



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA
AGRONÓMICA Y DEL MEDIO NATURAL

Máster Universitario en Ingeniería Agronómica

**EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA GESTIÓN
HIDRÁULICA Y ENERGÉTICA DE LA CC.RR. SECTOR X DEL
CANAL JÚCAR-TURIA EN EL T.M DE PICASSENT (VALENCIA)**

Trabajo Fin de Máster 2018-2019

Autora:

Carmen Ferreras López

Tutor:

D. Juan Manzano Juárez

Cotutor:

D. Miguel Ángel Jiménez Bello

Valencia, septiembre 2019

EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA GESTIÓN HIDRÁULICA Y ENERGÉTICA DE LA CC.RR. SECTOR X DEL CANAL JÚCAR-TURIA EN EL T.M DE PICASSENT (VALENCIA).

El presente Trabajo Final de Máster trata sobre el análisis, evaluación y las posibles propuestas de mejora en la gestión hidráulica y energética en la Comunidad de Regantes (CC.RR.) del Sector X de Picassent, perteneciente a la comarca de la Ribera del Xúquer en la Comunidad Valenciana. Se parte de los datos facilitados por la CC.RR., así como de cartografía y archivos pertenecientes a los proyectos diseñados para la red.

La primera etapa del trabajo trata de recopilar información para así poder elaborar un archivo vectorial con el cual poder caracterizar la red y describir el funcionamiento de la misma; la organización del riego, patrones de consumo, la conveniencia de las tarifas eléctricas contratadas, entre otros factores. Una vez recogida esta información, se ha elaborado el modelo hidráulico de la red a partir del software libre *Epanet v2.0*, el cual permite simular el comportamiento hidráulico de las redes a presión en periodo extendido, y la herramienta *QGIS 2.18* que ha servido de ayuda para geolocalizar hidrantes, trazar tuberías, tomas de captación y embalses, así como obtener la elevación de cada nudo y la longitud de las conducciones. Tras esto, se ha validado el modelo y se han generado diferentes escenarios o alternativas con las cuales se ha tratado de mejorar la eficiencia energética de los grupos de bombeo mediante el cambio de las presiones de consigna o mediante el reajuste de los turnos de riego según la tarifa eléctrica de la que disponen. Para finalizar, se han analizado los resultados obtenidos con los cambios pertinentes y se han expuesto las conclusiones oportunas.

Palabras clave: gestión del riego, redes de riego a presión, eficiencia energética, Comunidad de Regantes, *Epanet v2.0*

Autora:

Carmen Ferreras López

Tutor:

D. Juan Manzano Juárez

Cotutor:

D. Miguel Ángel Jiménez Bello

Abstract

Valencia, september 2019

EVALUATION AND PROPOSALS FOR IMPROVING THE HYDRAULIC AND ENERGY MANAGEMENT OF THE IRRIGATION COMMUNITY. SECTOR X OF THE JÚCAR-TURIA CANAL IN THE T.M. DE PICASSENT (VALENCIA).

This Final Master's Work deals with the analysis, assessment and presentation of proposals for improving the hydraulic and energy management in the Water Users Association of Picassent "X Sector", in the region of Ribera del Xúquer in the Valencian Community. It is based on the data provided by the Water Users Association of Picassent as well as cartography and files belonging to the designing projects for the network.

The first part of the work has been focused on collecting information to elaborate a vectorial file to characterize the network and describe its operation; the irrigation scheduling, patterns of consumption and the convenience of the contracted electrical tariffs, among other factors.

Once this information has been collected, the hydraulic model of the network has been elaborated from the free software *Epanet v2.0*, which allows simulating the hydraulic behavior of pressure networks in extended periods, and the QGIS 2.18 software which has been used to geolocate hydrants, trace pipes, catchment inlets and reservoirs, as well as to obtain the elevation of each node and pipe lengths. After this, the model has been validated and different scenarios have been simulated with the aim of improving the energy efficiency of the pumping units by changing the setting pressures and by readjusting the irrigation shifts according to their electricity tariff. Finally, the results obtained with the relevant changes have been analyzed and the appropriate conclusions have been presented.

Keywords: Irrigation management, pressurised irrigation, energetic saving, Water Users Association, *Epanet v2.0*

Autora:

Carmen Ferreras López

Tutor:

D. Juan Manzano Juárez

Cotutor:

D. Miguel Ángel Jiménez Bello

Agradecimientos

Quisiera agradecer a la Comunidad de Regantes los datos que han podido facilitarme para poder llevar a cabo este trabajo, en especial a Juan y Salva, que han sido mi contacto directo.

A mis tutores, Miguel y Juan por darme las directrices a seguir y permitirme realizar este proyecto.

A mis padres, porque gracias a vosotros estoy escribiendo estas líneas, por apoyarme en cualquier decisión que tome y por enseñarme a ver la vida desde más de un punto.

A mis abuelos, porque habéis estado siempre pendientes de mí, porque con ese “adelante vida, que eres una campeona” me habéis hecho llegar la fuerza incluso estando a 700km de casa.

A Rocío, por las carcajadas que hacen que se te olvide cualquier día malo, por nuestro lenguaje no escrito, por todo lo que me has aguantado en este año lleno de cambios y por tu cariño incondicional. A mi Kiko, que sin querer te convertiste en mi familia aquí, en mi hermano. Ojalá otra vez puerta con puerta, menos mal que siempre nos quedarán las croquetas.

Y a ti, Belén, porque llegaste casi por casualidad y conseguiste darle una vuelta de 360° a mi cabeza. Por enseñarme lo que es la intensidad y la felicidad, aunque sea momentánea. Que nunca se acaben los viajes semi-perfectos con finales tranbólicos.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	1
III. CASO DE ESTUDIO	1
3.1 LOCALIZACIÓN	1
3.2 SITUACIÓN ACTUAL	1
3.3 DESCRIPCIÓN DE LA RED	2
3.3.1 GESTIÓN DEL RIEGO	2
3.3.2 CONSUMOS VOLUMÉTRICOS EN LOS CABEZALES DE RIEGO	2
3.3.3 TARIFA ELÉCTRICA CONTRATADA	5
3.3.4 CONSUMOS ELÉCTRICOS	6
IV. METODOLOGÍA	7
4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO	7
4.1.1 HERRAMIENTAS UTILIZADAS	7
4.1.2 ELEMENTOS DEL MODELO	9
4.1.3 ELECCIÓN DE LOS MESES REPRESENTATIVOS DE CONSUMO	12
4.1.4 CÁLCULO DE LA DEMANDA ACTUAL EN LOS PUNTOS DE CONSUMO	14
4.1.5 CURVAS DE MODULACIÓN	17
4.1.6 NECESIDADES TEÓRICAS DE RIEGO	18
4.2 ANÁLISIS DE LOS GRUPOS DE BOMBEO	19
4.3 VALIDACIÓN DEL MODELO	20
V. ANÁLISIS DE RESULTADOS	21
5.1 ESCENARIOS PLANTEADOS	21
5.2 VALIDACIÓN DEL MODELO	22
5.3 ANÁLISIS DE LOS GRUPOS DE BOMBEO	22
5.3.1 CABEZAL EL PLA	23
5.3.2 CABEZAL DE TERRABONA	26
5.3.3 CABEZAL COVA SANTA	27
5.3.4 CONCLUSIONES CONSUMOS ENERGÉTICOS	31
5.4 AHORRO POTENCIAL DEL COSTE EN EL CONSUMO ELÉCTRICO	32
5.4.1 CABEZAL DE EL PLA	32
5.4.2 CABEZAL DE TERRABONA	33
5.4.3 CABEZAL DE COVA SANTA	33
VI. PROPUESTAS DE ACTUACIÓN EN LA MEJORA DE LA GESTIÓN	34

VII. CONCLUSIONES	35
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	36
IX. ANEJOS	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Consumos enero-agosto del año 2018 en el cabezal de El Pla. Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.	3
Figura 2. Consumos enero-agosto del año 2018 en el cabezal de Terrabona. Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.	3
Figura 3. Consumos mensuales del cabezal de Cova santa para los años 2016 y 2017 según un servidor del grupo REDHISP del Instituto de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València. Fuente: elaboración propia.	4
Figura 4. Tarifa 3.1A, distribución anual de los periodos tarifarios. Fuente: elaboración propia con los datos proporcionados por Iberdrola (Iberdrola, 2018).	5
Figura 5. Evolución consumo eléctrico 2018. Cabezal El Pla. Periodo Pico (PP), periodo Llano (PLL), Periodo Valle (PV). Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.	6
Figura 6. Evolución consumo eléctrico 2018. Cabezal de Terrabona. Periodo Pico (PP), periodo Llano (PLL), Periodo Valle (PV). Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.	6
Figura 7. Evolución consumo eléctrico 2017. Cabezal de Cova Santa. Periodo Pico (PP), periodo Llano (PLL), Periodo Valle (PV). Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.	7
Figura 8. (Izquierda) Curva altura-Caudal. (Derecha) Curva Rendimiento-Caudal para las bombas situadas en el cabezal de EL Pla. Fuente: elaboración propia a partir del software de Epanet.	11
Figura 9. (Izquierda) Curva altura-Caudal. (Derecha) Curva Rendimiento-Caudal para las bombas situadas en el cabezal de Terrabona. Fuente: elaboración propia a partir del software de Epanet.	12
Figura 10. Consumos de los meses más representativos de 2018 en el cabezal de El Pla. Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.	13
Figura 11. Parcelas asociadas a un mismo punto de consumo. Subred perteneciente al cabezal de Cova Santa. Fuente: elaboración propia.	16
Figura 12. Patrón de consumo obtenido para el cabezal de Cova Santa en el mes de Julio. Fuente: elaboración propia.	17
Figura 13. Patrón de demanda de un hidrante visto en Epanet. Fuente: elaboración propia a partir del software de Epanet v2.0.	18
Figura 14. Ejemplo de la fluctuación diaria del rendimiento y el consumo específico de las bombas en el mes de mayo. Siendo μ_1 VSP el rendimiento de la bomba con velocidad fija, μ_2 y	

μ3 los rendimientos de las bombas con velocidad variable y CEVT el consumo específico energético en el Cabezal de El Pla durante un día completo. Fuente: elaboración propia.	20
Figura 15. (Izquierda) Hidrantes con presiones inferiores a las requeridas. (Derecha) mapa de isolíneas con distribución de demandas por colores. Mes de agosto. Cabezal de El Pla. Fuente: elaboración propia.	24
Figura 16.Comparación de rendimientos en los grupos de bombeo entre la situación actual y la potencial. Cabezal de El Pla. Fuente: elaboración propia.	25
Figura 17.Comparación de la energía consumida por día en cada periodo tarifario entre la situación actual y la potencial. Cabezal de El Pla. Fuente: elaboración propia.	25
Figura 18. Comparación del consumo específico energético en cada hora por metro cúbico promedio entre la situación actual y la potencial. Cabezal de El Pla. Fuente: elaboración propia.	25
Figura 19.Comparación de rendimientos en los grupos de bombeo entre la situación actual y la potencial. Cabezal de Terrabona. Fuente: elaboración propia.	27
Figura 20.Comparación de la energía consumida por día en cada periodo tarifario entre la situación actual y la potencial. Tarifa Periodo Valle (PV), tarifa Periodo Llano (PLL), tarifa Periodo Pico (PP). Cabezal de Terrabona. Fuente: elaboración propia.	27
Figura 21.Comparación del consumo específico energético en cada hora por metro cúbico promedio entre la situación actual y la potencial. Cabezal de Terrabona. Fuente: elaboración propia.	27
Figura 22. Representación de la elevación de cada nudo. Cabezal de Cova Santa. Mes de junio. Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos con el modelo elaborado de la red en Epanet v2.0.	28
Figura 23. Representación de la presión de cada nudo de la red mediante un mapa de contorno. Cabezal de Cova Santa. Mes de julio. Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos con el modelo elaborado de la red en Epanet v2.0.	29
Figura 24.Comparación de rendimientos en los grupos de bombeo entre la situación actual y la potencial. Cabezal de Cova Santa. Fuente: elaboración propia.	31
Figura 25.Comparación del consumo específico energético en cada hora por metro cúbico promedio entre la situación actual y la potencial. Cabezal de Cova Santa. Fuente: elaboración propia.	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Errores asociados a la base de datos de un servidor del grupo REDHISP del Instituto de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València. Fuente: elaboración propia.	4
Tabla 2. Precios tarifa 3.1A. Fuente: elaboración propia a partir de los datos proporcionados por Iberdrola. Periodo Pico (PP), periodo Llano (PLL), Periodo Valle (PV). (Iberdrola, 2018)	5
Tabla 3. Rugosidad asociada a cada tipo de tubería existente en la red. Fuente: elaboración propia.	10
Tabla 4. Diámetros interiores normalizados de las tuberías secundarias existentes en la red. Fuente: elaboración propia a partir de datos de proyectos CC. RR y (CEDEX, 2002)	10
Tabla 5. Diámetros nominales de las tuberías principales existentes en la red. Fuente: elaboración propia a partir de datos de proyectos CC. RR y (CEDEX, 2002).....	10
Tabla 6. Consumos de los meses representativos y días elegidos de simulación en el cabezal de El Pla. Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.....	14
Tabla 7. Consumos de los meses representativos y días elegidos de simulación en el cabezal de Terrabona. Fuente: Elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.	14
Tabla 8. Localización estación agroclimática en el T.M de Picassent. Fuente: (IVIA, 2018)	19
Tabla 9. Comparación de consumos entre la realidad y el modelo creado. Cabezal de Terrabona y El Pla. Fuente: elaboración propia.....	20
Tabla 10. Comparación de consumos entre la realidad y el modelo creado. Cabezal de Cova Santa. Fuente: elaboración propia.	20
Tabla 11. Comparación de las potencias máximas consumidas entre la realidad y el modelo creado. Cabezal de Terrabona y El Pla. Fuente: elaboración propia	21
Tabla 12. Comparación de las potencias máximas consumidas entre la realidad y el modelo creado. Cabezal de Cova Santa. Fuente: elaboración propia.....	21
Tabla 13. Hidrantes con presiones menores a las mínimas. Fuente: Elaboración propia.	23
Tabla 14. Hidrantes con presión inferior a 25mca y demanda en el instante 6.00h. Cabezal de Cova Santa. Mes de junio Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos con el modelo elaborado de la red en Epanet v2.0.....	28
Tabla 15. Tomas con presión inferior a 25mca y demanda en el instante 3.00h. Cabezal de Cova Santa. Mes de agosto. Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos con el modelo elaborado de la red en Epanet v2.0.	30

Tabla 16. Estimación del ahorro potencial en el cabezal de El Pla tras aplicar las medidas propuestas. Fuente: elaboración propia	32
Tabla 17. Estimación del ahorro potencial en el cabezal de Terrabona tras aplicar las medidas propuestas. Fuente: elaboración propia	33
Tabla 18. Estimación del ahorro potencial en el cabezal de Terrabona tras aplicar las medidas propuestas. Fuente: elaboración propia	33

ABREVIATURAS

- CC.RR - Comunidad de Regantes
- IDAE - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
- IDE - Índice de Dependencia energética
- IVIA - Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias
- KML - Keyhole Markup Language
- MAPA - Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación
- mca - Metros de Columna de Agua
- msnm - Metros Sobre el Nivel del Mar
- PCMR - Plan de Choque de Modernización de Regadíos
- PNR - Plan Nacional de Regadíos
- SIG - Sistema de Información Geográfica

I. INTRODUCCIÓN

El uso y la disponibilidad del agua ha tenido un papel fundamental en el desarrollo de todas las civilizaciones. Hoy en día este hecho no ha cambiado y mucho menos en nuestro país, siendo España la región europea con la mayor superficie potencial de desertificación, teniendo dos terceras partes del territorio catalogadas como áridas, semiáridas o subhúmedas secas (MAPA, 2019).

La mayor parte de las ayudas recibidas por parte de las administraciones públicas, en cuestión de regadío, se han enfocado en fomentar la eficiencia en el uso del agua dentro del sector agrícola (Corominas, 2010). El Plan Nacional de Regadíos (PNR) se ha centrado en tecnificar los regadíos para así poder reducir la huella hídrica y mejorar la eficiencia en el uso del agua (Willaarts & Mayor, 2017). Tras la implementación de este y otros planes como el Plan de Choque de Modernización de Regadíos (PCMR) o el Fondo Europeo Agrario de Desarrollo Rural (FEADER) el sistema y la técnica de riego han dado un giro radical, permitiendo un aumento de la productividad y una disminución de la vulnerabilidad de los cultivos ante la escasez hídrica (Corominas, 2010).

En España la superficie regada total es de 3.774.286 ha, lo que supone un 22.18% respecto de la superficie total ocupada por cultivos (ESYRCE, 2018). En las últimas dos décadas, alrededor de un millón de estas hectáreas se han modernizado (García Morillo, et al., 2018) pasando de un sistema de riego tradicional por gravedad a un sistema más tecnificado con riego localizado ya sea por aspersión o goteo. Desde el año 2.000 hasta el 2.016 aumentó en un 76% el riego por goteo en detrimento del riego por gravedad que descendió en un 60% (INE, 2019). Actualmente, el sistema por riego localizado representa el 51.37%, el riego por aspersión un 15,28% y el riego por gravedad un 24.06% (ESYRCE, 2018).

La modernización de los sistemas de distribución de agua en el sector agrícola se basa mayoritariamente en la sustitución de canales y acequias por conducciones presurizadas, permitiendo conectar en las parcelas sistemas de riego a presión eficientes. Con esto se consigue gestionar mejor los consumos y eliminar las pérdidas por evaporación y filtración. La presurización de estas redes conlleva la necesidad de un sistema de bombeo continuo en la mayoría de los casos, ya sea por la topografía de la red, que no permite suministrar el agua por gravedad, o por la extracción del agua que necesariamente tiene que obtenerse de aguas no superficiales. Con estas instalaciones se consigue una mayor eficiencia hídrica que va ligada a una mayor ineficiencia energética (Corominas, 2010). De hecho, en las últimas décadas el consumo de agua se ha reducido en un 20% (IDAE, 2008), mientras que el consumo energético se ha incrementado en un 657% (García Morillo, et al., 2018). Este dato es alarmante, teniendo en cuenta la situación en la que nos encontramos con el cambio climático, ya que para paliarlo es necesario minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero ocasionados por el aumento de los requerimientos energéticos.

En consecuencia, el coste de la factura eléctrica en los grandes usuarios del agua, como son las Comunidades de Regantes (CC. RR) es muy alto (Del Campo, 2014). Es por ello por lo que el Instituto del IDAE con la colaboración del MAPA, elaboraron en 2.008 una serie de documentos técnicos (Ruiz-Rodríguez, et al., 2015) con los cuales se presentan una serie de recomendaciones y estrategias con las que poder conseguir un ahorro y una mayor eficiencia energética.

La eficiencia energética en las CC. RR viene muy determinada por el diseño hidráulico de la red de distribución (IDAE, 2008) y por un buen mantenimiento y gestión de sus instalaciones. Una

buena gestión, desde el punto de vista hidráulico, “supone distribuir la cantidad de agua a los puntos de consumo con la presión requerida haciendo un mínimo uso de la energía y minimizando el coste de ésta en el caso de que no pueda distribuirse por gravedad” (Alonso Campos, et al., 2017).

Una vez que la red de riego ya está ejecutada y en funcionamiento, la manera de mejorar la eficiencia energética y también de reducir el coste energético, sin que ello suponga una inversión importante, consiste en disminuir el consumo específico de energía (kWh m^{-3}) y ajustar el funcionamiento del grupo de bombeo a los periodos tarifarios más baratos. Para disminuir este consumo, el IDAE recomienda la distribución de la organización del riego en sectores o turnos (IDAE, 2008), ajustar el funcionamiento de los grupos de bombeo, lo que implica reducir la altura manométrica de las bombas y operar en los puntos óptimos de rendimiento (Alonso Campos, et al., 2017), así como instalar bombas en paralelo con variadores de velocidad, permitiendo de esta manera suministrar el caudal demandado y la presión requerida con un consumo mínimo de energía.

Las redes pueden tener una organización del riego a la demanda o bien por turnos o sectores. Con la primera forma, los regantes disponen de un uso flexible de la red en cuanto a tiempo y cantidad del agua que utilizan. Esto supone un uso irracional de la red (Jiménez Bello, 2008) haciendo que las estaciones de bombeo tengan que proporcionar el caudal y la presión suficiente que se demanda en cada momento y, al mismo tiempo, asegurar una mínima presión de funcionamiento en el hidrante más desfavorable. Estas presiones mínimas se consiguen a base de bombear más y provocar presiones excesivas en otros puntos de la red. En el segundo caso, con una organización sectorizada y, por tanto, más restringida, la altura de presión que tienen que suministrar los grupos se reduce al igual que el consumo energético (IDAE, 2008).

Para poder asesorar y mejorar la gestión de una red se necesita de la elaboración de un modelo matemático con el que los parámetros y condiciones impuestas se puedan interrelacionar. Esto implica realizar una serie de procesos previos entre los que destacan la recopilación de gran cantidad de información y la depuración de ésta para que pueda ser procesada por los programas de análisis. Para ello, se utilizan herramientas como los sistemas de información geográfica (SIG) que presentan múltiples funcionalidades y permiten representar la distribución y elementos de la red de manera precisa. Los atributos fijados a cada elemento en el SIG son necesarios para su posterior lectura en *Epanet v2.0*. Con esta última herramienta se puede simular el comportamiento del modelo creado, así como comenzar a vislumbrar los puntos críticos de la red.

La calibración de un modelo presenta muchas más incógnitas que ecuaciones por lo que se trata de un problema indeterminado. La metodología utilizada hasta el momento para resolver este tipo de problemas son los métodos basados en el gradiente y los métodos de búsqueda estocástica o algoritmos genéticos (Jiménez Bello, 2008). Este tipo de técnicas de optimización, junto con el modelo hidráulico, permiten mejorar la gestión en la red de distribución. Dependiendo del grado de precisión al que se quiera llegar y a los datos de partida de los que se disponga, se podrá elegir un método u otro.

Sin embargo, el diseño o la mejora de redes ya existentes, no puede concebirse únicamente como una relación de expresiones matemáticas, sino que deberían tenerse en cuenta otros aspectos como la información y formación de los usuarios directos, como son los regantes, los gestores de la red y los guardas (IDAE, 2008).

II. OBJETIVOS

El objetivo principal de este estudio es saber cuál es la situación actual de la gestión del Sector X del Canal Júcar-Turia en Picassent a nivel hidráulico y energético, así como analizar cuáles podrían ser las mejores alternativas de mejora de gestión del riego.

En cuanto a los objetivos secundarios, cabe destacar la recopilación de la información hidráulica y del funcionamiento de la red, la construcción de un modelo hidráulico y la propuesta de medidas en las operaciones de riego y en el equipamiento de la red.

III. CASO DE ESTUDIO

3.1 LOCALIZACIÓN

La red de riego se encuentra en la margen derecha del canal Júcar-Turia, perteneciente al término municipal de Picassent, situado en la comarca de L' Horta Sur en la provincia de Valencia (*ANEJO I. PLANOS - PLANO N.º 1 SITUACIÓN*).

3.2 SITUACIÓN ACTUAL

El presente estudio se va a centrar en evaluar el Sector X del canal Júcar-Turia, el cual está compuesto por un total de 1519 ha. En la actualidad, los cultivos predominantes son los cítricos que presentan un 81% de la superficie, seguido del caqui con el 10 % (CCRR, 2011).

Este sector cuenta con una balsa de regulación de 45.000 m³ la cual es abastecida por una toma del canal Júcar-Turia. De esta balsa sale una conducción principal que abastece a un sistema compuesto por cinco cabezales de riego que distribuyen el agua a las correspondientes subredes (*ANEJO I. PLANOS - PLANO N.º 2 DISTRIBUCIÓN DE SUBREDES EN EL SECTOR X*). Actualmente, todo el sector cuenta con un sistema de riego localizado e inyección de abonado en el mismo. Sin embargo, solo dos de los cabezales tienen incorporado la automatización de la red a nivel de toma para el riego comunitario. Estos dos cabezales son El Pla y Terrabona, los cuales presentan una organización del riego por turnos programados, los tres cabezales restantes - Lloma Espinosa, Canya Redona y Cova santa - cuentan con una organización de riego a la demanda.

La topografía de la red presenta desniveles relativos de hasta 37 m, siendo la cota más baja de 38.05 m y las más alta de 75.11, aunque dentro del mismo cabezal las variaciones de cota son menores como es el caso de Cova Santa (*ANEJO I. PLANOS - PLANO N.º 5 SUBRED DE COVA SANTA*) con 22.15 m de desnivel o El Pla con 12.3 m de desnivel (*ANEJO I. PLANOS PLANO N.º 3 SUBRED DE EL PLA*).

El índice de dependencia energética (IDE) en todo el sector es del 100%, este índice indica el porcentaje del total del agua suministrada que es bombeada.

3.3 DESCRIPCIÓN DE LA RED

3.3.1 GESTIÓN DEL RIEGO

A principio de los años 90 comienza la transformación del Sector X, en ella se realiza el cambio del riego tradicional (por inundación) a riego localizado (por goteo). Para llevar a cabo esta transformación se aprovecharon las conducciones de riego existentes para conectar con la red de riego localizado. Más adelante se ejecutaron en dos fases las obras que actualmente están en funcionamiento: en la primera fase se pone en funcionamiento el cabezal de Lloma Espinosa, Canya Redona y Cova Santa, a estos se les dota de presión e inyección de abonado en la red. En la segunda fase se ejecutan las subredes del cabezal de Terrabona y El Pla en los que además de la presurización e inyección de abonado se incorpora la automatización del riego comunitario (CCRR, 2011). Para poder abastecer de agua a este sector se construyó una balsa de regulación en 2005 de 45.000 m³ de capacidad. Actualmente coexisten en el sector dos tipos diferentes de organización del riego:

- **Organización del riego a la demanda sin automatización:** en este caso el usuario puede hacer uso del agua cuando quiera y durante el tiempo que considere necesario sin tener prefijado un horario estricto. Las zonas que presentan esta organización, como ya se ha comentado anteriormente, cuentan con tomas individuales a nivel de parcela y son las correspondientes a Lloma Espinosa, Canya Redona y Cova Santa.
- **Organización del riego por turnos o sectores con automatización:** en este caso el usuario tiene un periodo de tiempo preestablecido en el que puede regar, hecho que hace posible la gestión comunitaria. Estas zonas, como ya se ha comentado anteriormente, son las correspondientes a Terrabona y El Pla.

3.3.2 CONSUMOS VOLUMÉTRICOS EN LOS CABEZALES DE RIEGO

3.3.2.1 Subred de El Pla y Terrabona

Se dispone de varios datos correspondientes a distintos años de estas subredes, aunque es del año 2018 del que más datos se disponen de manera detallada. Se cuenta con los datos de consumo tanto de volumen de agua de riego como energético de los meses comprendidos entre enero y agosto, ambos inclusive. Para poder representar más adelante el funcionamiento de cada subred y simular el comportamiento actual, se analizarán los datos de consumo de agua de riego de cada mes para cada cabezal (Punto 4.1.3) con el fin de seleccionar los meses tipo o que más se ajusten al funcionamiento real de la red durante todo el año.

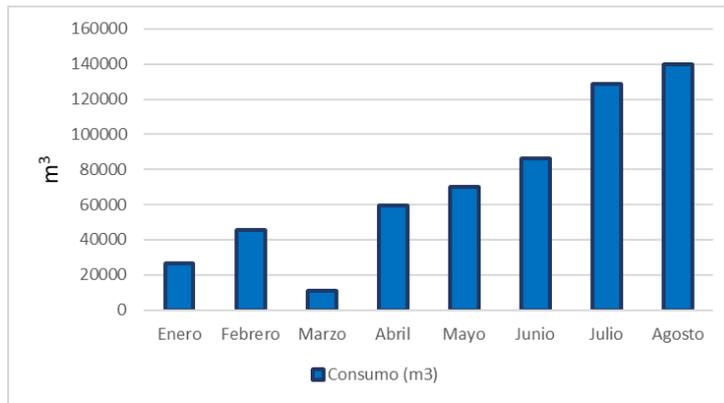


Figura 1. Consumos enero-agosto del año 2018 en el cabezal de El Pla. Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.

Se puede apreciar el aumento progresivo del consumo conforme pasan los meses coincidiendo con las mayores necesidades de los cultivos. En el mes de marzo hubo fuertes precipitaciones por lo que solo fue necesario realizar un riego a la semana de corta duración.

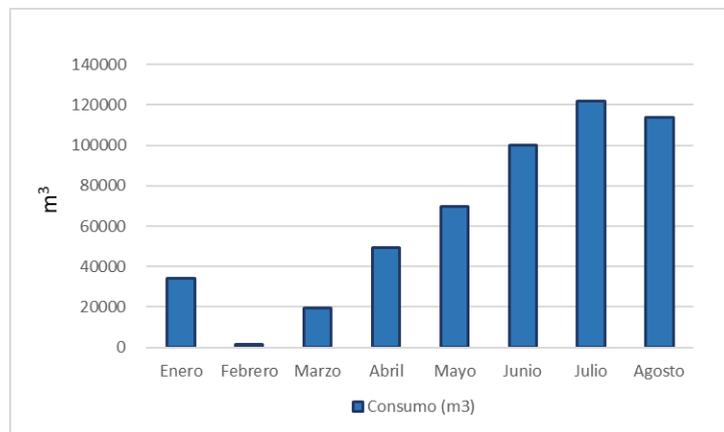


Figura 2. Consumos enero-agosto del año 2018 en el cabezal de Terrabona. Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.

En este cabezal se observa una tendencia semejante al anterior, sin embargo, el mes con más consumo volumétrico ha sido agosto, mientras que febrero ha sido el de menor consumo. Este consumo no ha sido tan bajo, sino que ha habido un fallo en la toma de datos de los contadores -según los gestores de la CC. RR.-

3.3.2.2 Subred de Cova Santa

En esta subred se dispone de los volúmenes totales, a nivel de cabezal cada 5 minutos, - obtenidos a partir de un caudalímetro cuya señal se recoge en un servidor. Se dispone de los consumos medidos en toma por los contadores; pero no se dispone de información sobre cuando se ha repartido dicho volumen a lo largo del tiempo. En la Figura 3 se muestran los consumos mensuales registrados en el cabezal a lo largo del año 2016 y 2017.

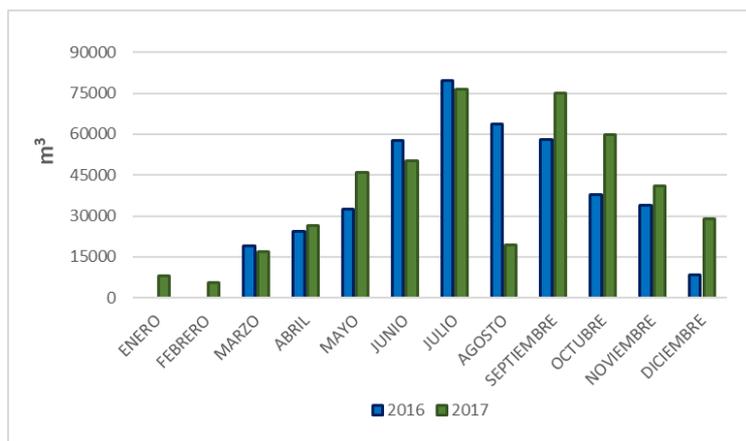


Figura 3. Consumos mensuales del cabezal de Cova santa para los años 2016 y 2017 según un servidor del grupo REDHISP del Instituto de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València. Fuente: elaboración propia.

En estos datos hay una serie de anomalías o errores que se han producido en el servidor. Se observa que el consumo de agosto en 2017 es muy bajo, esto se debe a que ha habido 23 días en los que no se han recogido datos ya que el servidor no funcionó. En 2016 no ha habido datos de enero y febrero.

En la Tabla 1 se muestra el número de horas de riego en las que no se han obtenido datos, así como el error que supone esta falta de datos en el total. En 2017 hay un error más pequeño en general por lo que se tomarán los consumos de ese año, aunque en el mes de agosto se cogerán los consumos de 2016 ya que así se conseguirá una mayor fiabilidad del modelo.

Tabla 1. Errores asociados a la base de datos de un servidor del grupo REDHISP del Instituto de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de València. Fuente: elaboración propia.

	2016					2017					
	MES	H	NULL	HORAS	DÍAS	% error	H	NULL	HORAS	DÍAS	% error
HORAS TOTALES MES = 745	ENERO	SIN DATOS						8	8	0,3	1,1
	FEBRERO	SIN DATOS					77	24	101	4	13,6
	MARZO	185		185	8	24,8		5	5	0,2	0,7
	ABRIL	23	160	183	8	24,6	23	121	144	6	19,3
	MAYO	5	75	80	3	10,7	29		29	1	3,9
	JUNIO	23	81	104	4	14,0	29	108	137	6	18,4
	JULIO		22	22	1	3,0		15		0,6	0,0
	AGOSTO	122	26	148	6	19,9	553	2	555	23	74,5
	SEPTIEMBRE	95	29	124	5	16,6	23	1	24	1	3,2
	OCTUBRE	39	6	45	2	6,0		2		0,1	0,0
	NOVIEMBRE	23	50	73	3	9,8	94		94	4	12,6
	DICIEMBRE		12	12	1	1,6					0,0
			976	41	13,1			1097	46,4	12,3	

Como no se dispone de datos de consumo tan detallados para el resto de los cabezales con riego por demanda, Canya Redona y Lloma Espinosa, se ha tomado el patrón de Cova Santa como referencia. Los días en los que no hay datos disponibles se asumen como similares a los inmediatamente más cercanos. De Cova Santa también se dispone de las lecturas de los contadores cada tres meses, siendo la lectura más completa la correspondiente al 15 de septiembre que engloba la lectura de la segunda quincena de junio, julio, agosto y la primera quincena de septiembre.

3.3.3 TARIFA ELÉCTRICA CONTRATADA

La tarifa eléctrica para los cinco cabezales es la 3.1 A, la cual va dirigida a instalaciones con potencia contratada de hasta 450 KW (BOE, 2001). La tarifa se divide en tres periodos cuya facturación es distinta, estos se denominan periodo Valle, Llano y Punta, siendo el periodo Valle el que supone menor coste y el Punta el que más (Tabla 2). En la Figura 4 se detalla la distribución horaria de cada periodo a lo largo del año, la cual está condicionada según el día de la semana (lunes a viernes o sábados, domingos y festivos) y la estación del año a la que pertenezca (verano o invierno).

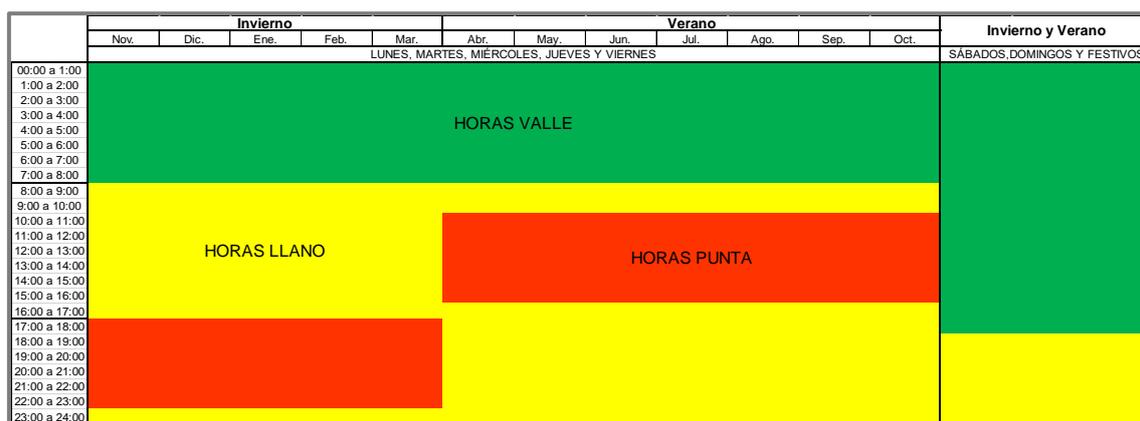


Figura 4. Tarifa 3.1A, distribución anual de los periodos tarifarios. Fuente: elaboración propia con los datos proporcionados por Iberdrola (Iberdrola, 2018).

Como se aprecia en la Figura 4, lo ideal sería regar entre las 00:00 h y las 8:00 h entre semana y de 00:00 h a 18:00 h los sábados, domingos y festivos nacionales o en su defecto en las horas de periodo llano, evitando siempre las horas en periodo punta cuyo coste es superior a los dos periodos anteriores.

La potencia contratada para cada periodo horario en los distintos cabezales es la siguiente:

- C. El Pla: 20 kW (PP), 80 kW (PLL), 127 kW (PV).
- C. Terrabona: 20 kW (PP), 70 kW (PLL), 70 kW (PV).
- C. Cova Santa: 50 kW (PP), 50 kW (PLL), 50 kW (PV).

La balsa que abastece a todo el sector X también cuenta con una estación de bombeo. La tarifa contratada para ésta es la misma y la potencia es de 20 kW (PP), 80 kW (PLL), 127 kW (PV). Los precios de la tarifa 3. A son los que se representan en la Tabla 2.

Tabla 2. Precios tarifa 3.1A. Fuente: elaboración propia a partir de los datos proporcionados por Iberdrola. Periodo Pico (PP), periodo Llano (PLL), Periodo Valle (PV). (Iberdrola, 2018)

Periodo Tarifario	Potencia (€/kW día)	Energía (€/kWh)
PP	0,163254	0,099691
PLL	0,100674	0,087935
PV	0,023086	0,063632

3.3.4 CONSUMOS ELÉCTRICOS

Se dispone de los consumos eléctricos correspondientes al intervalo entre enero y agosto de 2018 para los cabezales de El Pla y Terrabona.

En la Figura 5 se muestran los consumos a lo largo del año 2018 en el cabezal de El Pla. Se han diferenciado por colores según el periodo en el que se haya consumido la energía, ya que el precio de la tarifa cambia sustancialmente como se ha comentado en el punto anterior.

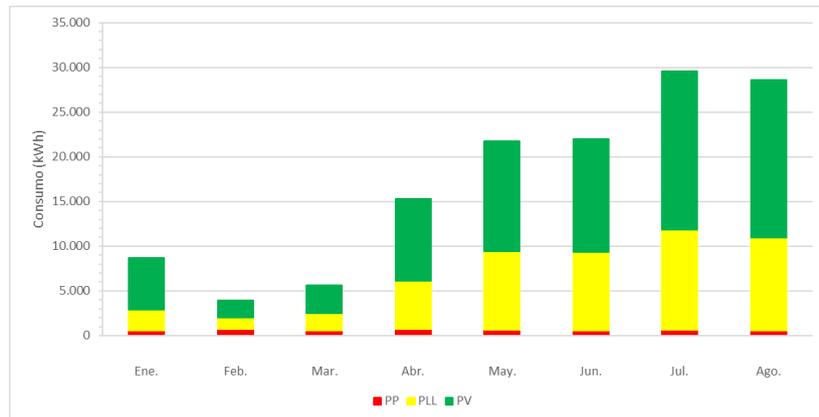


Figura 5. Evolución consumo eléctrico 2018. Cabezal El Pla. Periodo Pico (PP), periodo Llano (PLL), Periodo Valle (PV). Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.

Se puede apreciar como el aumento progresivo del consumo eléctrico coincide con el mayor requerimiento del cultivo en cuanto a necesidades hídricas. Febrero es el mes de menor consumo eléctrico, apenas llega a los 4.000 kWh, sin embargo, presenta el mayor porcentaje de consumo (17,4%) en periodo pico respecto al resto de meses. Julio ha sido el mes con mayor consumo, llegando a casi a los 30.000 kWh. En todos los meses se puede apreciar un mayor porcentaje de consumo en el Periodo Valle (PV) frente al periodo llano (PLL) o pico (PP), siendo este último del orden del 6,1 % de media respecto al total.

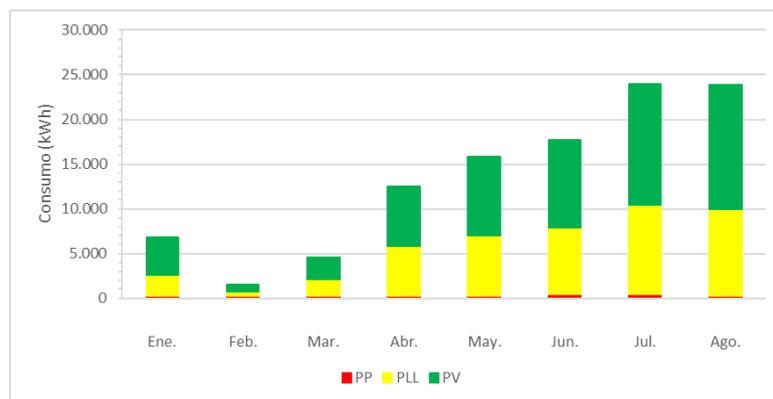


Figura 6. Evolución consumo eléctrico 2018. Cabezal de Terrabona. Periodo Pico (PP), periodo Llano (PLL), Periodo Valle (PV). Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.

En la Figura 6 se muestran los consumos eléctricos correspondientes al cabezal de Terrabona. Al igual que el cabezal de El Pla, los consumos aumentan progresivamente hasta alcanzar los máximos en el mes de julio, aunque en este cabezal este máximo es menor, siendo inferior a 24.000 kWh, además, este cabezal se ajusta más a los periodos tarifarios más baratos (PV y PLL).

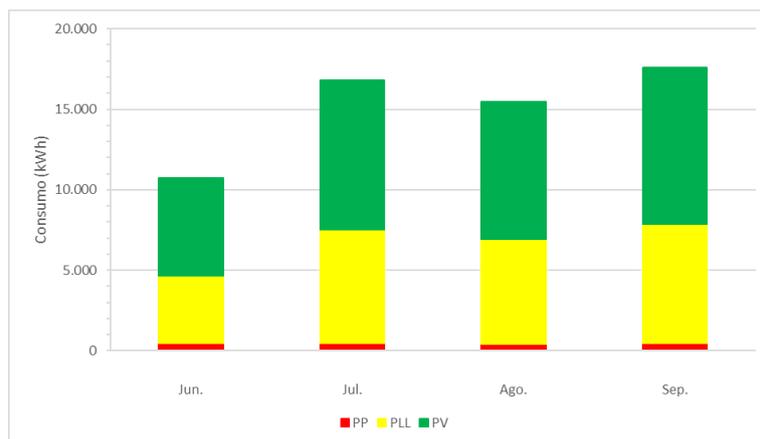


Figura 7. Evolución consumo eléctrico 2017. Cabezal de Cova Santa. Periodo Pico (PP), periodo Llano (PLL), Periodo Valle (PV). Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.

En la Figura 7 se muestran los consumos correspondientes al cabezal de Cova Santa. Se muestran los consumos de los meses que posteriormente se van a estudiar dada la disponibilidad de los datos. Este cabezal es el que menos requerimientos energéticos necesita, llegando a un máximo de 17.600 kWh en el mes de septiembre. Como se observa, en todos los meses hay consumos en el periodo tarifario que supone mayor coste (PP), aunque el mayor consumo se produce en el resto de periodos más baratos.

IV. METODOLOGÍA

4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO

La implementación o carga del modelo consiste en asignar una demanda base y una curva de modulación a los puntos de consumo (Jiménez Bello, 2008) ya sean hidrantes o tomas. La manera de cargar el modelo para las redes de riego ha llevado caminos distintos, aunque ambos han tenido el mismo fin, debido a que los datos de los que se dispone tienen distinto nivel de detalle según la automatización de la que dispone cada subred.

4.1.1 HERRAMIENTAS UTILIZADAS

Para poder crear el modelo hidráulico del sistema de riego del Sector X, en un primer momento se parte de un fichero *Keyhole Markup Language* (KML) en el que se muestra una aproximación de los elementos que componen la red de distribución de todo el sector X. Sin embargo, el trazado no es preciso y resulta difícil discernir qué trazos son correctos y cuáles no. Por ello, se decide partir de cero y crear la red de nuevo para conseguir una mayor precisión y mejor representación de los elementos para la generación del modelo hidráulico. Para ello se han consultado los proyectos con los que se ejecutó la obra de la red inicialmente para poder completar la información existente en el archivo KML.

La parte de la red correspondiente a los tres cabezales sin modernizar es la que más trabajo ha supuesto, puesto que estas obras se proyectaron en 2001 y se han utilizado los proyectos de diseño originales. Además, los trazados proyectados en los planos originales, en muchos casos,

no coinciden con la ejecución de la obra. También en la CC.RR. cada toma tiene un código diferente al que tuvieron en un principio por lo que la asignación de cada parcela a la toma y su consumo ha supuesto otro inconveniente.

4.1.1.1 Sistemas de Información Geográfica (QGIS)

La elaboración de un modelo hidráulico requiere de la recopilación de gran cantidad de información y de la depuración de la misma para que pueda ser entendida por los programas de análisis.

Se ha utilizado QGIS 2.18. como Sistema de Información Geográfica de código abierto (QGIS, 2018) para realizar el trazado de la red. Esta herramienta ofrece múltiples funcionalidades. Para este trabajo se han utilizado las siguientes:

- Ver y sobreponer datos vectoriales y ráster en diferentes formatos y proyecciones.
- Explorar datos espaciales: Reproyección al vuelo, gestor de base de datos, editar/ver/buscar atributos, etiquetado de elementos definidos...
- Crear, editar, administrar y exportar capas vectoriales y ráster: digitalización de mapas, creación y edición de archivos *shape*, complementos de georreferenciación.
- Utilización de complementos.
- Exportar archivos.

En él, se han ido creando diferentes capas según la naturaleza de cada elemento. Los atributos que se les han impuesto han sido los necesarios para la posterior lectura de la red en la herramienta de software libre de EPANET v2.0 (EPA, 2018); para ello se ha seguido la estructura que proporciona el complemento de *GHydraulics* (Epanet.de, 2018) para crear y exportar el archivo en formato .inp, fichero que lleva asociadas todas las características de la red trazada y que lee EPANET v2.0 de manera automática para poder simular el comportamiento de la misma.

Uno de los atributos indispensables es la cota de los nudos que conforman la red. Para determinarlos se ha usado el Modelo Digital de Elevaciones (MDE o MDT) con una resolución de 5 m. Usando la función *point sampling tools* se ha conseguido obtener la altimetría de nudos, balsa y cabezales de todo el sector.

En los sectores modernizados (Pla y Terrabona) se ha respetado la identificación de los hidrantes tal y como se usan en la CC.RR., sin embargo, en los otros tres sectores, la identificación del plano no coincide con la que reciben los hidrantes por la CC.RR. y por tanto esto supone una confusión a la hora de correlacionar la información.

Tras haber trazado la red y su cartografía, ésta se exporta a EPANET v2.0 como se ha indicado antes.

4.1.1.2 EPANET

Epanet es una herramienta utilizada para realizar una simulación en período extendido del comportamiento hidráulico y de la calidad del agua dentro de las redes de tuberías presurizadas, que consisten en tuberías, nudos (uniones), bombas, válvulas, tanques de almacenamiento y depósitos. Se puede usar para rastrear el flujo de agua en cada tubería, la presión en cada nudo, la altura del agua en cada tanque, concentración química, diseñar y dimensionar una nueva infraestructura, modernizar la infraestructura existente, optimizar las operaciones de tanques y

bombas, reducir el uso de energía, investigar problemas de calidad del agua, entre otras (EPA, 2018).

EPANET simplifica el proceso de creación de modelos de red de tuberías y edición de sus propiedades y datos. Los elementos utilizados en esta herramienta y sus características se explican en los siguientes epígrafes.

4.1.2 ELEMENTOS DEL MODELO

4.1.2.1 TUBERÍAS

Para la simulación del modelo es necesario conocer la longitud y el diámetro interior. La longitud se ha calculado a través de la calculadora de campos de la herramienta QGIS y el diámetro se ha obtenido a partir de auditorías realizadas a la CC.RR.

Es importante conocer el material, el tiempo que llevan en funcionamiento y el estado de conservación. Con estos parámetros se puede estimar la rugosidad actual que presentan las tuberías, siendo esta variable muy importante para calibrar el modelo.

Para tener una aproximación de la rugosidad de las tuberías, se ha aplicado la fórmula de Genijew ya que este criterio *“es el más efectivo al modificar la rugosidad absoluta del tubo nuevo, de acuerdo con el tipo de agua que va a escurrir y el número de años de servicio”* (Ávila Sotelo, 1974).

$$\varepsilon_t = \varepsilon_0 + \alpha * t$$

Siendo:

- ε_t : Rugosidad de la tubería tras t años de servicio en mm
- ε_0 : Rugosidad inicial de la tubería nueva en mm
- α : Coeficiente dependiente de las características del agua
- t : Número de años en servicio de las tuberías

En este caso las tuberías secundarias de todo el sector son de PVC, por lo que la rugosidad inicial equivale a 0.007 mm. Las tuberías principales son fibrocemento por lo que $\varepsilon_0 = 0.0025$. Para el coeficiente α , se ha escogido el tipo de agua II, correspondiente con agua de bajo contenido mineral que origina corrosión y contiene menos de 3mg/l de materia orgánica y hierro en solución dependiente del tipo de agua, ya que es el grupo que más se ajusta según un análisis de agua facilitado por la CC. RR; por lo que α toma un valor medio de 0.07.

Las tuberías de PVC correspondientes a El Pla y Terrabona datan del 2005, las de Cueva Santa son del año 2000 y las tuberías principales de fibrocemento y hormigón armado son del año 1985 aproximadamente. Por lo que, las rugosidades (ε_t) a aplicar serían las que se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3. Rugosidad asociada a cada tipo de tubería existente en la red. Fuente: elaboración propia.

Cabezal	Material	ϵ_0	α	t	ϵ_t
El Pla	PVC	0,007	0,07	12	0,847
Terrabona	PVC	0,007	0,07	12	0,847
Cova Santa	PVC	0,007	0,07	17	1,197
Tuberías principales	Fibroceso	0,025	0,07	32	2,265

Los diámetros interiores normalizados de los distintos tipos de tuberías se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Diámetros interiores normalizados de las tuberías secundarias existentes en la red. Fuente: elaboración propia a partir de datos de proyectos CC. RR y (CEDEX, 2002)

Material	DN (mm)	PN (Mpa)	Di (mm)
PVC	315	0,6	296,6
PVC	250	0,6	235,4
PVC	200	0,6	188,2
PVC	160	0,6	150,6
PVC	140	0,6	131,8
PVC	125	0,6	117,6
PVC	110	0,6	103,6
PVC	90	0,6	84,6
PVC	75	0,6	70,6
PVC	63	0,6	59,2
PVC	50	0,6	46,4

Los diámetros nominales de las tuberías principales son los siguientes:

Tabla 5. Diámetros nominales de las tuberías principales existentes en la red. Fuente: elaboración propia a partir de datos de proyectos CC. RR y (CEDEX, 2002)

Material	DN (mm)
FIBROCEMENTO	1100
FIBROCEMENTO	900
FIBROCEMENTO	500
FIBROCEMENTO	350

4.1.2.2 BALSA

La balsa que abastece a todo el Sector X toma el agua del canal Júcar-Turia por su margen derecha. Está situada a una cota de 66,84 msnm y cuenta con una capacidad de 45.000 m³. (ANEJO I. PLANOS - PLANO N.º 2 DISTRIBUCIÓN DE SUBREDES EN EL SECTOR X)

4.1.2.3 ESTACIONES DE BOMBEO

Los datos necesarios de las estaciones de bombeo para poder implementarlos en el modelo hidráulico son los siguientes:

- Número de bombas que hay en cada cabezal o balsa.
- Curva característica de cada bomba. Curva motriz y curva de rendimiento.
- Número de bombas que están en activo o funcionan normalmente.
- Características específicas del modelo (según el fabricante).
- El total del caudal que suministra cada grupo.
- Si las bombas cuentan con variador de frecuencia o no.

- La capacidad de la balsa desde la cual se abastecen.

CABEZAL DE EL PLA

El cabezal de El Pla se encuentra a una cota de 67 msnm, cuenta con tres bombas idénticas centrífugas agrupadas en paralelo. Dos de ellas disponen de variador de frecuencia. A partir de los datos suministrados por la CC.RR. se solicitó a la marca comercial las especificaciones técnicas de las mismas:

- Modelo: Bomba centrífuga Etanorm ETN 100-080-200 GD303702B
- Caudal nominal: 135 m³/h
- Altura nominal: 60,50 m
- Caudal mínimo 29,29m³/h
- Eficiencia: 78,4 %
- Rendimiento del motor a plena carga: 93,7 %

A continuación, se muestran las curvas características de la bomba tanto la curva motriz, como la curva de rendimiento (Figura 8). No obstante, en el ANEJO IV. ANÁLISIS DE LA GESTIÓN EN LOS GRUPOS DE BOMBEO, se muestran con más detalle los valores y las ecuaciones de dichas curvas para realizar el análisis de los grupos de bombeo durante el funcionamiento de la red.

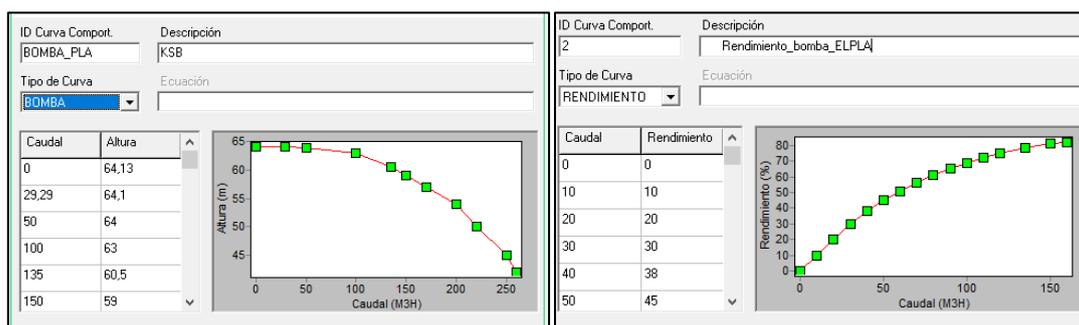


Figura 8. (Izquierda) Curva altura-Caudal. (Derecha) Curva Rendimiento-Caudal para las bombas situadas en el cabezal de EL Pla. Fuente: elaboración propia a partir del software de Epanet.

CABEZAL DE TERRABONA

El cabezal Terrabona se encuentra a una cota de 59,76 msnm, cuenta con dos bombas idénticas centrífugas agrupadas en paralelo. Ambas disponen de variador de frecuencia. A partir de los datos suministrados por la CC.RR. se solicitó a la marca comercial las especificaciones técnicas de las mismas:

- Modelo: Bomba centrífuga Etanorm ETN 100-080-200 GGSAA11GD304502B
- Caudal de bombeo requerido: 214 m³/h
- Altura de bombeo requerida: 51 m
- Caudal mínimo requerido: 29,07 m³/h
- Eficiencia: 83,3 %
- Rendimiento del motor a plena carga: 94 %

A continuación, se muestran las curvas características de la bomba tanto la curva motriz, como la curva de rendimiento (Figura 9). No obstante, en el ANEJO IV. ANÁLISIS DE LA GESTIÓN EN LOS GRUPOS DE BOMBEO se muestran con más detalle los valores y las ecuaciones de dichas curvas.

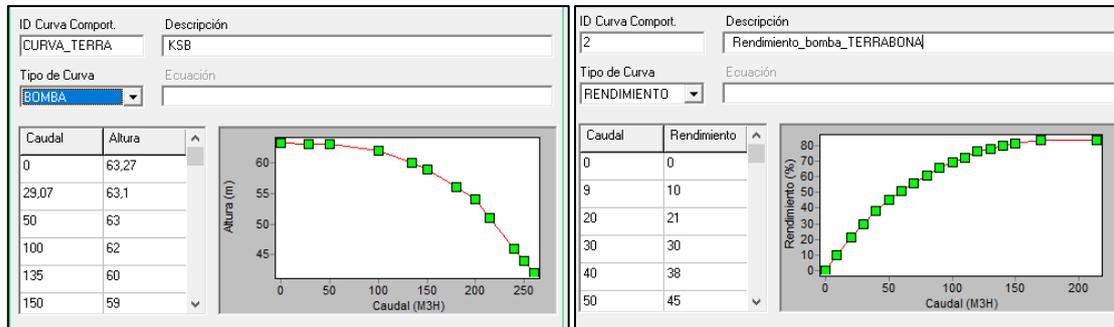


Figura 9. (Izquierda) Curva altura-Caudal. (Derecha) Curva Rendimiento-Caudal para las bombas situadas en el cabezal de Terrabona. Fuente: elaboración propia a partir del software de Epanet.

CABEZAL DE COVA SANTA

El cabezal de Cova Santa se encuentra a una cota de 62,84 msnm, cuenta con tres bombas idénticas centrífugas agrupadas en paralelo. Una de las tres dispone de variador de frecuencia. A partir de los datos suministrados por la CC.RR. se solicitó a la marca comercial las especificaciones técnicas de las mismas:

- Modelo: Bomba centrífuga ILC-65/200
- Caudal de bombeo requerido: 110 m³/h
- Altura de bombeo requerida: 48 m
- Caudal mínimo requerido: 20 m³/h
- Rendimiento del motor a plena carga: 77 %

Tanto la curva motriz como la curva de rendimiento de la bomba se utilizarán para el análisis de los grupos de bombeo durante el funcionamiento de la red.

ESTACIÓN DE BOMBEO EN LA BALSA

La estación de bombeo ubicada en la balsa se usa ocasionalmente si se requiere de presión extra. En esta hay tres bombas idénticas sumergibles agrupadas en paralelo con una potencia de 30 kW cada una. Una de ellas cuenta con un variador de frecuencia y la presión de consigna es de 16 mca. No se dispone de ningún otro dato sobre estas bombas. Los gestores de la CC.RR. aseguran que estas bombas se ponen en marcha ocasionalmente.

4.1.3 ELECCIÓN DE LOS MESES REPRESENTATIVOS DE CONSUMO

Se analizarán los datos de consumo de agua de riego de cada mes para cada cabezal con el fin de seleccionar los meses tipo o que más se ajusten al funcionamiento real de la red durante todo el año.

Teniendo en cuenta esto, se han escogido los meses más representativos del año 2018 para el cabezal de El Pla: enero, mayo y agosto (Figura 10), estos meses suponen el 4,7%, 12,3% y 24,7% del consumo total respectivamente. En ellos va aumentando el número de días de riego por semana. No se ha escogido junio o julio ya que el comportamiento de la red es similar al de agosto y el consumo de este último es superior al de los anteriores, siendo el mes de máximo consumo.

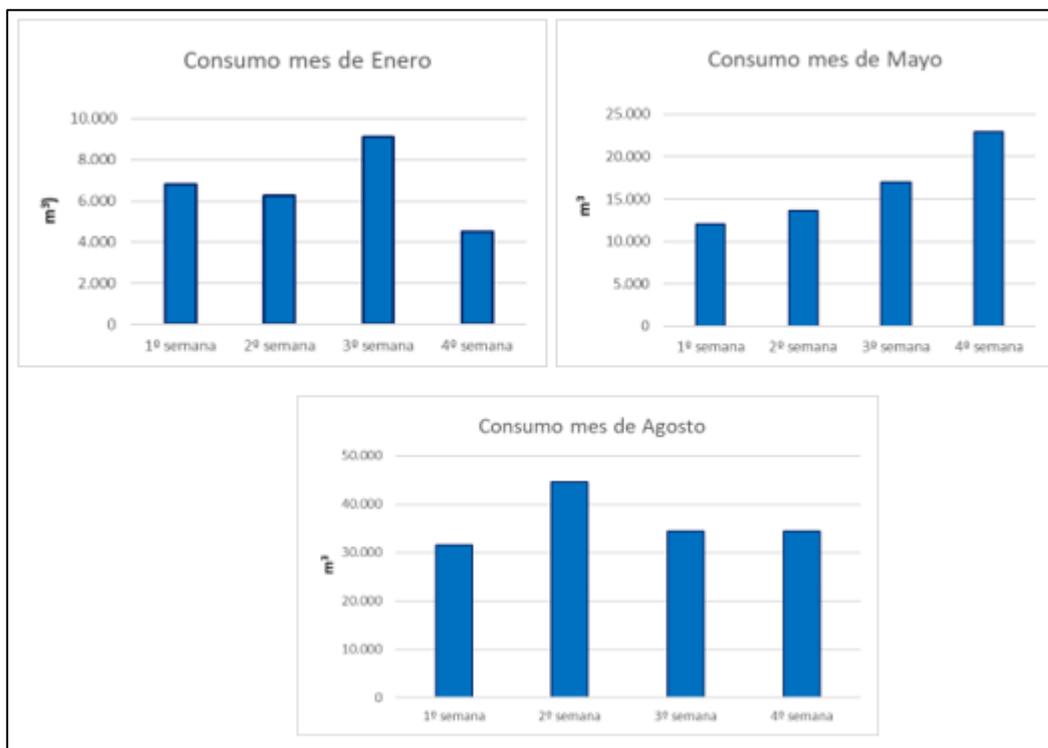


Figura 10. Consumos de los meses más representativos de 2018 en el cabezal de El Pla. Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.

Una vez elegidos los meses, se han analizado los consumos por cada semana. Para poder elegir un día representativo de cada mes, se ha seguido el siguiente procedimiento: Se ha calculado el promedio de consumos de los días de riego por cada semana del mes y a partir de estos se ha calculado el promedio de nuevo dando como resultado un valor. Posteriormente, se ha seleccionado el día del mes que se acerca a este consumo sacando así el día tipo o modelo de cada mes.

Los resultados obtenidos han sido los representados en la Tabla 6. Por ello, los días que se van a simular y por tanto calcular los consumos energéticos, corresponden al 11 de enero, 4 de mayo y 4 de agosto. -El número de días de riego de cada mes está preestablecido por la CC.RR.-

Tabla 6. Consumos de los meses representativos y días elegidos de simulación en el cabezal de El Pla. Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.

Reparto de riego en el cabezal del Pla						
Enero		Mayo		Agosto		
	Nº Días riego	Promedio Consumo (m3)	Nº Días riego	Promedio Consumo (m3)	Nº Días riego	Promedio Consumo (m3)
1º semana	3	2251	3	3629	6	5130
2º semana	3	2055	4	3229	6	7423
3º semana	3	3016	4	4091	6	5663
4º semana	2	2241	5	4279	6	5275
Promedio consumos (m3)	2390,9		3807		5873	
Día tipo	11-ene		04-may		04-ago	

Para el cabezal de Terrabona (Tabla 7) se realiza el mismo procedimiento. Una vez tratados los datos se decide utilizar como días representativos de los meses elegidos el día 8 de enero, 2 de mayo y 3 de julio. En el caso de este cabezal el mes de máximo consumo ha sido julio y no agosto como en el caso de El Pla.

Tabla 7. Consumos de los meses representativos y días elegidos de simulación en el cabezal de Terrabona. Fuente: elaboración propia a partir de datos facilitados por la CC.RR.

Reparto de riego en el cabezal de Terrabona						
Enero		Mayo		Julio		
	Nº Días riego	Promedio Consumo (m3)	Nº Días riego	Promedio Consumo (m3)	Nº Días riego	Promedio Consumo (m3)
1º semana	3	2374	4	3320	6	4279
2º semana	3	1822	3	3331	6	4552
3º semana	3	2041	4	4270	7	4474
4º semana	2	2403,5	5	4469	6	4404
Promedio consumos (m3)	2160,1		3847		4427	
Día tipo	08-ene		02-may		03-jul	

En el caso de los cabezales sin automatizar se escogen los meses a estudiar según la disponibilidad de datos, en el siguiente epígrafe se explica el procedimiento a seguir (punto 4.1.4.2)

Seleccionados los días, ya se está en disposición para poder calcular los caudales de cada hidrante y de cada toma de riego asociada al mismo a partir del volumen de agua de consumo y los tiempos de riego de cada toma, tal y como se explica en los siguientes apartados.

4.1.4 CÁLCULO DE LA DEMANDA ACTUAL EN LOS PUNTOS DE CONSUMO

Las subredes del cabezal del Pla y Terrabona disponen de hidrantes multiusuario con automatización a nivel de toma. De estos se cuenta con los consumos reales diarios a nivel de toma y con los horarios asignados a cada socio según los turnos de riego. Los tres sectores restantes presentan tomas a nivel individual. De estos, solo se dispone del sumatorio de las lecturas de los contadores situados en las tomas cada tres meses. El cabezal de Cova Santa sí dispone del consumo que presenta la red a cada hora del día durante todo el año, pero este

dato solo es a nivel del consumo total de este cabezal, por lo que no se dispone de ningún dato a nivel de toma.

4.1.4.1 El Pla y Terrabona

Como se ha comentado anteriormente, el nivel de representación del modelo en este caso es hasta nivel de hidrante. En la subred del Pla se cuenta con 42 hidrantes y en Terrabona con 43. Todos los hidrantes son multiusuarios contando como máximo con 8 y 11 tomas respectivamente.

Para poder calcular la demanda base de cada punto de consumo de la red se necesita saber cuál es el sumatorio de los caudales de cada una de las tomas de las que se compone. Para ello, primero se calcula el caudal, este se ha obtenido a partir de las lecturas de los contadores asignadas al tiempo de riego que tiene preestablecido cada toma. Por tanto, la demanda vendrá dada por la siguiente relación:

$$q_{Hidrante} = \sum_{i=1}^n \frac{V_{Toma_i}}{H_{Toma_i}} \quad (1)$$

Siendo “n” el número de tomas que tienen un consumo asignado, “V” el volumen consumido por la toma en “H” tiempo en el que se consume.

4.1.4.2 Cova Santa

Se ha escogido el cabezal de Cova Santa como objeto de estudio, ya que es el cabezal sin automatizar del que más datos se dispone. Por tanto, el comportamiento de Canya Redona y Lloma Espinosa quedará pendiente de estudio, pudiéndose adoptar el patrón de consumo del cabezal de Cova Santa a cada una de las demandas base de esas dos subredes.

En este cabezal los datos de los que se dispone son, por una parte, el volumen que se vierte en el cabezal cada 5 minutos que queda registrado en un servidor, y, por otro lado, los consumos que ha facilitado la CC.RR. mediante las lecturas que se han realizado de los contadores de cada toma con una frecuencia de tres meses. Dichas lecturas corresponden al 1 de marzo, 30 de junio y 15 de septiembre. Tras examinar estas, se observa que hay contadores en los que no ha habido lectura en marzo ni en junio, siendo las lecturas más completas las correspondientes al 15 de septiembre.

Para poder calcular la demanda base de cada punto de consumo de la red se necesita saber el caudal de la toma, que en este caso se va a basar en conceptos puramente teóricos. A continuación, se detalla el procedimiento que se ha llevado a cabo.

4.1.4.2.1 Análisis de lectura de contadores

Teniendo estos datos como punto de partida se decide centrar el análisis en la lectura del mes de septiembre ya que, además de ser la más completa, es la que corresponde a los meses de máximas necesidades, y por tanto mayores consumos. Se utilizarán además los datos que, en ese mismo periodo de tiempo, se han recogido en el cabezal.

Los consumos facilitados por la CC.RR. llevan asociado un número identificativo que no corresponde con la identificación de los planos. Para resolver este error se ha optado por usar

la herramienta QGIS. Con QGIS se han asociado las parcelas al nudo de consumo más cercano. Para ello se ha utilizado la función *Spatial join*.

Con esta función se asume que cada toma riega a varias parcelas como si de un hidrante multiusuario se tratase, hecho que no es real, pero es válido para poder simplificar el problema y utilizar los datos disponibles.

En la Figura 11 se representan las parcelas abastecidas por el cabezal de Cova Santa. Las parcelas con el mismo color pertenecen al mismo hidrante, siendo estos hidrantes los puntos representados en color rojo.

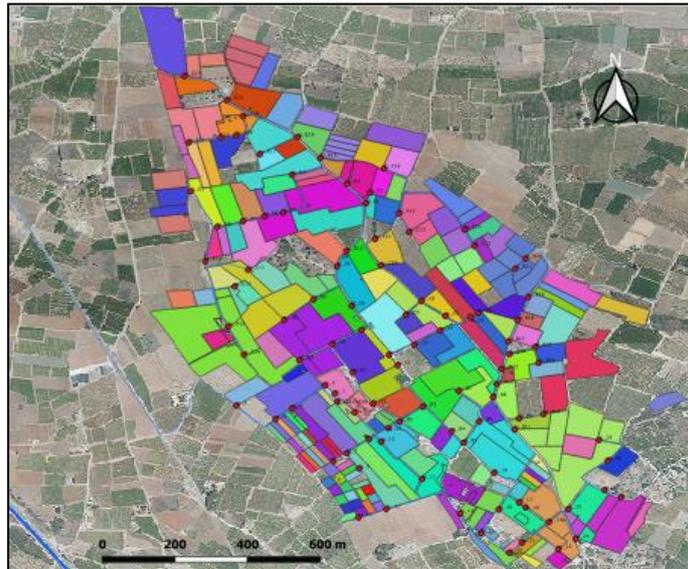


Figura 11. Parcelas asociadas a un mismo punto de consumo. Subred perteneciente al cabezal de Cova Santa. Fuente: elaboración propia.

Tras esta operación se obtiene la referencia catastral de cada parcela asociada a un nudo determinado de consumo, por lo que ya se está en disposición de relacionar este consumo con la identificación dada por la CC.RR. y por tanto con la lectura de cada toma.

Paralelamente, se ha realizado una estimación de las necesidades de cultivo mediante los datos climatológicos obtenidos de la estación meteorológica de Picassent. A partir de estas necesidades se ha obtenido el volumen máximo diario requerido por unidad de superficie $21,7 \text{ m}^3/\text{ha-día}$ y caudal teórico por toma (Q_{Toma}) $16,67 \text{ m}^3/\text{ha-h}$. Con estos datos se ha obtenido la demanda teórica que tendrá cada toma asociada a la superficie que riega. En el ANEJO II. ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES TEÓRICAS DE RIEGO, se muestra la relación de superficie, el nombre identificativo del hidrante y el caudal que le corresponde según lo calculado.

4.1.4.2.2 Análisis consumos en el cabezal

Se han analizado los datos de consumo aportados por el servidor en el cabezal de riego para el tramo correspondiente a la lectura del 15 de septiembre, es decir, los consumos de la red desde el día 15 de junio hasta el 15 de septiembre. Se han agrupado los consumos por horas y a partir de estos se han ido obteniendo patrones de consumo de este cabezal.

Se ha obtenido un día representativo del patrón de consumo que siguen en cada mes los regantes de este.

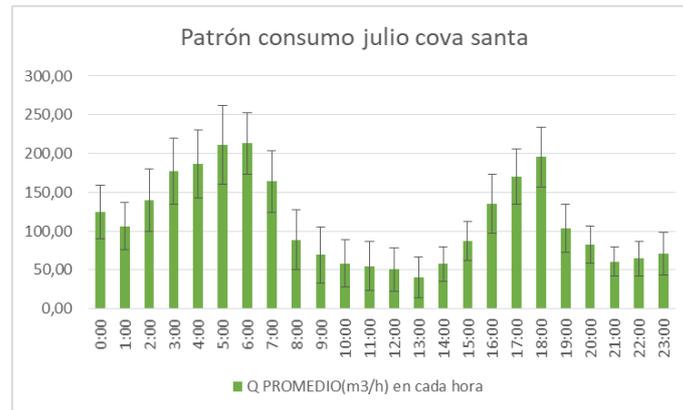


Figura 12. Patrón de consumo obtenido para el cabezal de Cova Santa en el mes de Julio. Fuente: Elaboración propia.

Tal y como se aprecia en la Figura 12, se ha obtenido un patrón de consumo representativo de cada mes estudiado, mediante el caudal promedio de cada hora del día. En el ANEJO III. PATRONES DE CONSUMO EN EL CABEZAL DE COVA SANTA, se muestran los patrones de consumo obtenidos.

Los patrones obtenidos, por lo general, se ajustan a los periodos tarifarios más baratos. Los gestores de la CC.RR. recomiendan a los usuarios no regar en las horas correspondientes al periodo punta, sin embargo, se observa en todos los meses consumos en esas horas del día, aunque sí es cierto que son las horas en las que la red funciona con volúmenes mínimos.

4.1.5 CURVAS DE MODULACIÓN

Las curvas de modulación se crean para poder definir en el modelo el tiempo y la cantidad de agua que se demanda por el usuario en ese intervalo de tiempo. La curva consta de un número de intervalos de tiempo idénticos establecidos por el gestor, dentro del período de simulación, y de un multiplicador para cada uno de los intervalos. La demanda base se va modificando según el multiplicador (Jiménez Bello, 2008). De esta manera se consigue simular el funcionamiento de la red en periodo extendido.

4.1.5.1 El Pla y Terrabona

En las subredes en las que la organización del riego es a turnos (El Pla y Terrabona) y la automatización es a nivel de toma, el momento en el que funciona cada toma se conoce por lo que la curva de modulación de cada una de ellas que se crea es precisa. Para elaborar la curva, a cada toma se le ha establecido un peso. El peso viene dado por la relación que hay entre el caudal demandado por una toma y el caudal total que demanda el hidrante. El resultado de esta relación será el multiplicador que tendrá la toma en el intervalo de tiempo en el que esta funciona (Jiménez Bello, 2008).

$$Peso_{Toma} = \frac{q_{Toma}}{\sum_1^n q_{toma}} \quad (2)$$

Siendo n el número de tomas con las que cuenta el hidrante.

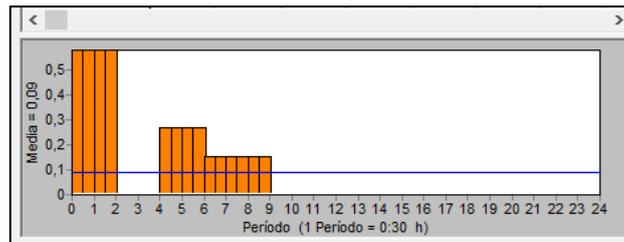


Figura 13. Patrón de demanda de un hidrante visto en Epanet. Fuente: elaboración propia a partir del software de Epanet v2.0.

En la Figura 13 se muestra una de las curvas de modulación asignada a un hidrante. En él se puede ver que en un día riegan las 3 tomas de las que dispone, cada una en un intervalo de tiempo distinto, de 0:00 a 2:00 h, de 4:00 a 6:00 h y de 6:00 a 9:00 h. En cada intervalo se aprecia el peso o porcentaje de consumo que le corresponde a cada toma respecto del total de la demanda de ese hidrante, siendo del 57,7%, 26,9% y 15,4% respectivamente. El intervalo de tiempo que se ha definido es de 30 minutos ya que es el intervalo que más se ajusta a los horarios establecidos por la CC.RR.

4.1.5.2 Cova Santa

Como se ha comentado anteriormente, en esta subred cada usuario riega cuando le conviene, sin horarios establecidos ni consumos a nivel de toma. Esto supone que para crear las curvas de modulación sea necesario establecer una serie de hipótesis de funcionamiento.

A partir del patrón de consumo estudiado anteriormente, se ha seguido el siguiente procedimiento:

- Se establece un tiempo de simulación: en este caso el tiempo va a ser de un día. Por lo que la curva de modulación tendrá 24 valores en intervalos de una hora en el cabezal de riego.
- Cada toma de riego tiene un caudal distinto que a priori no se conoce. Es por ello que se utiliza el caudal teórico calculado de cada toma anteriormente.
- Se desconoce qué tomas riegan en cada hora del día, por lo que se elige de manera aleatoria cada una de tal manera que en cada hora estén en funcionamiento el suficiente número de tomas como para consumir el caudal que se está vertiendo del cabezal en ese intervalo de tiempo, ya que este caudal sí se conoce.
- Para poder normalizar el caudal, se ha multiplicado cada factor de la curva de modulación por la relación entre el caudal de la toma y su demanda base.

De esta manera se consigue crear la curva de modulación para la subred y ver cómo es su comportamiento a lo largo del tiempo.

4.1.6 NECESIDADES TEÓRICAS DE RIEGO

Las necesidades teóricas de riego se calculan con el fin de, por un lado, comprobar la diferencia entre datos reales y teóricos de los sectores con organización del riego a turnos y por otro lado para poder realizar una de las hipótesis del patrón de demanda por usuario en la subred organizada a la demanda de Cova Santa.

Para la realización de estos cálculos se ha partido de los parámetros climáticos recogidos en la estación agroclimática de Picassent, situada a 2.93 km del Sector X. Se han descargado los datos a través del portal web del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA, 2018), cuya ubicación es la siguiente:

Tabla 8. Localización estación agroclimática en el T.M de Picassent. Fuente: (IVIA, 2018)

Latitud (N)	Longitud (E/W)	Altitud	X-UTM	Y-UTM
39°21' 44,95"	00°29' 51,4"	90	715.588	4.959.990

Dado que el 81% de la superficie está ocupada por cítricos, se asumen los datos referentes a los mismos para hacer una estimación de las necesidades de cultivo, así como del caudal ficticio continuo.

Se considerarán como datos de partida los siguientes:

- Tipo de cultivo: Cítricos.
- Marco de plantación: Distancia entre plantas 4m, distancia entre filas 6 (4 x 6)
- Número de emisores por planta: 10
- Caudal unitario (Q_u): 4l/h
- Diámetro de copa 3,6 m de media
- Eficiencia de Aplicación (EA): 85% por tener implemento riego localizado
- Uniformidad en la distribución (UE): 95% ya que se dispone de emisores autocompensantes.

Una vez calculadas las necesidades del cultivo (*ANEJO II. ESTIMACIÓN DE LAS NECESIDADES TEÓRICAS DE RIEGO*), se ha podido obtener el volumen máximo diario requerido por unidad de superficie que es de 21,7 m³/ha-día, así como el caudal teórico de cada toma 16,67 m³/h suponiendo una frecuencia de riego de un día.

4.2 ANÁLISIS DE LOS GRUPOS DE BOMBEO

Epanet no simula el comportamiento de los grupos de bombeo con velocidad variable cuando a estos se les asigna una presión de consigna. Por tanto, para resolver esto, lo que se ha hecho es sustituir las bombas por un incremento en la cota del embalse, es decir, la altura total del embalse será igual a la cota de este más la presión de consigna. Los gestores de la CC.RR. aseguran que durante todo el año la presión de consigna fijada en todos los cabezales es de 45 mca y se mantiene siempre fija.

Una vez reasignada la altura del embalse, 111.84 m, se procede a simular cada subred con el objetivo de saber cuál es el funcionamiento real que se está llevando a cabo en los grupos de bombeo situados en los cabezales. Para ello, se tienen en cuenta los caudales demandados en cada intervalo de simulación en el cabezal, así como las ecuaciones de las curvas características de las bombas y las leyes de semejanza. En el *ANEJO IV. ANÁLISIS DE LA GESTIÓN EN LOS GRUPOS DE BOMBEO* se explica el proceso seguido para cada grupo de bombeo y cabezal en cada mes estudiado.

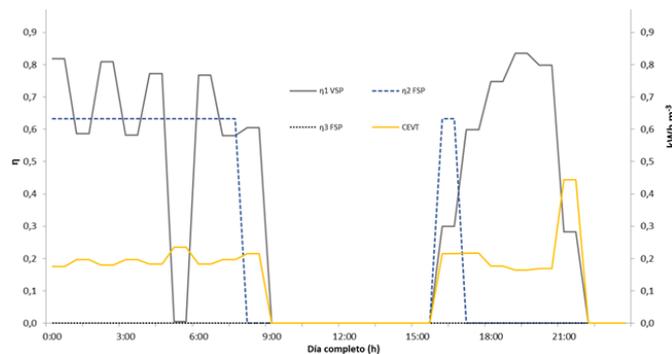


Figura 14. Ejemplo de la fluctuación diaria del rendimiento y el consumo específico de las bombas en el mes de mayo. Siendo μ_1 VSP el rendimiento de la bomba con velocidad fija, μ_2 y μ_3 los rendimientos de las bombas con velocidad variable y CEVT el consumo específico energético en el Cabezal de El Pla durante un día completo. Fuente: elaboración propia.

Para poder realizar el análisis más preciso se han elaborado unas gráficas en las que se ha representado la evolución diaria del consumo energético de los grupos de bombeo y el número de bombas en funcionamiento, acompañado del rendimiento; a cada instante de simulación en un día representativo de cada mes. En el ANEJO IV. ANÁLISIS DE LA GESTIÓN EN LOS GRUPOS DE BOMBEO se representan y explican detalladamente estos funcionamientos tanto para el cabezal del El Pla como el de Terrabona o Cova Santa.

4.3 VALIDACIÓN DEL MODELO

Tras haber generado el modelo físico de la red de riego y puesto en funcionamiento como se ha explicado en puntos anteriores, se han simulado los días representativos escogidos en los respectivos cabezales.

Como ya se ha comentado, la información de la que se dispone es, por un lado, los consumos volumétricos consumidos en cada hidrante y toma de parcela por día y, por otro lado, los consumos eléctricos de los grupos de bombeo cada mes. Para poder considerar el modelo planteado como válido, se comparan los resultados de la simulación ejecutada con Epanet respecto a los consumos reales.

Tabla 9. Comparación de consumos entre la realidad y el modelo creado. Cabezal de Terrabona y El Pla. Fuente: elaboración propia

Cabezal	Mes	Consumo Real (kWh/m ³)	Consumo Modelo (kWh/m ³)	Error (%)
El Pla	Enero	0,32	0,30	6,6
	Mayo	0,31	0,27	13,9
	Agosto	0,20	0,22	10,2
Terrabona	Enero	0,20	0,20	1,1
	Mayo	0,24	0,20	15,8
	Julio	0,20	0,19	4,3

Tabla 10. Comparación de consumos entre la realidad y el modelo creado. Cabezal de Cova Santa. Fuente: elaboración propia.

Cabezal	Mes	Consumo Real (kWh/m ³)	Consumo Modelo (kWh/m ³)	Error (%)
Cova Santa	Junio	0,144	0,179	19,6
	Julio	0,200	0,182	9,9
	Agosto	0,200	0,183	9,3
	Septiembre	0,206	0,183	12,6

En la siguiente Tabla se muestra la comparación entre la potencia máxima real y la obtenida en el modelo de simulación:

Tabla 11. Comparación de las potencias máximas consumidas entre la realidad y el modelo creado. Cabezal de Terrabona y El Pla. Fuente: elaboración propia

Cabezal	Mes	Potencia Máx. Real (kW)	Potencia Máx. Modelo (kW)	Error (%)
El Pla	Enero	68	60	12,1
	Mayo	107	84	21,2
	Agosto	99	101	2,4
Terrabona	Enero	45	48	7,26
	Mayo	74	68	7,9
	Julio	73	69	5,3

En el cabezal de Cova Santa solo se dispone del dato de la potencia máxima registrada en el año, por lo que se compara con la potencia máxima obtenida en los diferentes meses de simulación del modelo.

Tabla 12. Comparación de las potencias máximas consumidas entre la realidad y el modelo creado. Cabezal de Cova Santa. Fuente: elaboración propia.

Cabezal	Periodo	Potencia Máx. Real (kW)	Potencia Máx. Modelo (kW)	Error (%)
Cova Santa	Máxima Anual	48	51	5,9

V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 ESCENARIOS PLANTEADOS

Para llevar a cabo el presente estudio de evaluación y propuestas de mejora para la gestión hidráulica y energética del Sector X de riego del canal Júcar-Turía, se han planteado los siguientes puntos a desarrollar:

1. SITUACIÓN INICIAL

Se procederá a simular los diferentes días representativos elegidos (punto 4.1.3) de los diferentes cabezales mediante *Epanet v2.0*. Este procedimiento se llevará a cabo tras haber caracterizado las subredes y haber cargado las condiciones habituales de ejecución (curvas de modulación).

El objetivo de este punto es generar un conjunto de escenarios con los que se pueda validar el modelo, es decir, contrastar que los consumos reales son igual o similares a los del modelo construido y, por tanto, poder asumir este último como aceptable.

2. MEJORAS EN LA RED

Tras evaluar y validar el modelo en la situación inicial, se procederá a generar una serie de alternativas con las cuales se plantearán posibles mejoras desde un punto de vista energético. Los cambios se aplican sobre los mismos días representativos de la situación inicial.

Estas modificaciones consisten en ajustar las presiones de consigna preestablecidas a los valores requeridos según el momento de simulación a lo largo del día. Además, se reajustarán los calendarios de riego según los periodos tarifarios más baratos teniendo siempre en cuenta la mejora del rendimiento en los grupos de bombeo.

5.2 VALIDACIÓN DEL MODELO

El ajuste de la calibración del modelo va a depender del uso o de la precisión que sea necesaria para el objeto de estudio, considerándose, en general, aceptable una desviación de la variable de entre un 5% y un 10% (Jiménez Bello, 2008).

Se observan errores relativos por encima de lo establecido en algunos meses de los distintos cabezales. Estos errores, en general, pueden deberse a lo siguiente:

- las curvas de rendimiento de los grupos de bombeo aportadas por el fabricante no se ajustan a las curvas que actualmente presentan las bombas.
- La presión de consigna en alguno de estos meses fue mayor del dato del que se dispone.
- Los variadores de frecuencia disminuyen el rendimiento de las bombas produciendo un mayor consumo específico. Esto se agrava cuando las bombas trabajan lejos de su punto nominal.
- En el caso del mes de mayo, la desviación ha podido ser mayor debido a que en este mes hay una variación más acusada de los consumos que se realizan entre los diferentes días de riego.

Al igual que ocurre con los consumos, en las potencias máximas se observa una desviación mayor en el mes de mayo que puede ser debida a lo expuesto anteriormente y porque se puede haber producido una sobretensión en la instalación producida por ejemplo en las maniobras de arranque. El dato de potencia máxima puede usarse como un valor orientativo para validar el modelo, pero no como un dato estrictamente representativo, en este caso, ya que puede haber habido otro pico de potencia distinto, en otro día del mes, que difiere del día representativo elegido.

5.3 ANÁLISIS DE LOS GRUPOS DE BOMBEO

Una vez analizados, en la situación actual, los grupos de bombeo en cada mes representativo (*ANEJO IV. ANÁLISIS DE LA GESTIÓN EN LOS GRUPOS DE BOMBEO*) se procede a mejorar el funcionamiento de la red con el objetivo de disminuir el consumo energético y optimizar el funcionamiento de las bombas. Para ello se han simulado diferentes escenarios en *Epanet v2.0* con los cuales se han ido modificando las presiones de consigna y reajustando la distribución de los caudales en cada hora de la jornada de riego, siempre teniendo en cuenta el rendimiento en los grupos de bombeo, así como el consumo energético de los mismos.

5.3.1 CABEZAL EL PLA

5.3.1.1 MEJORA POTENCIAL MES DE ENERO.

Se deciden distribuir los caudales con el principal objetivo de evitar tener en funcionamiento el grupo de bombeo durante las horas del periodo pico. El caudal máximo marcado por el funcionamiento normal de la red no se modifica. Se agrupan lo más posible los caudales en las primeras horas del día ya que son las correspondientes al periodo tarifario más barato, además con este aumento de caudal se consigue que las dos bombas que entran en funcionamiento consigan mantenerse a rendimientos altos y con pocas fluctuaciones.

En las tres horas de riego correspondientes al periodo llano se han bajado las presiones de consigna a 40 y 30 mca, con ello se consigue poner en funcionamiento únicamente la BVF lo que conlleva un requerimiento más bajo de energía para impulsar el agua de riego. Se garantiza una presión mínima de funcionamiento en la red superior a 28,8 mca, siendo la máxima inferior a 55 mca.

Se ha conseguido disminuir el consumo específico energético a 0,177, es decir, ha descendido en un 39,4 % respecto a la situación actual. Se ha aumentado el rendimiento medio de las bombas a 78,4% la BVF y a 63% la BVV.

5.3.1.2 MEJORA POTENCIAL MES DE MAYO

Se decide bajar el caudal máximo en las primeras dos horas del día para evitar la puesta en marcha de la segunda BVV, de esta manera se elimina el consumo de energía de esta tercera bomba. También se consigue disminuir las velocidades máximas de paso en el caso de las tuberías principales de mayor diámetro a 2,16 m/s, este dato es importante especialmente en este caso ya que la tubería es de hormigón. En este tipo de tuberías hay que limitar la velocidad a valores que no produzcan una erosión excesiva en los materiales de la tubería o del revestimiento de esta (CEDEX, 2002). Se garantiza una presión mínima en la red durante todo el día superior a 28,6 mca, siendo la máxima inferior a 55 mca.

Se ha disminuido la presión de consigna en diferentes tramos durante cinco horas no consecutivas. De esta manera se ha conseguido reducir la potencia y aumentar el rendimiento de las bombas. En general la BVF funciona a un rendimiento medio del 73.71%, mientras que la primera bomba de velocidad variable funciona a un 63,25%. El consumo específico por su parte ha bajado a un 0,175 kWh m⁻³, es decir, ha descendido en un 10.71 % respecto a la situación actual.

5.3.1.3 MEJORA POTENCIAL MES DE AGOSTO

En la situación actual desde las 00:00 hasta las 2:00 hay 4 hidrantes con demanda a los cuales no llega la presión mínima que garantiza el funcionamiento del sistema de riego localizado, es decir, en ellos hay una presión menor a 25 mca.

Tabla 13. Hidrantes con presiones menores a las mínimas. Fuente: Elaboración propia.

Tabla de Red - Nudos en 0:00 Hrs			
ID Nudo	Demanda	Presión	Altura
	CMH	m.c.a	m
Conexión HPla12	5.60	21.39	82.48
Conexión HPla11	26.50	23.98	84.34
Conexión HPla15	41.63	14.69	75.74
Conexión HPla14	6.47	16.65	77.71

En la Tabla 13 se muestran los hidrantes cuya presión oscila entre 14,69 mca y 23,98 mca. Los hidrantes de la parte Oeste son los que mayor cota presentan de toda la red, sin embargo, los correspondientes a la parte Este presentan las cotas más bajas por lo que esta bajada de presión no se relaciona directamente con la altura de dichos nudos. En la Figura 15 se representa un mapa de isolíneas en el que se detalla por colores el volumen de consumo que demanda cada hidrante. Siendo el color rojo el que representa aquellos hidrantes con mayor demanda en el periodo a estudiar. Tal y como se ve en la figura el problema de estas presiones tan bajas se debe a la elevada demanda de estos hidrantes en la misma hora.

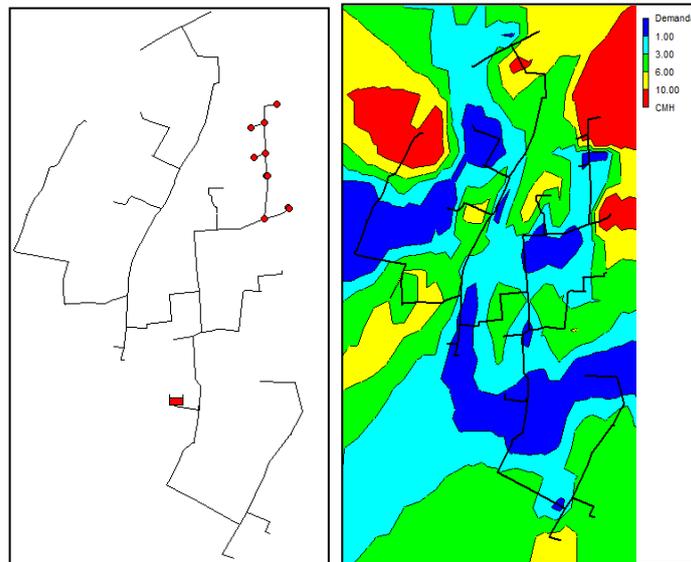


Figura 15. (Izquierda) Hidrantes con presiones inferiores a las requeridas. (Derecha) mapa de isolíneas con distribución de demandas por colores. Mes de agosto. Cabezal de El Pla. Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, se decide distribuir el caudal demandado por los hidrantes mencionados anteriormente a otras horas del día con menores demandas de riego. Con esto se consigue superar la presión mínima de funcionamiento y desconectar la segunda bomba de velocidad variable, siendo necesaria solo una BVV y una BVF. Se garantiza una presión mínima en la red durante todo el día superior a 25,88 mca, siendo la máxima inferior a 56,15 mca.

Tras reajustar la programación, se ha disminuido la presión de consigna en seis de las horas de riego correspondientes al periodo valle, de esta manera se ha conseguido reducir la presión extra en la red y la energía consumida. La BVF funciona a un rendimiento medio del 75,71%, mientras que la primera bomba de velocidad variable funciona a un 63,33%. El consumo específico por su parte ha bajado a un 0,175 kWh m⁻³, es decir ha descendido en un 10,25 % respecto a la situación actual. Las pérdidas unitarias en la zona más desfavorable han disminuido a valores normales de menos de 1m/km.

5.3.1.4 MEJORAS OBTENIDAS EN EL CABEZAL

En la Figura 16 se muestran los rendimientos de cada bomba en la situación actual y en la que podría darse de llevar a cabo las propuestas planteadas para cada periodo estudiado. En los tres periodos se ha podido elevar el rendimiento de la bomba de velocidad fija manteniendo el rendimiento de la bomba con velocidad variable.

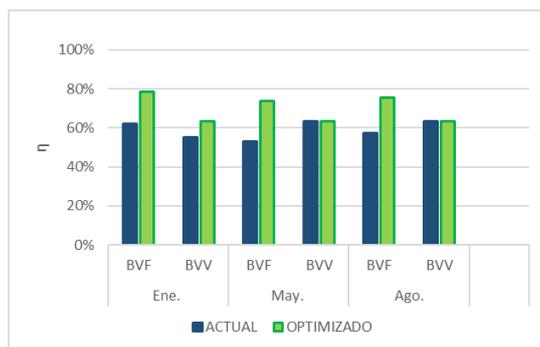


Figura 16. Comparación de rendimientos en los grupos de bombeo entre la situación actual y la potencial. Cabezal de El Pla. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 17 se han representado los consumos específicos energéticos por día en cada periodo tarifario (PV, PLL, PP). Como se puede apreciar, en el mes de enero se ha conseguido eliminar las horas de bombeo correspondientes al periodo pico, es por ello que ha aumentado la energía consumida en PV y PLL, pero esta energía supondrá un coste inferior. En el caso de mayo y agosto el consumo energético disminuye debido a la distribución de los caudales en las horas de máxima demanda que suponían la puesta en marcha de una tercera bomba (BVV).

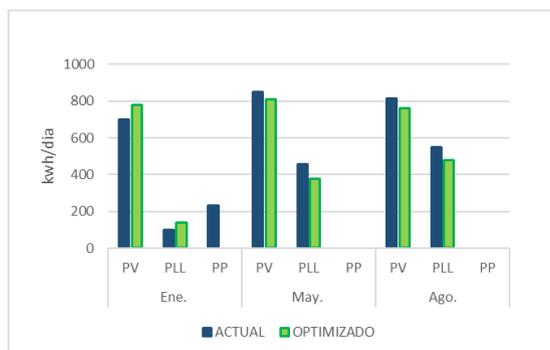


Figura 17. Comparación de la energía consumida por día en cada periodo tarifario entre la situación actual y la potencial. Cabezal de El Pla. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 18 se representa el consumo específico energético en cada hora por metro cúbico promedio. En los tres periodos se ha conseguido disminuir dicho consumo, siendo el más relevante el correspondiente al mes de enero, ya que, al ser el mes de mínimas necesidades hídricas, se han podido aplicar más cambios en la red.

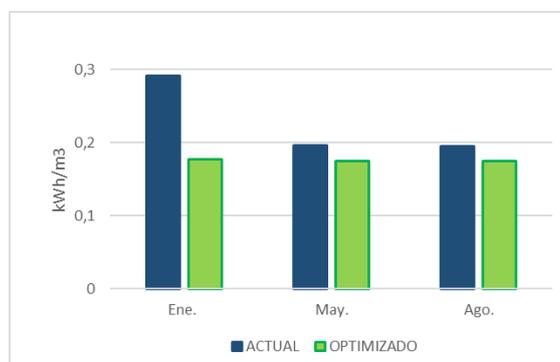


Figura 18. Comparación del consumo específico energético en cada hora por metro cúbico promedio entre la situación actual y la potencial. Cabezal de El Pla. Fuente: Elaboración propia.

5.3.2 CABEZAL DE TERRABONA

5.3.2.1 MEJORA POTENCIAL MES DE ENERO

Se decide redistribuir los horarios de riego para que coincidan con el periodo valle evitando así las horas pico de 17:00h a 23:00h por estar en la tarifa de invierno. El caudal máximo marcado por el funcionamiento normal de la red no se ha modificado. En la situación actual hay dos horas del día en las que se necesita del funcionamiento de las dos bombas; debido a que los requerimientos hídricos no son muy elevados, se ha podido distribuir a otras horas del día el consumo de esas dos horas para evitar poner en marcha las dos bombas.

Se ha disminuido la presión de consigna en 15 mca durante todo el periodo de funcionamiento ya que no es necesario tener una presión tan elevada de 45 mca en este mes del año. Con esto se ha conseguido bajar la presión excesiva que presentaba la red de 54.68 a 40.57 mca, siendo la presión mínima de 26,48 mca en el hidrante HT34.

Durante toda la jornada solo será necesario poner en marcha la BVF lo que conlleva un requerimiento menor de energía para impulsar el agua de riego. Además, se ha elevado el rendimiento de la misma a un 79,43%, es decir, cinco puntos por encima de la situación actual y sin fluctuaciones notorias.

Se ha conseguido disminuir el consumo específico energético a 0,1462; es decir, ha descendido en un 16,74 % respecto a la situación actual.

5.3.2.2 MEJORA POTENCIAL MES DE MAYO

En este periodo las necesidades hídricas son mayores y las bombas, por lo general, trabajan a pleno rendimiento en la situación actual. Por otra parte, la jornada de riego sí se adapta al periodo valle y llano. Debido a esto no se han hecho grandes cambios, aun así, se ha conseguido aumentar el rendimiento medio de la BVF en un 7%. El consumo específico energético apenas ha descendido unas milésimas. La presión de consigna se mantiene fija en 45 mca.

5.3.2.3 MEJORA POTENCIAL MES DE JULIO

Este mes es el de máximas necesidades, al igual que ocurría en el mes de mayo, las bombas funcionan prácticamente a pleno rendimiento durante toda la jornada. En este caso se ha distribuido la demanda requerida por el hidrante HT38 a otras horas en las que la carga de la red lo permita, para así evitar poner en marcha el grupo de bombeo con un caudal mínimo. Con esto se ha conseguido aumentar en cuatro puntos el rendimiento de la BVF y eliminar el excesivo consumo específico que suponía tener en funcionamiento el grupo de bombeo en las dos últimas horas de la jornada. No ha sido posible disminuir la presión se consigna preestablecida debido a la elevada demanda que tiene la red durante todo del día.

5.3.2.4 MEJORAS OBTENIDAS EN EL CABEZAL

En la Figura 19 se muestran los rendimientos obtenidos por los grupos de bombeo en cada periodo mensual, antes y después de aplicar los cambios comentados en puntos anteriores. En los tres periodos se ha conseguido aumentar el rendimiento de la BVF. Cabe destacar en enero la desconexión de la bomba de velocidad variable en el escenario optimizado respecto a la situación actual. Esto se debe a la redistribución de los caudales y a la disminución de la presión de consigna.

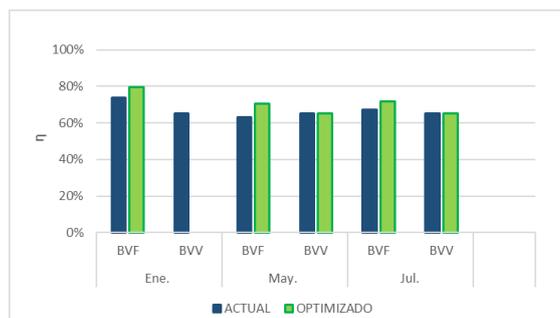


Figura 19. Comparación de rendimientos en los grupos de bombeo entre la situación actual y la potencial. Cabezal de Terrabona. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 20 se representa la energía consumida por cada periodo tarifario en cada mes estudiado. En el mes de enero se han eliminado las horas de riego coincidentes con el periodo pico, es por ello que en el periodo llano ha aumentado el consumo energético, pero este se pagará a un menor precio.

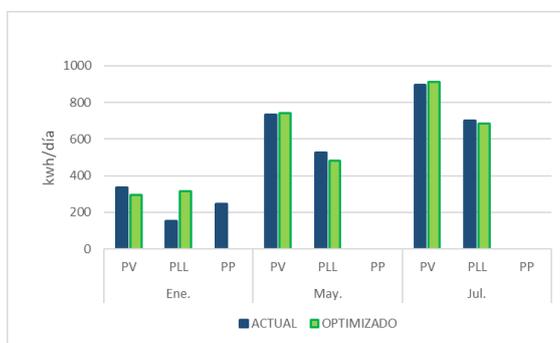


Figura 20. Comparación de la energía consumida por día en cada periodo tarifario entre la situación actual y la potencial. Tarifa Periodo Valle (PV), tarifa Periodo Llano (PLL), tarifa Periodo Pico (PP). Cabezal de Terrabona. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 21 se muestran los consumos energéticos específicos por hora y metro cúbico para cada mes de estudio. Cabe destacar el descenso tan acusado del mes de julio debido a la redistribución de los caudales en las dos últimas horas del día en las que la demanda era muy baja y la BVF trabajaba con un caudal mínimo a unos rendimientos muy bajos.

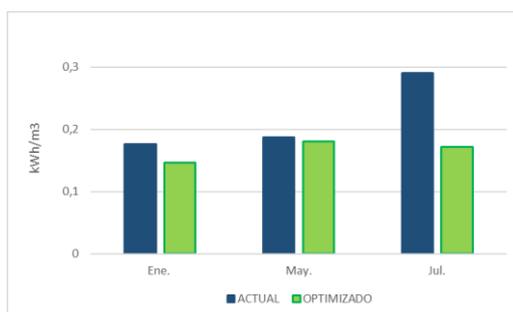


Figura 21. Comparación del consumo específico energético en cada hora por metro cúbico promedio entre la situación actual y la potencial. Cabezal de Terrabona. Fuente: Elaboración propia.

5.3.3 CABEZAL COVA SANTA

En este cabezal, como se ha comentado anteriormente y se ha detallado en el ANEJO III. PATRONES DE CONSUMO EN EL CABEZAL DE COVA SANTA, la demanda base que se requiere en

cada punto de consumo se desconoce; sin embargo, con los datos de los que se dispone se han podido construir unos ficheros en Epanet capaces de simular un funcionamiento similar al real. Gracias a estos ficheros se han podido identificar nudos críticos en la red y sus posibles mejoras.

5.3.3.1 MEJORA POTENCIAL PRIMERA QUINCENA DE JUNIO

Tras simular con Epanet el funcionamiento propio de la red, en la segunda quincena de junio, se observan nudos de consumo a distintas horas del día en los que no llega la presión mínima de servicio.

En la Tabla 14 se han representado los hidrantes con demanda a los cuales no llega una presión de 25 mca, en el periodo correspondiente a las 6.00h a.m.

Tabla 14. Hidrantes con presión inferior a 25mca y demanda en el instante 6.00h. Cabezal de Cova Santa. Mes de junio Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos con el modelo elaborado de la red en Epanet v2.0.

Tabla de Red - Nudos en 6:00 Hrs			
	Demanda(CMH)	Altura(m)	Presión (m)
Conexión cu_29	19.02	65.58	7.43
Conexión cu_28	0.50	84.77	24.44
Conexión cu_E1	4.39	92.56	23.71
Conexión cu_E3	1.44	92.47	24.38
Conexión cu_D10	0.76	92.78	21.81
Conexión cu_E17	1.17	92.09	23.98
Conexión cu_E18	2.14	91.27	20.62
Conexión cu_E22	2.14	90.17	19.72
Conexión cu_E23	13.18	81.21	13.46
Conexión cu_E5	1.97	91.46	18.57
Conexión cu_E6	3.58	91.31	22.46
Conexión cu_E7	10.27	91.03	24.13
Conexión cu_E12	10.08	81.11	20.05

Como se observa en la Tabla 14 sería imposible realizar un riego en las parcelas que se abastecen de la toma cu_29. También podría haber problemas en el funcionamiento de la instalación en las tomas por debajo de 20 mca. Las tomas que presentan estas presiones inferiores a las mínimas de funcionamiento se agrupan todas en la misma zona geográfica. Se podría pensar que se debe a una zona topográfica más alta en comparación con el resto de las tomas, pero como se puede apreciar en la Figura 22 no es el caso, de hecho, es la zona de la subred con alturas más bajas no superando los 100 msnm en ningún caso.

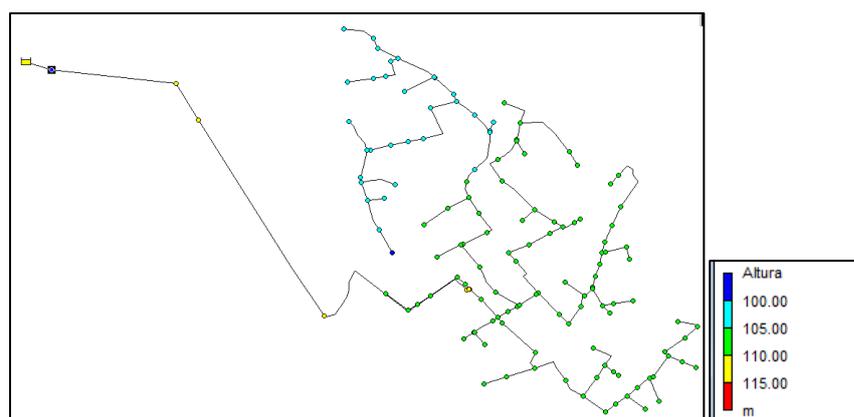


Figura 22. Representación de la elevación de cada nudo. Cabezal de Cova Santa. Mes de junio. Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos con el modelo elaborado de la red en Epanet v2.0.

Cabe destacar que además de descender las presiones en este momento del día (6.00h a.m.), también ocurre lo mismo a las 17.00h. Ambos periodos coinciden con los picos de máxima demanda.

Para mejorar el funcionamiento de la red y conseguir que sea operativa se decide, en los puntos críticos del día, aumentar la presión de consigna en 5 mca, además se ha decidido bajar la presión de 45 mca a 35 mca en las horas centrales del día ya que los requerimientos son mínimos y no es necesaria una presión tan elevada. Gracias a estos cambios en todas las tomas se garantiza una presión mínima de servicio. Además, se ha aumentado a un 74.9% de media el rendimiento de la BVF y se ha bajado un 5.64% el consumo energético específico.

5.3.3.2 MEJORA POTENCIAL MES DE JULIO

Tras simular con Epanet el funcionamiento propio de la red, en el mes de julio, se observan nudos de consumo a distintas horas del día en los que no llega la presión mínima de servicio. Estos periodos corresponden con tres horas puntuales del día las 4.00h, 6.00h y las 18.00h, estas tres horas coinciden con el periodo de máxima demanda.

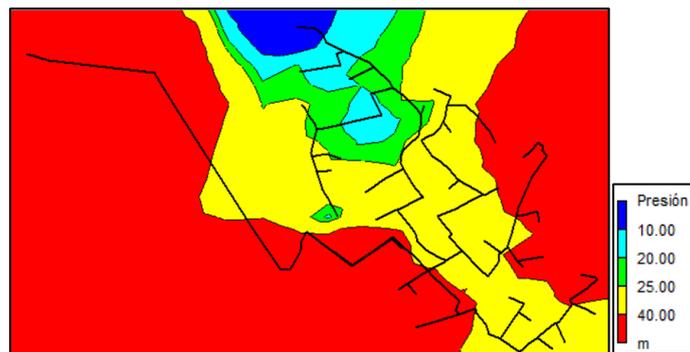


Figura 23. Representación de la presión de cada nudo de la red mediante un mapa de contorno. Cabezal de Cova Santa. Mes de julio. Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos con el modelo elaborado de la red en Epanet v2.0

Al igual que se observaba en el mes de junio, en este mes las presiones más bajas se registran en la misma zona como se observa en la Figura 23.

Se ha identificado uno de los hidrantes (cu_E23) como uno de los nudos críticos debido a la elevada demanda base que se le ha asignado. No hay que olvidar que estas demandas se han repartido de manera aleatoria por lo que es posible que en la realidad este hidrante no se abra a las horas de máxima demanda. Si se suprime la demanda que requiere el cu_E23 a las 4.00h y las 6.00h, se puede garantizar una presión de 25 mca en todos los hidrantes si se aumenta la presión de consigna en 5 mca en las tres horas del día de máxima demanda. En el resto de horas, en las que las necesidades son menores, la presión puede descender de nuevo a los 45 mca prefijados e incluso bajar 10 puntos más en las horas centrales del día en las cuales los volúmenes requeridos son mínimos.

Realizando estos cambios, la red sería mucho más funcional y se consigue obtener un rendimiento medio de la BVF de un 74.6%, descendiendo el número de horas en las que hay más de una bomba conectada, teniendo cuatro horas del día en las que están conectadas las tres bombas funcionando a pleno rendimiento. Con todo ello, se consigue disminuir el consumo específico energético en un 5.03%.

5.3.3.3 MEJORA POTENCIAL MES DE AGOSTO

Tras simular con Epanet el funcionamiento propio de la red, en el mes de agosto, se observan nudos de consumo en una hora del día en la que no llega la presión mínima de servicio. A

diferencia de los meses anteriores, en este mes las presiones están muy próximas a los 25 mca y el problema solo aparece en cuatro del total de tomas.

Tabla 15. Tomas con presión inferior a 25mca y demanda en el instante 3.00h. Cabezal de Cova Santa. Mes de agosto. Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos con el modelo elaborado de la red en Epanet v2.0.

Tabla de Red - Nudos en 3:00 Hrs			
ID Nudo	Demanda (CMH)	Altura (m)	Presión (m)
Conexión cu_D10	1.13	95.82	24.85
Conexión cu_E18	0.45	94.81	24.15
Conexión cu_E23	9.22	90.01	22.25
Conexión cu_E5	2.58	94.82	21.93

El periodo de las 3.00h a.m. corresponde con el momento de máxima demanda. En este mes el rendimiento de la BVF se ha mejorado en más de diez puntos subiendo a un 70.67% de rendimiento medio, con ello se ha disminuido el CEVT en un 3.33 %. Se han aumentado las presiones de consigna en 3 horas del día con máxima demanda y se ha bajado a 35 mca en los periodos con menos requerimientos.

5.3.3.4 MEJORA POTENCIAL PRIMERA QUINCENA DE SEPTIEMBRE

Tras simular con Epanet el funcionamiento propio de la red, en la primera quincena del mes de septiembre, se observan numerosos nudos de consumo a distintas horas del día en los que no llega la presión mínima de servicio. Este mes ha resultado ser el que peor organización presenta, de hecho, hay seis horas del día en las que las presiones en muchos hidrantes no llegan a la presión mínima de servicio.

Las tomas que presentan una presión más baja son las que se ubican en la zona norte, al igual que ocurría el resto de los meses. Se han identificado tres tomas (cu_E23, cu_E13 y cu_E14) como los nudos críticos debido a la elevada demanda base que se le ha asignado. Al igual que ocurría en el mes de julio. No hay que olvidar que estas demandas se han repartido de manera aleatoria por lo que es posible que en la realidad no se abran al mismo tiempo en las horas de máxima demanda. Si se obvia la demanda de estas tres tomas en tres horas críticas, se consigue garantizar una presión mínima de funcionamiento en todos los hidrantes aumentando 5 puntos la presión de consigna. En las horas centrales del día se ha podido disminuir la presión de consigna a los 30 mca sin afectar al funcionamiento normal de las tomas.

5.3.3.5 MEJORAS OBTENIDAS EN EL CABEZAL

En la Figura 24 se muestran los rendimientos obtenidos por los grupos de bombeo en cada periodo mensual, antes y después de aplicar los cambios comentados en puntos anteriores. En los tres periodos se han aumentado los rendimientos del grupo de bombeo. En este cabezal se han conseguido aumentar los rendimientos gracias a la variación de las presiones de consigna según los patrones de consumo adoptados.

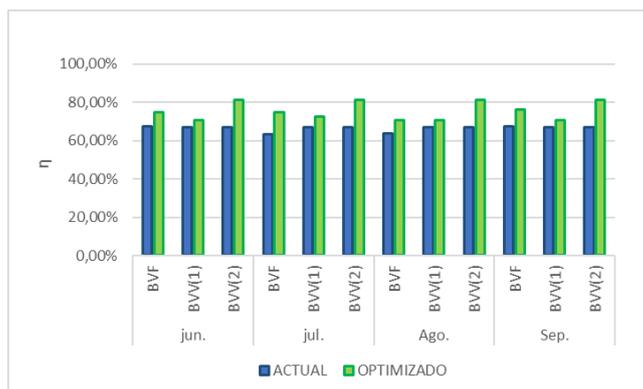


Figura 24. Comparación de rendimientos en los grupos de bombeo entre la situación actual y la potencial. Cabezal de Cova Santa. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 25 se muestran los consumos energéticos específicos por hora y metro cúbico para cada mes de estudio. En general se ha conseguido disminuir el consumo específico, aunque no de una manera significativa debido a que los grupos de bombeo, en la situación actual, ya funcionan en rendimientos aceptables.

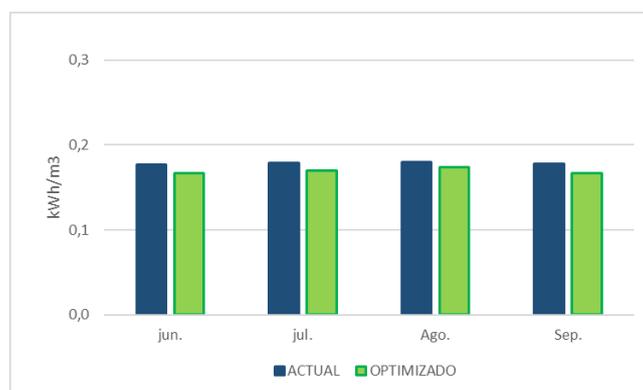


Figura 25. Comparación del consumo específico energético en cada hora por metro cúbico promedio entre la situación actual y la potencial. Cabezal de Cova Santa. Fuente: Elaboración propia.

5.3.4 CONCLUSIONES CONSUMOS ENERGÉTICOS

Tras haber analizado la evolución de los consumos energéticos y el comportamiento de los grupos de bombeo en los meses representativos de cada cabezal, se han podido obtener las siguientes conclusiones:

- Los consumos son elevados debido por una parte a los bajos rendimientos de los grupos de bombeo en algunas horas y a la elevada presión de consigna dispuesta para todos los meses.
- Se incluyen las curvas de rendimiento de los grupos de bombeo aportados por el fabricante. Estas curvas se han ajustado al modelo adoptado, pero no son las reales. También se observa en ambas curvas rendimientos muy elevados, por lo que es posible que no se esté teniendo en cuenta el rendimiento eléctrico del motor.
- Los meses de mínimas necesidades no tienen los consumos ajustados a los periodos de tarifa más barato, por lo que se podrían redistribuir las horas de riego que estén fuera

del PV o PL para así conseguir disminuir el coste final. Para que dicho planteamiento se cumpla, las bombas han de tener la capacidad suficiente para hacer frente a esta redistribución de consumos, y como se ha comprobado, se puede llevar a cabo.

- Hay determinadas horas del día en las que son necesarias las dos bombas, en muchos de esos casos, el rendimiento de la bomba de velocidad fija (BVF) disminuye a unos rendimientos fuera de los óptimos. Para poder conseguir unos rendimientos aceptables de los grupos de bombeo cabe la posibilidad de, o bien disminuir el caudal y redistribuirlo a otras horas para necesitar solo una de las bombas, o variar la presión de consigna.
- En concreto, en el cabezal de Cova Santa, se observa que a pesar de las recomendaciones de los gestores de la CC. RR, se sigue regando en el periodo pico innecesariamente. Los consumos demandados a las diferentes horas del día parecen seguir un patrón bastante claro. Conociendo estos patrones se puede gestionar el funcionamiento de la red mejor, ya sea restringiendo a algunos usuarios en determinadas horas del día según la zona en la que se encuentren, u organizando turnos acordes a las demandas base que presenta cada usuario.

5.4 AHORRO POTENCIAL DEL COSTE EN EL CONSUMO ELÉCTRICO

5.4.1 CABEZAL DE EL PLA

A continuación, se expone una estimación del ahorro potencial que supondría aplicar las medidas expuestas anteriormente. Para realizar esta estimación se han utilizado los precios que marca, para la tarifa contratada 3.1 A, la empresa distribuidora en cada periodo tarifario.

Tabla 16. Estimación del ahorro potencial en el cabezal de El Pla tras aplicar las medidas propuestas. Fuente: elaboración propia.

Cabezal	Mes	Días de riego/mes	Periodo	kWh/día ACTUAL	kWh/día OPTIMIZADO	€/kWh	COSTE ACTUAL (€/día)	COSTE OPTIMIZADO (€/mes)	COSTE TOTAL ACTUAL (€/mes)	COSTE TOTAL OPTIMIZADO (€/mes)	AHORRO POTENCIAL (%)
PLA	Enero	12	PV	697,58	777,27	0,063632	532,7	593,51	914,11	737,93	19,27
			PLL	99,82	136,86	0,087935	105,3	144,42			
			PP	230,81	0,00	0,099691	276,1	0,00			
	Mayo	16	PV	848,91	807,86	0,063632	864,3	822,50	1506,06	1354,09	10,09
			PLL	456,14	377,83	0,087935	641,8	531,59			
			PP	0,00	0,00	0,099691	0,0	0,00			
	Agosto	24	PV	816,24	759,20	0,063632	1246,5	1159,42	2407,60	2165,67	10,05
			PLL	550,15	476,80	0,087935	1161,1	1006,25			
			PP	0,00	0,00	0,099691	0,0	0,00			

Se observa un ahorro mucho mayor en el mes de enero. Esto se debe, en gran medida, a la desaparición de las horas de riego en el periodo tarifario más desfavorable. En el mes de mayo y agosto el ahorro potencial, en proporción, es más discreto debido a que las necesidades hídricas son mayores y no se dispone de más herramientas con los que poder disminuir el coste energético.

Estos porcentajes pueden extrapolarse al resto de meses cuyos consumos y gestión son similares. De esta manera, se puede agrupar el año en tres grupos energéticos distintos:

- Noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo. En estos cinco meses se podría disminuir su coste energético en un 19.27%.
- Abril, mayo y octubre. En estos tres meses se podría disminuir un 10.09%.

- Junio, julio, agosto y septiembre. En estos cuatro meses se podría conseguir un ahorro del 10.05%.

5.4.2 CABEZAL DE TERRABONA

Para calcular el ahorro potencial del cabezal de Terrabona, se ha realizado el mismo procedimiento que en el del Pla. En este cabezal se observa un ahorro muy significativo en el mes de mínimas necesidades, ya que al igual que ocurre en el Pla, se han suprimido las horas de riego correspondientes al periodo pico.

Tabla 17. Estimación del ahorro potencial en el cabezal de Terrabona tras aplicar las medidas propuestas. Fuente: elaboración propia.

Cabezal	Mes	Días de riego/mes	Periodo	kWh/día ACTUAL	kWh/día OPTIMIZADO	€/kWh	COSTE ACTUAL (€/día)	COSTE OPTIMIZADO (€/mes)	COSTE TOTAL ACTUAL (€/mes)	COSTE TOTAL OPTIMIZADO (€/mes)	AHORRO POTENCIAL (%)
TERRABONA	Enero	12	PV	334,33	294,98	0,063632	255,3	225,24	710,39	558,35	21,40
			PLL	154,00	315,68	0,087935	162,5	333,11			
			PP	244,58	0,00	0,099691	292,6	0,00			
	Mayo	16	PV	734,86	740,16	0,063632	748,2	753,57	1487,12	1433,37	3,61
			PLL	525,21	483,17	0,087935	739,0	679,80			
			PP	0,00	0,00	0,099691	0,0	0,00			
	Julio	24	PV	896,48	911,72	0,063632	1369,1	1392,35	2847,80	2833,59	0,50
			PLL	700,67	682,91	0,087935	1478,7	1441,24			
			PP	0,00	0,00	0,099691	0,0	0,00			

En los meses restantes el ahorro es mínimo, siendo casi inexistente en el mes de mayo. En este cabezal el número de usuarios en la red es menor, lo que permite llevar una mejor gestión de los turnos de riego. Aunque el ahorro en costes directos de energía no sea elevado en algunos meses, hay que tener en cuenta que la mejora de rendimientos y del funcionamiento de las bombas que se ha producido en esos meses también ayudan a alargar la vida útil de los grupos de bombeo. Este hecho provoca una disminución en los costes de mantenimiento y reemplazo de los equipos.

5.4.3 CABEZAL DE COVA SANTA

En este cabezal el ahorro potencial que se puede conseguir es menor que en los dos anteriores debido a la organización del riego que presentan. Por lo que, en este caso, el ahorro no depende tanto del precio de la tarifa energética, sino de la organización y reparto de los horarios de riego que hasta la fecha son inexistentes.

Tabla 18. Estimación del ahorro potencial en el cabezal de Terrabona tras aplicar las medidas propuestas. Fuente: elaboración propia.

Cabezal	Mes	Días de riego/mes	Periodo	kWh/día ACTUAL	kWh/día OPTIMIZADO	€/kWh	COSTE ACTUAL (€/día)	COSTE OPTIMIZADO (€/mes)	COSTE TOTAL ACTUAL (€/mes)	COSTE TOTAL OPTIMIZADO (€/mes)	AHORRO POTENCIAL (%)
COVA SANTA	Junio	30	PV	671,76	773,40	0,063632	1282,4	1476,39	3216,83	2879,73	10,48
			PLL	435,36	531,96	0,087935	1148,5	1403,34			
			PP	262,80	0,00	0,099691	786,0	0,00			
	Julio	31	PV	757,68	699,24	0,063632	1494,6	1379,32	3808,52	3589,42	5,75
			PLL	517,44	501,12	0,087935	1410,5	1366,05			
			PP	292,32	273,12	0,099691	903,4	844,06			
	Agosto	31	PV	694,56	782,34	0,063632	1370,1	1543,24	3598,92	3244,36	9,85
			PLL	378,48	624,04	0,087935	1031,7	1701,12			
			PP	387,36	0,00	0,099691	1197,1	0,00			
	Septiembre	30	PV	752,40	699,36	0,063632	1436,3	1335,05	3653,75	3459,71	5,31
			PLL	520,32	510,72	0,087935	1372,6	1347,30			
			PP	282,48	259,92	0,099691	844,8	777,35			

VI. PROPUESTAS DE ACTUACIÓN EN LA MEJORA DE LA GESTIÓN

En este epígrafe se exponen propuestas de actuación para minimizar el consumo y el coste energético con una inversión mínima o nula.

– **Ajuste del periodo tarifario según el precio de cada periodo.**

- Como se ha visto en el estudio, tanto en la subred de El Pla como en la de Terrabona, en los meses de mínimas necesidades los horarios de riego de cada hidrante siguen llevando el mismo calendario que en horario de verano, por lo que se riega en horas correspondientes al Periodo Pico, innecesariamente. Se propone el reajuste del calendario de riegos de una manera similar a la creada en este trabajo con el fin de ahorrar en gastos.
- En el cabezal de Cova Santa, a pesar de tener restringido el riego en las horas centrales del día que corresponden al Periodo Pico, se ha observado que siempre se riega en esa franja horaria. Por ello, se propone instalar una electroválvula con solenoide de apertura y cierre con la cual se restringe en dicho periodo el suministro de agua a la red.

– **Variación en la presión de consigna.**

El cabezal de Terrabona presenta un variador de frecuencia por cada bomba instalada, el cabezal de El Pla dos variadores de frecuencia en tres bombas instaladas, y el cabezal de Cova Santa un variador en una de sus tres bombas. En los tres cabezales la presión de consigna prefijada durante todo el año es de 45 mca. No se realiza ningún tipo de discriminación de esta presión en ninguno de los tres casos.

- Con el fin de poder adaptar la elevación de los grupos de bombeo a la demanda de la red mediante la modificación de las velocidades de rotación de las bombas, se propone la instalación de un controlador como los PDI (Proporcional Integral Derivativo). Estos dispositivos, con la ayuda de un transductor de presión, regulan de manera automática la altura de elevación al valor de consigna que se haya preestablecido en la programación del controlador (Sánchez Calvo R., et al., s.f.). Dicha presión necesaria en cada hora de riego según el mes y el caudal requerido se ha establecido en el presente estudio.
- En el cabezal de Cova Santa solo hay instalado un variador de frecuencia, por lo que se recomienda la instalación de al menos un variador más en otra de las bombas.

Con la instalación de estos dispositivos y tras el análisis de funcionamiento expuesto en este estudio de las estaciones de bombeo, se conseguirá un ahorro en el consumo de energía, una mayor eficiencia en las operaciones de riego, disminución de los costos y una reducción en el mantenimiento de los grupos de bombeo ya que estos funcionarán de una manera más estable a como se está operando en la situación actual.

– **Subred de Cova Santa.**

Como se ha visto en puntos anteriores, debido al patrón de consumo que siguen los regantes, en muchos de los hidrantes, a determinadas horas, no se garantiza una presión

mínima de funcionamiento. La demanda requerida de algunos puntos de consumo se concentra siempre en la misma zona geográfica.

- El proyecto inicial de diseño de la subred de Cova Santa se diseñó pensando en una organización de riego a turnos; sin embargo, siempre ha funcionado a la demanda. Por tanto, se propone seguir un *riego ordenado* a mitad de camino entre los turnos y la demanda (IDAE, 2008) teniendo en cuenta los puntos críticos estudiados en este trabajo y respetando los subsectores preestablecidos en el proyecto inicial.

– Subredes de Canya Redona y Lloma Espinosa

De estos dos cabezales actualmente solo se dispone de las lecturas de los contadores cada tres meses a nivel de toma. En teoría, estos cabezales al presentar un riego con organización a la demanda, se puede suponer que presentan la misma operabilidad que Cova Santa. Sin embargo, la topología de estas redes no coincide con la de Cova Santa y el patrón de consumo de sus regantes no tiene por qué ser necesariamente igual.

- Se propone la instalación de un caudalímetro a nivel del cabezal cuya señal sea recogida por un servidor con el fin de procesar y depurar esos datos para así poder analizar el comportamiento de la red y poder llevar a cabo un estudio semejante al realizado en Cova Santa.

VII. CONCLUSIONES

Una vez analizada la situación actual de la gestión del Sector X del Canal Júcar-Turia, sus posibles mejoras y propuestas de actuación, se exponen las siguientes conclusiones:

1. De las subredes estudiadas, no hay ninguna que se adapte estrictamente a los periodos más baratos de la tarifa eléctrica contratada.
2. La presión de consigna preestablecida en todos los cabezales provoca un consumo, en muchos casos, innecesario de energía. Este hecho implica que las bombas funcionen a una altura manométrica más alta de la necesaria y operan en puntos lejanos a los óptimos de rendimiento.
3. La instalación de sensores y controladores de presión ayudarán a conseguir un ahorro en el consumo de energía, una mayor eficiencia en las operaciones de riego, una disminución de los costos y una reducción en el mantenimiento de los grupos de bombeo.
4. Se necesita dotar de más dispositivos de recogida de datos, como pueden ser caudalímetros conectados a servidores, a los cabezales cuya organización del riego es a la demanda, para así poder hacer un análisis más detallado de la situación de cada subred.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

Alonso Campos, J., Jiménez Bello, M. Á. & Manzano Juárez, J., 2017. *Análisis, Evaluación y Propuestas de mejora de la gestión hidráulica y energética de la red de alta de los sectores 4, X y XI del canal Júcar Turia (Picassent)*, s.l.: s.n.

Ávila Sotelo, G., 1974. *HIDRÁULICA GENERAL. FUNDAMENTOS*. Primera ed. México: s.n.

BOE, 2001. *BOE-A-2001-20850*. [En línea]
Available at: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2001/10/26/1164/con>

Canal de Isabel II, 2016. *INFORME ANUAL*, Madrid: s.n.

CCRR, 2011. *crpicassent*. [En línea]
Available at: <http://www.crpicassent.es/#bnoticias.aspx?sector=&nsector=>
[Último acceso: 2018].

CEDEX, 2002. *Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión*. 2ª ed. Madrid: Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica Ministerio de Fomento.

Corominas, J., 2010. *AGUA Y ENERGÍA EN EL RIEGO, EN LA ÉPOCA DE LA SOSTENIBILIDAD*, s.l.: Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca.

Del Campo, A., 2014. *El factor de la energía en los grandes usuarios del agua. Día Mundial del Agua 2014. Sede del Canal Isabel II*, Madrid: s.n.

EPA, 2018. *Environmental Protection Agency*. [En línea]
Available at: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>

Epanet.de, 2018. *Epanet.de Hydraulic network analysis*. [En línea]
Available at: <http://epanet.de/ghydraulics/index.html.en>

ESYRCE, 2018. *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Informe sobre regadíos en España.*, s.l.: Subsecretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación. Subdirección general de análisis, coordinación y Estadística..

García Morillo, J., Rodríguez Díaz, J. A., Crespo, M. & Aonghus, M., 2018. Energy Saving Measures in Pressurized Irrigation Networks: A New Challenge for Power Generation. *MDPI*, 6 Noviembre.

Iberdrola, 2018. *Iberdrola*. [En línea]
Available at: <https://www.iberdrola.es/empresas/luz-y-gas>

IDAE, 2008. *Ahorro y eficiencia energética en las Comunidades de Regantes*, s.l.: s.n.

INE, 2019. *Instituto Nacional de Estadística*. [En línea]
Available at:
<http://www.ine.es/dynt3/inebase/index.htm?type=pcaxis&path=/t26/p067/p03/serie&file=pcaxis&L=0>

IVIA, 2018. *Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias*. [En línea]
Available at: <http://riegos.ivia.es/datos-meteorologicos>

Jiménez Bello, M. Á., 2008. *Integración de los procesos agronómicos e hidráulicos del riego a presión en un entorno SIG para gestión eficiente de Comunidades de Regantes*, Valencia: s.n.

MAPA, 2019. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*. [En línea]
Available at: https://www.mapa.gob.es/eu/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/desertificacion-restauracion-forestal/lucha-contra-la-desertificacion/lch_espana.aspx

QGIS, 2018. *QGIS.org*. [En línea]
Available at: https://docs.qgis.org/2.18/es/docs/user_manual/preamble/foreword.html

Ruiz-Rodríguez, M., Jiménez-Bello, M. Á. & Pulido-Velázquez, M., 2015. *EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE MEJORA DEL USO DE LA ENERGÍA EN REDES DE RIEGO. APLICACIÓN A LA COMUNIDAD DE REGANTES MURADA NORTE (ORIHUELA, ALICANTE)*, Valencia: s.n.

Sánchez Calvo R., L. y otros, s.f. *CONSUMO DE ENERGÍA CON BOMBAS DE VELOCIDAD VARIABLE*, MADRID: s.n.

Willaarts, B. A. & Mayor, B., 2017. *El nexa agua-energía-tierra: un análisis de la huella hídrica y energética de los regadíos en España*, s.l.: Fundación Botín.

IX. ANEJOS