86.50	77.9	18	8.0	8.0	11,204.13	941.15 €
Julio	0.539	12.75	86.50	77.9	30	8.0	8.0	18,673.55	1,568.58 €
Agosto	0.539	12.75	86.50	77.9	30	8.0	8.0	18,673.55	1,568.58 €
Septiembre	0.539	12.75	86.50	77.9	7	8.0	8.0	4,357.16	366.00 €
Octubre	0.539	12.75	86.50	77.9	19	8.0	8.0	11,826.58	993.43 €
Noviembre	0.539	12.75	86.50	77.9	14	8.0	8.0	8,714.32	732.00 €
Diciembre	0.539	12.75	86.50	77.9	9	8.0	8.0	5,602.07	470.57 €
Total								9,751.33 €	

Fuente: elaboración propia

6.4 Resultados Línea 3

6.4.1 Funcionamiento del sector 3

En la Tabla 18 se muestran los elementos principales del sector 2, la Línea 3 propuesta contempla 2 sectores (Soales y Cap de terme) y en el ANEXO 4 Esquema General de funcionamiento de la Línea 4 se puede ver los detalles del sector.

Tabla 18. Elementos principales de la Línea 3

Línea 3	
Nudos	346
Tuberías	345
Depósitos	0
Embalses	1
Estación de bombeo	1
Bombas	1
Total, de patrones	263

Fuente: elaboración propia.

La presión mínima en los nudos de consumo es de 17.23 m.c.a y la presión máxima de 32.79 m.c.a en la Figura 24 se muestra la variación del caudal en los turnos de riego a la salida de la estación de bombeo se mantiene una variación mínima que va desde los 435.6 (l/s) a los 437.1 (l/s) pudiendo así deducir que se mantiene estable.

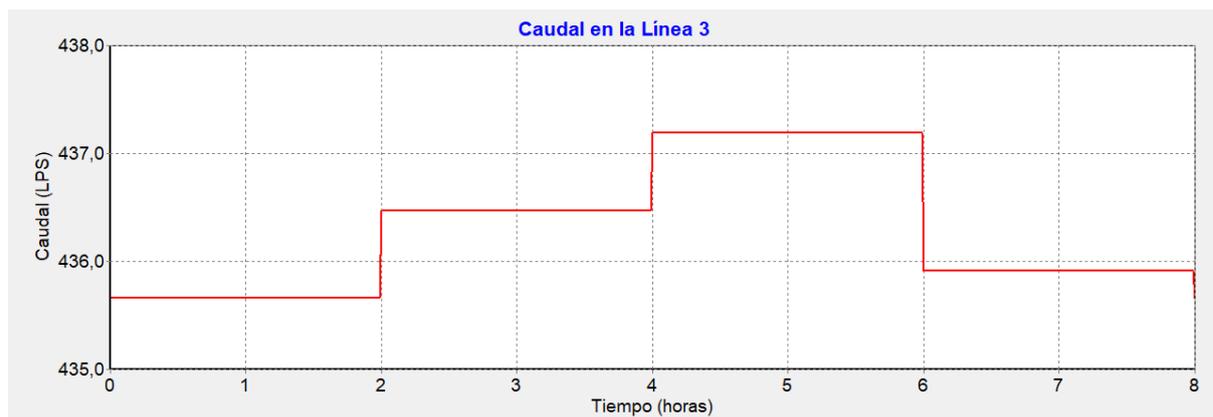


Figura 24. Caudal a la salida de la bomba Línea 2
Fuente: EPANET

En la Figura 25 se analiza la presión a la salida de la bomba a manera de comprobar los datos del modelo, la bomba se mantiene en una altura de 10.8 m.c.a.

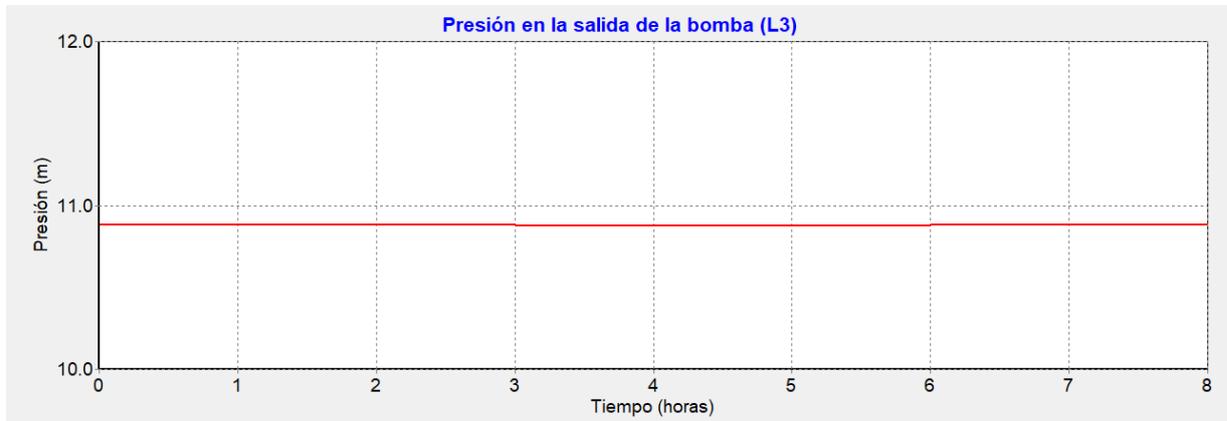


Figura 25. Presión a la salida de la bomba (Línea 2)
Fuente: EPANET

6.4.2 Coste energético Línea 3

Con los costes asociados a la energía se obtuvieron utilizando la Tarifa de Endesa previamente mencionada Figura 19, a continuación, en la Tabla 19 se muestran los resultados asociados a los costes energéticos de la Línea 3.

Tabla 19. Costes energéticos Línea 2

Análisis Energético									
Línea 3									
Mes	Q (m³/s)	H (m)	η (%)	Pabs (kW)	Días	nh'	nh valle	EV (kWh)	Término Energía (LINEA 3)
Enero	0.436	8.75	84.20	44.48	8	3	3	889.57	74.72 €
Febrero	0.436	8.75	84.20	44.48	2.5	7	7	723.81	60.80 €
Marzo	0.436	8.75	84.20	44.48	14	7	7	4,053.33	340.48 €
Abril	0.436	8.75	84.20	44.48	18	7	7	5,211.43	437.76 €
Mayo	0.436	8.75	84.20	44.48	17	7	7	4,921.91	413.44 €
Junio	0.436	8.75	84.20	44.48	18	7	7	5,211.43	437.76 €
Julio	0.436	8.75	84.20	44.48	30	7	7	8,685.72	729.60 €
Agosto	0.436	8.75	84.20	44.48	30	7	7	8,685.72	729.60 €
Septiembre	0.436	8.75	84.20	44.48	7	7	7	2,026.67	170.24 €
Octubre	0.436	8.75	84.20	44.48	19	7	7	5,500.95	462.08 €
Noviembre	0.436	8.75	84.20	44.48	14	7	7	4,053.33	340.48 €
Diciembre	0.436	8.75	84.20	44.48	9	7	7	2,605.72	218.88 €
Total									4,415.85 €

Fuente: elaboración propia

6.5 Resultados coste total energético

Tomando en cuenta los costes asociados al término energía más los costes del término potencia a modo de resumen en la Tabla 20, se muestran los costes asociados al coste total energético, los costes más elevados que se concentran en los meses de junio, julio y agosto es donde mayor demanda de agua requiere el regadío de este estudio, se muestra en la Figura 26, debido al aumento de las temperaturas el agua se evapora con mayor rapidez, por tanto, exige una demanda mayor el cultivo.

Tabla 20. Costes energéticos totales

Mes	Término Potencia	Término Energía (LINEA 1)	Término Energía (LINEA 2)	Término Energía (LINEA 3)	Coste Total
Enero	364.50 €	500.32 €	418.29 €	74.72 €	1,357.84 €
Febrero	364.50 €	156.35 €	130.71 €	60.80 €	712.37 €
Marzo	224.99 €	875.56 €	732.00 €	340.48 €	2,173.03 €
Abril	102.70 €	1,125.72 €	941.15 €	437.76 €	2,607.33 €
Mayo	102.70 €	1,063.18 €	888.86 €	413.44 €	2,468.18 €
Junio	114.54 €	1,125.72 €	941.15 €	437.76 €	2,619.17 €
Julio	364.50 €	1,876.21 €	1,568.58 €	729.60 €	4,538.89 €
Agosto	114.54 €	1,876.21 €	1,568.58 €	729.60 €	4,288.92 €
Septiembre	114.54 €	437.78 €	366.00 €	170.24 €	1,088.56 €
Octubre	102.70 €	1,188.26 €	993.43 €	462.08 €	2,746.47 €
Noviembre	224.99 €	875.56 €	732.00 €	340.48 €	2,173.03 €
Diciembre	364.50 €	562.86 €	470.57 €	218.88 €	1,616.82 €
TOTAL	2,559.70 €	11,663.74 €	9,751.33 €	4,415.85 €	28,390.62 €

Fuente: elaboración propia

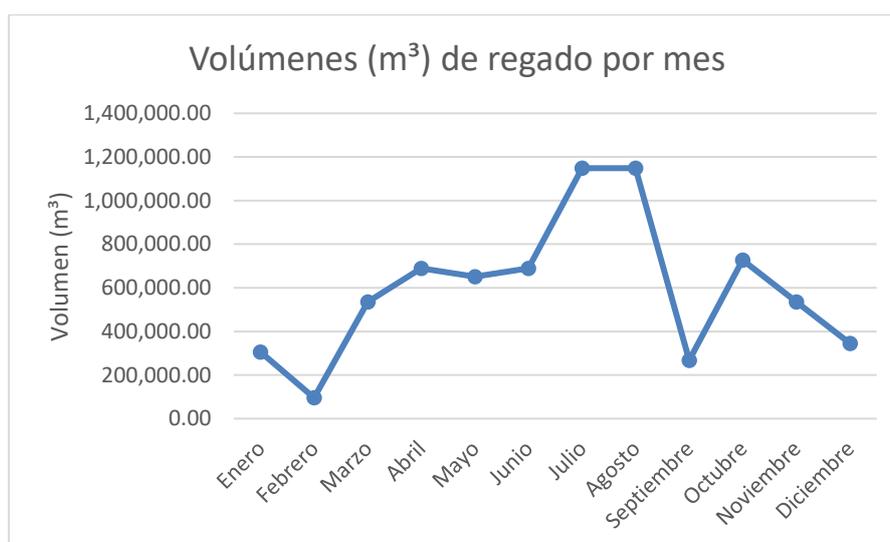


Figura 26. Volúmenes m³ de regadío por mes

Fuente: elaboración propia

6.6 Resultados de la intensidad energética

Para realizar una comparación más detallada se hace una normalización de los volúmenes, y comparar adecuadamente la intensidad energética entre sistema con diferentes volúmenes, lo que se hace es una normalización del volumen, por tanto se obtiene de multiplicar los volúmenes que se obtuvieron por la intensidad energética actual.

Para calcular el consumo energético normalizado se aplica la siguiente expresión:

$$E_{\text{normalizado}} = V_{\text{tu}} \times IE_{\text{actual}}$$

(Eq. 9)

E(normalizado)= será el consumo energético en (kWh).

V (volúmenes calculados Tabla 12, en m³).

IE(actual) el indicador que se calcula previamente 0,216 kWh/m³.

Se consideró que la Comunidad de Regantes opera con una potencia de 1117 kW. Los precios son los utilizados anteriormente del término de energía y término de potencia, En la Tabla 21 se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 21. Análisis energético y costes asociados con la energía normalizada

Energía normalizada (kWh)	Término Energía	Término Potencia
66,238.10	5,564.00 €	1,992.66 €
20,699.41	1,738.75 €	1,992.66 €
115,916.68	9,737.00 €	1,229.97 €
149,035.73	12,519.00 €	561.43 €
140,755.97	11,823.50 €	561.43 €
149,035.73	12,519.00 €	626.16 €
248,392.88	20,865.00 €	1,992.66 €
248,392.88	20,865.00 €	626.16 €
57,958.34	4,868.50 €	626.16 €
157,315.49	13,214.50 €	561.43 €
115,916.68	9,737.00 €	1,229.97 €
74,517.86	6,259.50 €	1,992.66 €
Total	129,710.76 €	13,993.35 €
T.energía + T. potencia	143,704.11 €	

Fuente: elaboración propia

6.7 Presupuesto del ejecutar el estudio

En el ANEXO 5, presupuesto de obra señala el coste total de ejecutar la obra, el monto es de **5.266.645.05 €**. En la Figura 27 se muestra el resumen del presupuesto.

RESUMEN DE PRESUPUESTO			
			Fecha: 20/06/24
			Pág.: 1
NIVEL 2 : Capítulo			Importe
Capítulo	01.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS E INSTLACIÓN DE TUBERÍAS	1.048.215,20
Capítulo	01.02	TUBERÍAS Y ACCESORIOS	3.597.156,24
Capítulo	01.03	ESTACIÓN DE BOMBEO	565.597,60
Capítulo	01.04	OBRA CIVIL COMPLEMENTARIA	55.676,02
Obra	01	Presupuesto PRIMER PRESUPUESTO	5.266.645,06
			5.266.645,06
NIVEL 1 : Obra			Importe
Obra	01	Presupuesto PRIMER PRESUPUESTO	5.266.645,06
			5.266.645,06

Figura 27. Resumen del presupuesto
Fuente: elaboración propia a partir de TCQ

7.- Conclusiones

Cada sistema cuenta con los datos de partida diferente, es difícil poder replicar una metodología propuesta para un estudio con ciertas características a otro estudio, dependerá de las necesidades y de la información que se tenga. Buscar soluciones que promuevan el ahorro energético y el ahorro de agua en regadíos debe ser un compromiso de la población, de cara a futuras generaciones cuidar este recurso tan importante será vital para el desarrollo de estas, implementar alternativas en fase de diseño de los proyectos donde tome un peso importante el impacto ambiental en relación con el ahorro energético y su autosuficiencia será pieza fundamental para la viabilidad de ejecutarlo o no el proyecto.

Se demuestra que es posible lograr una significativa reducción en la intensidad energética del sistema de riego de la Comunidad de Regantes de Villarreal, pasando de 0,216 kWh/m³ a un total de 0,043 kWh/m³, la intensidad energética para el sector 1 fue igual a 0,072 kWh/m³, para el sector 2 0,040 kWh/m³, y para el sector 3 0,022 kWh/m³, lo que representa una reducción del 80% (esto respecto al total), en relación a los 3 sectores el mejor resultado es en base a la cercanía del sector, la consecuencia de esto es la topografía cuando se requiere menos altura de bombeo baja considerablemente la energía necesaria.

A pesar de lograr una reducción significativa con la propuesta, los costes de inversión son muy elevados, quizás en un periodo largo de amortización compensaría la inversión inicial de ejecutar este estudio, pero considerar una fusión entre aplicar técnicas de eco-trazado por un lado y trabajar con los embalses por gravedad por otro lado puede resultar una alternativa económicamente más viable,

En conclusión, el estudio ha proporcionado un enfoque práctico y aplicado para mejorar la eficiencia energética en la Comunidad de Regantes de Villarreal, evidenciando que el eco-trazado al diseño tradicional hay bastante diferencia, y este mismo será la clave para contribuir a sistemas más sostenibles y responsables en cuanto al recurso hídrico.

7.1 Desarrollos futuros

Para el estudio se hacen varias hipótesis que pueden no replicar lo que realmente hay en el sistema, esto es, al trabajar con modelos matemáticos se debe contar con la mayor cantidad de información real, por ejemplo, para la normalización de la energía los datos de regado proporcionados por la Comunidad de Regantes del año 2023 indicaban que respecto las demandas utilizadas para el modelo estaban regando muchos menos m³ el año pasado, factores como el incremento de precipitación en la zona, el cambio de cultivo o también la disponibilidad del recurso hacen que se modifiquen estas demandas, por tanto, puede resultar complejo hacer comparativas tan reales.

De cara a implementar estas técnicas de eco-trazado sería importante tomar en cuenta la variación de la rugosidad de las tuberías a lo largo del tiempo, el deterioro del material como afecta a esta rugosidad es un punto importante que debe contemplar el modelo. Las pérdidas por fugas como afecta si lo tomo en cuenta en el modelo, son cuestiones que de cara a implementarlas resolverán el enigma y servirá para estudios posteriores que quieran proponer eco-trazados.

Con la centralización de los cabezales en estudios futuros se puede pensar en utilizar energía solar para las bombas, daría un uso más sostenible al sistema y con la reducción notoria de la potencia su implementación puede resultar más sencilla. La aplicación de eco-trazado en sistemas a presión son estrategias fundamentales para avanzar hacia sistemas más sostenibles y eficientes. La adopción de estas prácticas no solo mejorará la eficiencia y sostenibilidad de los sistemas, sino que también contribuirá a un futuro más sostenible para las próximas generaciones.

Para futuros estudios sería recomendable proponer alternativas que tome la mayor cantidad de datos para el modelo, replicar el modelo lo más semejante a la realidad servirá para unos resultados más detallados, además proponer otras alternativas donde se trabaje por gravedad y por inyección directa, puede ser como anteriormente se dijo una alternativa económicamente más viable y funcional.

8.- Referencia Bibliográficas (Según Norma ISO690)

- Caballero, A. (2024). *La agricultura, el "elefante en la habitación" que consume el 80% del agua en la España de las sequías*. Rtve.Es. <https://www.rtve.es/noticias/20240217/agricultura-consume-80-agua-espana-sequias/15972242.shtml#:~:text=Los datos son claros%3A un,la agricultura y la ganadería>.
- Cabrera, E., Gómez, E., Cabrera, E., & Soriano, J. (2018). Calculating the economic level of friction in pressurized water systems. *Water (Switzerland)*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/w10060763>
- Cabrera, E., Gómez, E., & Del Teso, R. (2021). *Manual de usuario Herramienta para la estimación de la energía mínima requerida en sistemas simples*.
- Corominas, J. (2010). Agua y energía en el riego, en la época de la sostenibilidad. *Ingeniería Del Agua*, 17(3). <https://doi.org/10.4995/ia.2010.2977>
- Distribuci, P. D. E., Con, D. E. A., Fotovoltaicos, B., Palomares, E. N., La, P., Central, J., Aguas, D. E. U. D. E., Valle, D. E. L., Almanzora, D. E. L., Regantes, C. D. E., Bajo, D. E. L., & Antas, D. E. (n.d.). *Proyecto de distribución de agua con bombeos fotovoltaicos en palomares para la junta central de usuarios de aguas del valle del almanzora. comunidades de regantes del bajo almanzora, vera, s.a.t. n.º 2503 de antas y s.a.t. agrolujo (almería)*.
- Endesa. (2023). *Tarifa Open Empresas 3.0TD*. 11269632.
- Europeo, P., & Directiva, E. (2008). *Estadísticas e indicadores del agua*.
- eurostat. (2024). *Electricity price statistics*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Electricity_price_statistics#:~:text=For the prices adjusted for,the first half of 2008.
- Hardy, L., & Garrido, A. (2010). *Análisis y evaluación de las relaciones entre el agua y la energía en España*.
- KSB. (2024). *KSB EasySelect*. https://www.ksb.com/easyselect/app/?n=ext_vst
- Martinez Alzamora, F. (2019). Upgrade of the GISRed application for the free analysis of WDN under GIS environment. *Research Gate, September*.

- Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. (n.d.). *El regadío en España*.
<https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/regadio-espanya/default.aspx>
- Ministerio de Economía. (2001). Real Decreto 1164/2001, de 26 de octubre, por el que se establecen tarifas de acceso a las redes de transporte y distribución de energía eléctrica. *Boletín Oficial de Estado*, 276(4), 118002–118009.
https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2001-20850
- Molecor. (2023). *La agricultura moderna viaja a través de redes de canalización de agua a presión*. Iagua. <https://www.iagua.es/noticias/molecor/agricultura-moderna-viaja-traves-redes-canalizacion-agua-presion>
- Pramod R., B. and C. F. L. (1983). OPTIMAL LAYOUT FOR BRANCHING DISTRIBUTION NETWORKS By Pramod R. Bhave 1 and Chan F. Lam 2 (Reviewed by the Pipeline Division). *Asce*, 109(4), 534–547.
- Rocamora Osorio, M. C., & Energía, I. para la D. y A. de la. (2008). Ahorro y eficiencia energética en las comunidades de regantes. In *Ahorro y eficiencia energética en la agricultura CN - 620.98*.
- Sadoff Claudia, M. M. (2010). *La Gestión del Agua, la Seguridad Hídrica y la Adaptación al Cambio Climático: Efectos Anticipados y Respuestas Esenciales* (Vol. 12, Issue 14). Global Water Partnership.
- Som Energía. (2024). *Horarios de la tarifa 3.0TD periodos y las tarifas de alta tensión por periodos*. <https://es.support.somenergia.coop/article/1108-horarios-de-la-tarifa-30td-periodos-y-las-tarifas-de-alta-tension-por-periodos>
- Vila-real, C. de R. de. (n.d.). *Riego a goteo*. https://www.regvila.com/riego_goteo

9.-ANEXOS

ANEXO 1 “MAPA DE SITUACIÓN”

ANEXO 2 “ESQUEMA GENERAL LÍNEA 1”

ANEXO 3 “ESQUEMA GENERAL LÍNEA 2”

ANEXO 4 “ESQUEMA GENERAL LÍNEA 3”

ANEXO 5 “PRESUPUESTO”

ANEXO 6 “GRÁFICOS Y PRESUPUESTO POR CAPÍTULO”