

Trabajo Fin de Máster

AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN LAS COMUNIDADES DE REGANTES.

APLICACIÓN A LA COMUNIDAD DE REGANTES DE LA ACEQUIA DE LA VIRGEN DEL REBOLLET.

Intensificación:

ORDENACIÓN, RESTAURACIÓN Y GESTIÓN DE CUENCAS

Autor:

ENRIQUE PÉREZ MONZÓ

Director:

DR. ALBERTO GARCÍA PRATS

Codirector/es:



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

AGOSTO, 2016
máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título del TFM en español: AUDITORÍA ENERGÉTICA EN LAS COMUNIDADES DE REGANTES.
APLICACIÓN A LA COMUNIDAD DE REGANTES DE LA ACEQUIA DE LA VIRGEN DEL REBOLLET.

Título del TFM en inglés: ENERGY AUDIT OF IRRIGATION COMMUNITIES.
APPLICATION TO THE USER COMMUNITY OF THE VERGE DEL REBOLLET IRRIGATION DITCH.

Título del TFM en Valenciano: AUDITORIA ENERGÈTICA EN LES COMUNITATS DE REGANTS.
APLICACIÓ A LA COMUNITAT DE REGANTS DE LA SÉQUIA DE LA VERGE DEL REBOLLET.

Alumno: ENRIQUE PÉREZ MONZÓ.

Director: DR. ALBERTO GARCÍA PRATS

Codirector/es:

Director experimental:

Fecha de Lectura: SEPTIEMBRE, 2016

Resumen

En español (máximo 5000 caracteres)

Realización de una auditoría energética en la Comunidad de Regantes de la acequia de la Verge del Rebollet, siguiendo en gran medida el Protocolo de Auditorías Energéticas en Comunidades de Regantes publicado por el IDAE del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio en 2008.

Para el desarrollo de la auditoría energética se obtienen los datos administrativos, económicos, energéticos e hídricos necesarios para la evaluación y calificación energética de la comunidad de regantes, revisando el estado de las instalaciones, su funcionamiento y el uso que se hace de ellas desde el punto de vista del consumo energético.

Finalmente se realizan unas propuestas de mejoras con el propósito de aumentar la eficiencia energética de la comunidad de regantes, consiguiendo un mejor uso de la energía y un ahorro económico.

En valenciano (máximo 5000 caracteres)

Realització d'una auditoria energètica en la Comunitat de Regants de la séquia de la Verge del Rebollet, seguint en gran manera el Protocol d'Auditories Energètiques en comunitats de Regants publicat per l'IDAE del Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç en 2008.

Per al desenrotllament de l'auditoria energètica s'obtenen les dades administratives, econòmics, energètics i hídrics necessaris per a l'avaluació i qualificació energètica de la comunitat de regants, revisant l'estat de les instal•lacions, el seu funcionament i l'ús que es fa d'elles des del punt de vista del consum energètic.

Finalment es realitzen unes propostes de millores amb el propòsit d'augmentar l'eficiència energètica de la comunitat de regants, aconseguint un millor ús de l'energia i un estalvi econòmic.

En inglés (máximo 5000 caracteres)

Performing of an energy audit in the water irrigation association of the irrigation ditch of "La Verge del Rebollet" following largely the protocol energy audits in water irrigation associations published by IDAE Spanish Department of Industry, Tourism and Trade (2008).

In order to develop the energy audit, administrative, economic, energy and hydric data have been obtained, necessary for the energy evaluation and qualification of the related watering irrigation association, checking the status of facilities, their operation and the main uses from the energy point of view

Finally, some improving proposals are made in order to increase energy efficiency in the community of farmers, getting a better use of energy and economic savings.

Palabras clave español (máximo 5):

Eficiencia, Energía, Goteo, Riego

Palabras clave valenciano (máximo 5):

Eficiència, Energia, Goteig, Reg

Palabras clave inglés (máximo 5):

Efficiency, Energy, Trickle, Irrigation

AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN LAS COMUNIDADES DE REGANTES. APLICACIÓN A LA COMUNIDAD DE REGANTES DE LA ACEQUIA DE LA VIRGEN DEL REBOLLET.

Resumen

Realización de una auditoría energética en la Comunidad de Regantes de la acequia de la Verge del Rebollet, siguiendo en gran medida el Protocolo de Auditorías Energéticas en Comunidades de Regantes publicado por el IDAE del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio en 2008.

El desarrollo de la auditoría se compone básicamente de la obtención de datos para la evaluación y calificación energética, y de una posterior propuesta de mejoras en la comunidad de regantes con el propósito de aumentar la eficiencia energética, consiguiendo un uso más eficiente de la energía y del agua, un ahorro económico y, a su vez, beneficios medioambientales con la reducción de emisiones de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero.

Fdo.: *Enrique Pérez Menzó*

La Font d'En Carròs, Agosto de 2016

MUCHAS GRACIAS...

...a mis padres Enrique e Isabel por animarme a embarcarme en esta aventura.

...a mi tutor Alberto García Prats, por taaaaaanta paciencia.

...a mis compis del MITMA en general, y especialmente a mis compis y profes de "Cuencas" por la estrecha colaboración y el buen grupo creado, así como por los conocimientos adquiridos y el tiempo compartido. Seguro que me dejo a alguien, pero no pueden faltar Julián, Jaime, Gloria, Cristian, Carmen, Amparo, Antonella, Stephenson, Fabián, Ismael y Nuria, Paco, Isi, Jesús, Giovanni...

...y al personal de la secretaría del MITMA, en especial a Merche, por todas sus respuestas.

Sin todos vosotros, sin vuestra ayuda, comprensión y compañerismo/amistad nada habría sido igual.

"La sonrisa cuesta menos que la electricidad y da más luz"
(Proverbio escocés)

I PARTE:

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS COMUNIDADES DE REGANTES

ÍNDICE:

1. INTRODUCCIÓN	5
1.1. <i>Objetivos y estructura del TFM</i>	5
1.2. <i>El IDAE y la eficiencia energética</i>	5
2. EL REGADÍO	9
2.1. <i>El regadío en España</i>	9
2.2. <i>El regadío en cifras</i>	10
3. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS COMUNIDADES DE REGANTES	15
3.1. <i>Características principales de las Comunidades de Regantes</i>	15
3.2. <i>Red de distribución y puntos críticos de consumo energético</i>	16
3.3. <i>Medidas de ahorro y eficiencia energética en el diseño y manejo de las instalaciones</i>	18
3.3.1 Sectorización de la superficie por sectores de presión homogénea	18
3.3.2 Reorganización del reparto de agua en turnos de igual demanda energética	19
3.3.3 Automatización de instalaciones colectivas con sondas de presión en puntos críticos	19
3.3.4 Mantenimiento periódico de las instalaciones	20
3.3.5 Adaptación del manejo de las instalaciones a las nuevas necesidades	21

3.4. Medidas de ahorro y eficiencia energética en los equipos de bombeo	21
3.4.1 Dimensionado de los grupos de bombeo para caudales de funcionamiento habituales de la instalación	21
3.4.2 Instalación de pequeños grupos de bombeo en paralelo con al menos 2 bombas de velocidad variable	22
3.4.3 Instalación de equipos de control electrónico (arrancadores estáticos)	22
3.4.4 Simulación de la puesta en marcha de los grupos de bombeo	22
3.4.5 Mejoras en el factor de potencia de los equipos	23
3.4.6 Mantenimiento de equipos de bombeo	23
3.5. Medidas de ahorro en la contratación de las tarifas eléctricas	23
3.5.1 Estudiar la mejor tarifa eléctrica para la potencia demandada y consumo real	24
3.5.2 Contratar la potencia realmente utilizada	24
3.5.3 Ajuste del consumo energético a la discriminación horaria	25
4. AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN LAS COMUNIDADES DE REGANTES	27
4.1. <i>Objetivo general</i>	27
4.2. <i>Fases principales</i>	28

II PARTE:

APLICACIÓN DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA A LA COMUNIDAD DE REGANTES DE LA ACEQUIA DE LA VIRGEN DEL REBOLLET

ÍNDICE:

1. DESCRIPCIÓN DE LA COMUNIDAD DE REGANTES	31
1.1. <i>Características generales</i>	31
1.2. <i>Gestión económica y administrativa</i>	31
1.3. <i>Gestión del suministro hídrico</i>	32
1.4. <i>Gestión energética</i>	33
1.4.1 <i>Energía eléctrica contratada</i>	33
1.4.2 <i>Energía eléctrica consumida</i>	34
2. INFRAESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES	37
2.1. <i>Descripción de las infraestructuras</i>	37
2.2. <i>Equipos consumidores de energía</i>	39
2.3. <i>Funcionamiento de la red de distribución</i>	41
3. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA COMUNIDAD DE REGANTES	43
3.1. <i>Datos de consumos energéticos medidos en los equipos</i>	44
3.2. <i>Eficiencia energética de los bombeos</i>	45
3.3. <i>Eficiencia del suministro energético</i>	46
3.4. <i>Eficiencia energética de la comunidad de regantes</i>	49
4. EVALUACIÓN ENERGÉTICA E INDICADORES DE USO DE LA ENERGÍA	51
4.1. <i>Evaluación de la gestión energética (GE)</i>	51
4.2. <i>Indicadores generales de uso de la energía</i>	52

4.2.1	Indicadores descriptivos	52
4.2.2	Indicadores de rendimiento	53
4.2.3	Indicadores de eficiencia	54
4.3.	<i>Indicadores Individuales de uso de la energía</i>	56
4.3.1	Indicadores de potencia	56
4.3.2	Indicadores de energía	57
5.	CALIFICACIÓN ENERGÉTICA	59
5.1.	<i>Calificación de la gestión energética</i>	59
5.2.	<i>Calificación energética de la comunidad de regantes</i>	59
5.3.	<i>Grupo de consumo energético de la comunidad de regantes</i>	60
5.4.	<i>Calificación energética de la eficiencia de los bombeos</i>	60
6.	EVALUACIÓN DE LA DOTACIÓN HÍDRICA DE LA COMUNIDAD DE REGANTES	63
6.1.	<i>Cálculo agronómico de las necesidades hídricas</i>	63
6.1.1	Hipótesis de cálculo y datos de partida	63
6.1.2	Necesidades de agua de riego	65
6.1.3	Caudal y número de emisores	68
6.1.4	Tiempo de riego	69
6.1.5	Dotación hídrica	71
6.2.	<i>Evaluación de la dotación hídrica</i>	72
7.	EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LAS RED DISTRIBUCIÓN DE AGUA	75
7.1.	<i>Modelizado de la Red de Riego</i>	76
7.2.	<i>Conclusiones del modelizado</i>	78
8.	PROPUESTA DE MEJORAS Y VALORACIÓN	79
8.1.	<i>Mejoras en el diseño y manejo de la red</i>	79
8.1.1	Ajuste de los riegos a la discriminación horaria	79
8.1.2	Reorganización de los turnos de riego: propuesta de sectorización	83
8.2.	<i>Mejoras en los equipos de bombeo</i>	86
8.3.	<i>Optimización de la potencia contratada</i>	87
8.4.	<i>Resumen de mejoras propuestas y valoración</i>	90
9.	CONCLUSIONES	91
10.	REFERENCIAS	93

I PARTE:

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS COMUNIDADES DE REGANTES

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objetivos y estructura del TFM

El presente es el trabajo final del *Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente*, de la Universidad Politécnica de Valencia. Trata sobre el procedimiento a seguir para la realización de una auditoría energética en una comunidad de regantes, cuyo nombre y situación real no se proporcionan por deseo de privacidad de la misma. El trabajo se estructura en 2 partes claramente diferenciadas, la primera trata sobre los conceptos de la eficiencia energética en las comunidades de regantes y el protocolo que proporciona el IDAE en su documento nº 10 de la serie “*Ahorro y eficiencia energética en la agricultura*”; mientras que en la segunda parte de este trabajo se realiza la auditoría energética con datos reales en la comunidad de regantes mencionada anteriormente.

1.2. El IDAE y la eficiencia energética en el regadío

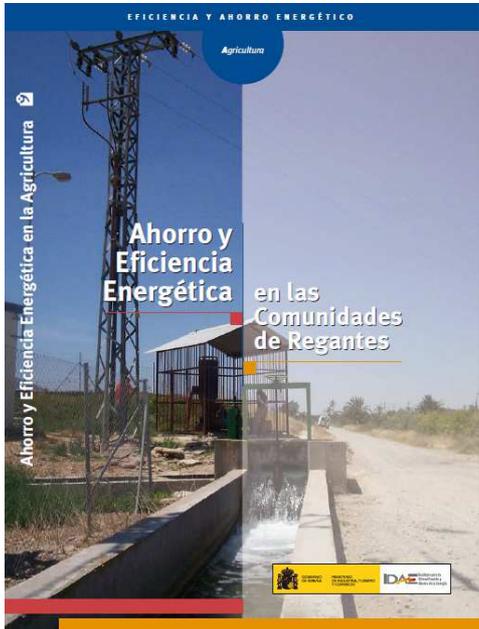
El *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)* es un organismo dependiente de la Secretaría de Estado de Energía, adscrito al Ministerio de Industria, Energía y Medio Ambiente. Entre otras actividades, lleva a cabo acciones de difusión, formación, asesoramiento técnico y desarrollo de programas específicos.

Así el IDAE en su *Estrategia de Eficiencia Energética en España*, agrupa un conjunto de

medidas y actuaciones para incrementar la eficiencia energética en varios sectores, como en el sector agrícola, desarrolladas en *Planes de Acción (2005-2007 y 2008-2012)*. Entre estas medidas se encuentran la información y formación en técnicas de uso eficiente de la energía en la agricultura, con el fin de concienciar a los agentes de este sector sobre la importancia del concepto de *eficiencia energética* y su relación con el ahorro energético y el ahorro económico.

En este sentido desde el IDAE se han publicado una serie de documentos técnicos sobre la eficiencia energética donde se explican diferentes metodologías para reducir el consumo energético en el sector agrario. Para este trabajo se han tomado como referencia los siguientes documentos del IDEA de la serie “*Ahorro y eficiencia energética en la agricultura*”:

- Doc. nº 9: “*Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes*”
- Doc. nº 10: “*Protocolo de Auditoría Energética en las Comunidades de Regantes*”



Actualmente se dan, cada vez con más frecuencia, una serie de fenómenos atmosféricos inusuales en nuestras latitudes, con la ocurrencia de periodos secos cada vez mayores, con lo que la importancia del agua es, y será, cada vez mayor.

El consumo de energía en el sector de la agricultura tiene poca importancia frente al resto de sectores. Sin embargo, dentro del mismo, el consumo de energía de los trabajos mecanizados de los cultivos sí que es significativo, debido sobre todo a la maquinaria agrícola y a los sistemas de riego. En este sentido, el incremento del regadío frente al secano y la modernización de los sistemas de riego llevan asociado un mayor consumo de agua y de energía. De esta forma se estima que el coste energético del funcionamiento de los equipos de bombeo durante la campaña de riego puede suponer para el agricultor un 30-40% de los costes totales del cultivo.

Por otra parte, para la producción de energía es necesaria la quema de combustibles fósiles, que supone un incremento de las emisiones de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero (GEIs). Se plantean pues dos opciones para combatir este problema, por una parte, producir energía mediante fuentes renovables, y por otra, reducir la demanda energética mediante el uso de equipos, técnicas y desarrollos más eficientes. Esta segunda opción es la que se intenta conseguir a partir de las auditorías energéticas en las comunidades de regantes, con pautas para mejorar la eficiencia de las infraestructuras y de los sistemas de riego.



La eficiencia energética mide la capacidad de producción de la energía consumida. Las mejoras en la eficiencia energética tienen por objeto optimizar la energía consumida, reducir el consumo de energía sin mermar su capacidad de producción, es decir, con menos

energía producir los mismos o más servicios. En el caso de los riegos, se trata de suministrar el mismo volumen de agua consumiendo la menor energía, lo que conlleva asociado un importante ahorro económico y beneficios medioambientales como la reducción de emisiones de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero, como se ha comentado anteriormente.

2. EL REGADÍO

2.1. El regadío en España

Durante todo el S XX la transformación del secano en regadío supuso pasar de 1 millón de hectáreas tradicionales de regadío a los aproximadamente 3,6 millones de hectáreas actuales. Esta transformación se intensificó desde 1986, fecha en la que España se incorpora a la Unión Europea.

La modernización de las estructuras agrarias incrementó notablemente la capacidad productiva y favoreció una diversificación en la que el clima mediterráneo es fundamental. Así, entre 1986 y 2009 se produjo un aumento de la superficie regada de unas 700.000 hectáreas, es decir un crecimiento algo superior 20%.

El regadío es fundamental en el sistema agroalimentario español, ya que aporta más del 50% de la producción final agraria, con una ocupación de las tierras regadas del 14% de la superficie agrícola útil; y es que una hectárea de regadío produce una media de seis veces lo que una hectárea de secano y genera una renta cuatro veces superior (MAGRAMA, 2014).

Por otra parte, el regadío español consume alrededor de 24.500 hm³ de agua al año, del orden de dos terceras partes procedentes de aguas superficiales y una tercera parte de aguas subterráneas. Por lo tanto, la presión del regadío sobre los recursos hídricos es elevada, sobre todo en gran parte de la España central y en las zonas mediterráneas.

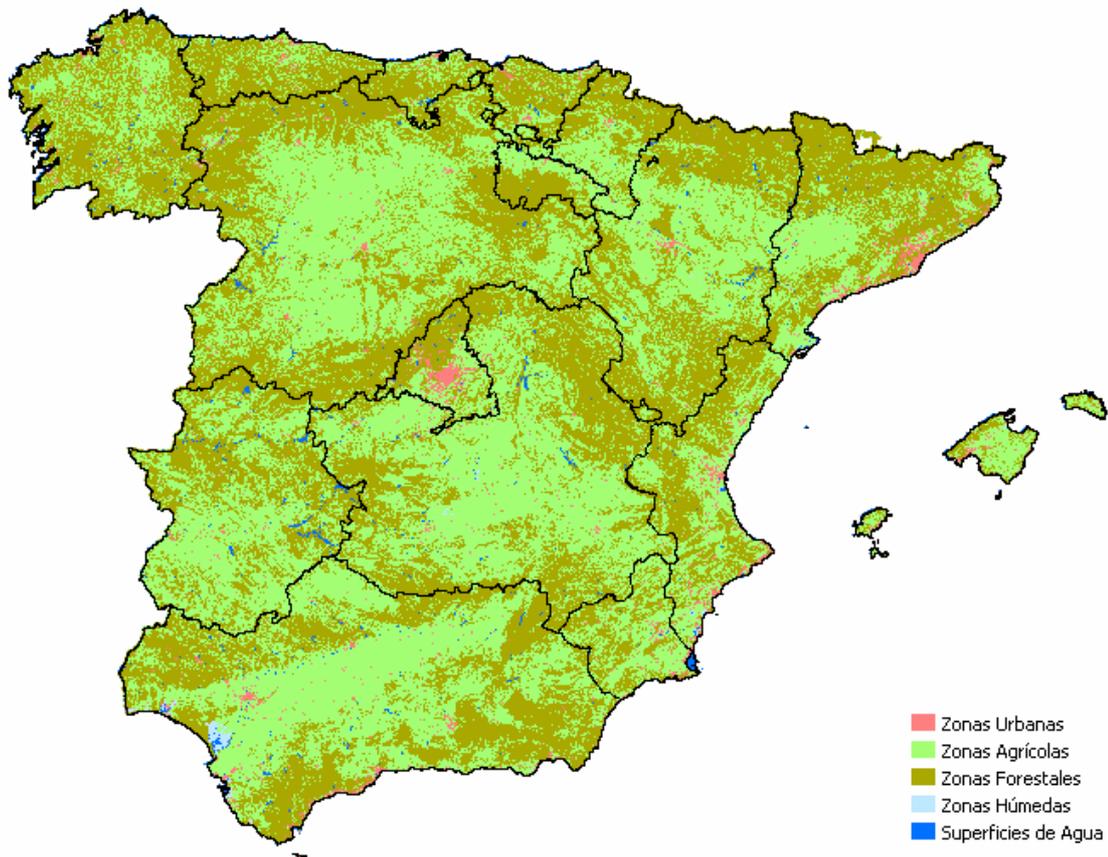
El reconocimiento social del que ha gozado el regadío se debe a las ventajas del desarrollo económico que ha propiciado, pero actualmente este buen reconocimiento social se ve disminuido por un crecimiento descontrolado, que ha favorecido el riego en zonas con un

fuerte déficit de agua, la proliferación de pozos irregulares, la contaminación difusa por nitratos..., contribuyendo a un gran impacto sobre los recursos hídricos nacionales.

Los objetivos ambientales de la *Directiva Marco del Agua (DMA)* pasan por una regulación de los regadíos y por la reducción del consumo energético y del agua, lo que implica mejorar la eficiencia de las infraestructuras y de los sistemas de riego.

2.2. El regadío en cifras

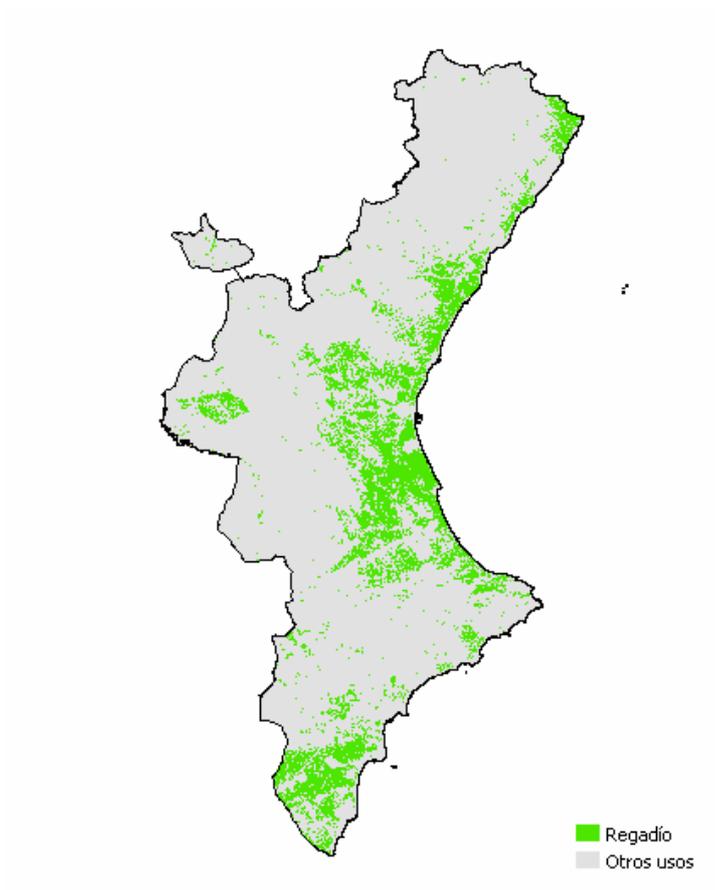
A nivel nacional, a partir del proyecto *CORINE LAND COVER 2006* se clasifica el 49,7% de la superficie de España como Zona Agrícola. Por otra parte, según datos de la *ESYRCE 2015 (Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos de 2015)* la superficie regada en España en 2015 fue de 3.636.519 hectáreas, que son el 14,3% de la Zona Agrícola, de las que 1.792.985 hectáreas, casi la mitad, se regaron mediante el sistema de riego localizado.



Usos del suelo principales, según el *Corine Land Cover 2006*, en España.

CORINE LAND COVER 2006 (ESPAÑA)		
Clasificación (niv. 1)	Sup. (km ²)	Sup. (%)
1. Zonas Urbanas	10.194,81	2,0%
2. Zonas Agrícolas	254.041,95	49,7%
3. Zonas Forestales	240.017,96	46,9%
4. Zonas Húmedas	1.114,27	0,2%
5. Superficies de Agua	5.972,97	1,2%

A nivel autonómico, según la *ESYRCE 2015* se clasificaron 287.145 hectáreas de la superficie de la Comunidad Valenciana como Regadío, que suponen el 12,3% de toda la comunidad autónoma y el 44,7% de la superficie cultivada. La superficie regada mediante riego localizado fue de 194.928 hectáreas, algo más de 2 tercios de la superficie de regadío.



Uso de REGADÍO, según el *ESYRCE 2015*, en la Comunidad Valenciana.

ESYRCE 2015 (COMUNIDAD VALENCIANA)		
Clasificación	Sup. (ha)	Sup. (%)
Regadío (regado y no regado)	287.145	44,7%
Total superficie de cultivo	642.843	27,6%
Total comunidad autónoma	2.325.449	

Los principales sistemas de riego son los siguientes:

- **Riego por superficie o gravedad.** Se caracteriza por el reparto del agua en la superficie de la parcela aprovechando la fuerza de la gravedad. La canalización de la acometida del agua hasta la parcela es fija.
- **Riego por aspersión.** Se caracteriza por la distribución del agua mediante tuberías a alta presión hasta los mecanismos de aspersión. Este sistema de distribución puede ser de carácter fijo o portátil, efectuándose entonces el riego de la parcela por sectores.
- **Riego de tipo automotriz.** Se caracteriza por la distribución del agua mediante tuberías a alta presión hasta los mecanismos de aspersión, que se desplazan de forma autónoma.
- **Riego localizado.** Suele ser por goteo, en este caso el agua se distribuye en el suelo a través de emisores o goteros. Suele tener un carácter fijo, pudiendo estar enterrado el sistema principal de distribución.

En cuanto a la evolución de los sistemas de riego, según datos de la ESYRCE 2015, los sistemas de riego más tecnificados, como el riego localizado, han aumentado en los últimos años en detrimento de los más tradicionales, como el riego por gravedad. Esta evolución refleja una coherencia con las políticas de regadío desarrolladas en los últimos años con el objetivo de conseguir una agricultura más sostenible y eficiente.

ESYRCE 2015 (ESPAÑA)					
Sistema de Riego	2005		2015		Variación
	Sup. (ha)	(%)	Sup. (ha)	(%)	(%)
Gravedad	1.192.717	35,9%	978.264	26,9%	-18,0%
Aspersión	535.503	16,1%	558.834	15,4%	4,4%
Automotriz	256.573	7,7%	306.272	8,4%	19,4%
Localizado	1.302.810	39,2%	1.792.985	49,3%	37,6%
Otros	38.131	1,1%	164	0,0%	-
TOTAL:	3.325.734		3.636.519		9,3%

ESYRCE 2015 (COMUNIDAD VALENCIANA)				
Sistema de Riego	2015 (España)	2015 (C.V.)		
	Sup. (ha)	Sup. (ha)	Sup. (%)	(CV / España)
Gravedad	1.192.717	90.853	31,6%	7,6%
Aspersión	535.503	1.356	0,5%	0,3%
Automotriz	256.573	8	0,0%	0,0%
Localizado	1.302.810	194.928	67,9%	15,0%
Otros	38.131	0	0,0%	0,0%
TOTAL:	3.325.734	287.145		8,6%

3. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LAS COMUNIDADES DE REGANTES

3.1. Características principales de las Comunidades de Regantes

Existen en España unas 7.200 Comunidades de Regantes, que se rigen básicamente por el RD 849/1986 de 11 de abril, por el que se aprueba el *Reglamento del Dominio Público Hidráulico*; y por el RD 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el *Texto Refundido de la Ley de Aguas*. Así, según el artículo 198 del RD 849/1986 y el 81 del RD 1/2001 “*los usuarios del agua y otros bienes del dominio público hidráulico de una misma toma o concesión deberán constituirse como comunidades de usuarios. Cuando el destino dado a las aguas fuese fundamentalmente el riego, se denominarán Comunidades de Regantes*”. Las Comunidades de Regantes están adscritas a los Organismos de Cuenca, que se encargan del cuidado del cumplimiento de sus estatutos.

Así pues, las Comunidades de Regantes son los órganos de gestión y administración del agua de riego en los regadíos y se encargan de distribuir y administrar con eficiencia y equidad el agua desde la cabecera de la zona regable hasta las parcelas de los agricultores. Están sujetas a derecho y tienen personalidad jurídica propia, de base asociativa e independiente a los miembros que las forman, tienen patrimonio propio y se rigen por sus propios estatutos y ordenanzas.

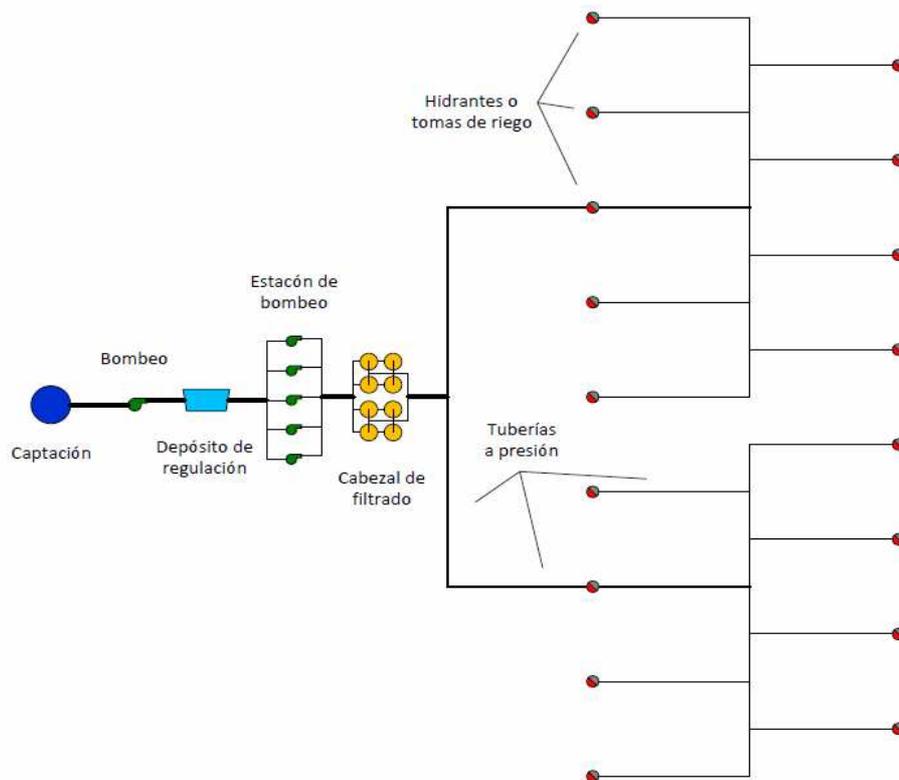
En España las comunidades de regantes se encargan de la gestión de aproximadamente el 70% de la superficie regable, por lo que tienen una gran repercusión en el consumo energético global del sector agrícola. Según el IDEA, las instalaciones de riego de las comunidades de regantes, se estima que en 2010 consumieron unas 425 ktep, siendo el 80% del consumo correspondiente a energía eléctrica y el 20% a motobombas de gasóleo.

Así pues, las Comunidades de Regantes juegan un papel fundamental para el uso y la gestión óptimos del agua y de la energía, ya que de su buena gestión depende la cuantía total de la demanda hídrica y energética para los regantes, con su correspondiente buena gestión económica.

3.2. Red de distribución y puntos críticos de consumo energético

La red de distribución de agua es un conjunto de elementos conectados entre sí, como son las estaciones de bombeo, las balsas de regulación, las tuberías y los elementos especiales (válvulas, accesorios, elementos de unión, hidrantes,...). La finalidad de la red de distribución es conducir el agua desde los puntos de captación hasta las zonas de consumo, manteniendo unas condiciones adecuadas de caudal y presión.

Los puntos de alimentación o de captación de las redes de distribución pueden ser las aguas superficiales (ríos, lagos, embalses,...), las aguas subterráneas (mediante pozos), las aguas depuradas, o a partir de sistemas mixtos, que son combinación de los anteriores.



Esquema básico de una red de distribución de agua de riego a presión.

En los sistemas de riego a presión se necesita energía para que los emisores realicen un correcto reparto del agua sobre la superficie a regar. En una red de distribución de agua para riego los principales puntos críticos de consumo energético, aquellos donde se tiene un mayor consumo de energía, son las captaciones y las estaciones de bombeo. El consumo de energía en estos puntos depende de tres factores, que son: la procedencia de las aguas, la presión demandada por el sistema de riego y la topografía entre la zona de consumo y la captación. Se explican a continuación:

- + Según la **procedencia de las aguas**, el consumo energético depende de llevar el agua a “*pie de parcela*”:
 - si la captación es en *aguas superficiales* el factor más importante es la topografía entre la captación y el punto de consumo, ya que si el punto de consumo está a mayor cota que la captación se requiere un aporte extra de energía para llevar el agua salvando tal desnivel;
 - si la captación es en *aguas subterráneas* los factores más importantes son los niveles piezométricos de los acuíferos y la topografía entre la captación y el punto de consumo, a parte del factor topográfico que se ha comentado anteriormente, se requiere un mayor aporte energético para el bombeo.

- + Según la **presión demandada por el sistema de riego**:
 - el *riego por gravedad* no necesita presión;
 - el *riego localizado*, por goteo, necesita una presión a la entrada de las parcelas de unos 2,5 – 3 bares (25,5 – 30,6 mca);
 - el *riego por aspersión* requiere una presión necesaria a la entrada de las parcelas de unos 4 – 4,5 bares (40,8 – 45,9 mca).

- + Según la **topografía** entre la zona de consumo y la captación:
 - si la *zona de consumo está a menor cota* que la zona de captación no se requiere energía extra para llevar el agua;
 - si la *zona de consumo está a mayor cota* que la zona de captación se requiere más energía para elevar el agua esa diferencia de cota.

Así, la eficiencia energética de una comunidad de regantes depende en gran medida del diseño hidráulico de la red de distribución del agua de riego, de manera que un uso eficiente del agua conlleva un uso eficiente de la energía con su correspondiente ahorro económico y beneficios medioambientales.

Para aumentar la eficiencia energética las medidas han de ser de fácil aplicación y rentables, es decir, con una inversión mínima, o al menos que sea amortizable en un plazo de tiempo razonable, para lo que se realizan estudios sobre el ahorro a obtener y la inversión a realizar para ayudar en la toma de decisiones. Las principales medidas para aumentar la eficiencia se dividen en:

- medidas que afectan al diseño y al manejo de la red (distribución de sectores y turnos óptimos,...);
- medidas de mejora de las instalaciones de bombeo (adecuación a necesidades y condiciones de la comunidad de regantes,...);
- medidas de reducción del coste energético (estudio de las tarifas eléctricas,..).

3.3. Medidas de ahorro y eficiencia energética en el diseño y manejo de las instalaciones

Se describen a continuación las principales medidas de ahorro y eficiencia energética relacionadas con el diseño y el uso de las instalaciones de la comunidad de regantes.

3.3.1. Sectorización de la superficie por sectores de presión homogénea

Como se ha visto en el apartado anterior, la topografía es un factor determinante en el diseño de la red de distribución, ya que influye en el consumo de energía bombeando agua a zonas elevadas o no. Siempre que sea posible es recomendable una sectorización de la superficie regada en sectores con la misma demanda de presión, esto es en función de la cota y del sistema de riego.

Son recomendables sectores de riego de cota homogénea, alimentados por grupos de bombeo independientes, de manera que se suministre la misma presión a toda la superficie regada de un sector. Así se evitarán que a parcelas más altas, con una mayor demanda de presión, se les suministre menos presión; o por el contrario, que a parcelas más bajas, con menor demanda de presión, se les suministre mayor presión.

También son recomendables sectores de riego con un mismo sistema de riego, ya que cada sistema de riego requiere una presión diferente, así se suministrará una misma presión a toda la superficie del sector. De la misma manera que antes, se evitará que llegue menos presión a parcelas con un sistema de riego con mayor demanda de presión; o que les llegue más presión de la debida a parcelas con un sistema de riego que requiera menos presión.

3.3.2. Reorganización del reparto de agua en turnos de igual demanda energética

Cuanta más presión suministra el equipo de bombeo, más energía consume, de manera que se trata de suministrar la presión necesaria sin que haya excesos, evitando consumos energéticos innecesarios.

Relacionado con la medida anterior, en este caso se trata de evitar instalar varias bombas, de manera que se intentaría jugar con una misma bomba para que funcione de manera diferente en cada turno o sector de riego, adaptándola a las necesidades de presión en cada momento. Así también se evitaría la instalación de válvulas reductoras de presión para evitar los excesos de presión. Aunque estas válvulas a veces son necesarias como medidas de protección de tuberías y sistemas de riego, ya que un exceso de presión puede ocasionar roturas y funcionamientos anómalos.

3.3.3. Automatización de instalaciones colectivas con sondas de presión en puntos críticos

Con esta medida se trata de mantener la presión de consigna en determinados puntos de la red, como los puntos de mayor cota y los puntos más alejados, que son los puntos críticos, a los que les suele llegar menor presión. Para ello se instalan sondas de presión en dichos

puntos que suministren información a un autómata programable que controle el funcionamiento de los equipos de bombeo.

La *regulación mano-caudalímetro* es la que mejor regula el consumo energético de las estaciones de bombeo. De esta manera, si la demanda de caudal aumenta en determinadas zonas, la presión disminuirá y se actuará sobre el bombeo para mantener la presión en sus valores de consigna; por el contrario, si la demanda de caudal disminuye, la presión aumentará y se actuará sobre el bombeo para disminuir y mantener la presión en sus valores de consigna.

Así, controlando que la presión sea la adecuada en todos los hidrantes para cada caudal demandado actuando en función del caudal y de la presión, la calidad del suministro del agua queda garantizada.

3.3.4. Mantenimiento periódico de las instalaciones

Estas medidas son de sentido común, ya que un buen mantenimiento de las instalaciones evitará derroches energéticos y ahorrará reparaciones. Así, el personal de las comunidades de regantes debe conocer perfectamente la red y su estado en cada momento (qué y cuándo se riega cada sector, qué bombas y qué válvulas funcionan en cada momento,...), así como deben estar capacitados para realizar mantenimientos periódicos básicos y ser capaces de reaccionar en el mínimo tiempo posible ante cualquier situación anómala.

Algunas de las principales labores de mantenimiento periódico son las siguientes:

- limpieza de las válvulas de aspiración de los bombeos;
- limpieza del agua embalsada y de las paredes y fondo de las balsas de captación;
- mantenimiento de los filtros;
- mantenimiento de las válvulas de corte.

Con estas medidas se evita la obturación por algas de tuberías de aspiración, rodetes y filtros, se mejora la calidad del agua y se ahorra energía en el bombeo.

3.3.5. Adaptación del manejo de las instalaciones a las nuevas necesidades

Las comunidades de regantes van construyendo y mejorando su infraestructura a lo largo de los años, adaptándose a nuevas dotaciones o a restricciones de agua, lo que implica sustituciones de equipos y tuberías, que provocan cambios en las condiciones de trabajo de la red. Estos cambios exigen estudios de nuevas alternativas para las nuevas situaciones de manera que no empeore la eficiencia energética.

En los procesos de modernización de las redes de distribución es habitual que no todos los regantes cambien su sistema de riego en parcela, por lo que lo más eficiente energéticamente es mantener los canales de distribución por gravedad e impulsar el cambio al riego a presión en toda la zona regable.

3.4. Medidas de ahorro y eficiencia energética en los equipos de bombeo

Se describen en este subapartado algunas medidas de ahorro y eficiencia energética relacionadas con los equipos de bombeo de la comunidad de regantes.

3.4.1. Dimensionado de los grupos de bombeo para caudales de funcionamiento habituales de la instalación

Los equipos de bombeo se suelen dimensionar para abastecer al 100% de la superficie regable durante todo el año, o para suministrar el caudal necesario en la época del año de máxima demanda, que suelen ser 1 o 2 meses al año, operando el resto del año muy por debajo de su punto de funcionamiento óptimo, trabajando con caudales muy bajos, lo que se traduce en una eficiencia muy baja.

Para evitar esta baja eficiencia por el sobredimensionamiento de los equipos de bombeo se puede sustituir al menos uno de los grupos de bombeo por otro que trabaje con menor

caudal nominal a la presión demandada, de manera que será más eficiente. En cuanto aumente la demanda de agua de riego se pondrán en funcionamiento el resto de los equipos de bombeo.

3.4.2. Instalación de pequeños grupos de bombeo en paralelo con al menos 2 bombas de velocidad variable

Las necesidades de caudal y presión en las redes de distribución no suelen ser constantes pero los grupos de bombeo, como se ha comentado anteriormente, se dimensionan para las máximas necesidades, por lo que durante muchos periodos las bombas funcionan muy por debajo de su mejor rendimiento.

En este caso la solución que se propone es la instalación de varias bombas más pequeñas en paralelo, equipada alguna de ellas con variadores de velocidad, de manera que las bombas se ajusten a las necesidades. Así, siempre que el régimen de trabajo de las bombas esté en un determinado rango, se conseguirá ahorrar energía, un menor desgaste de los elementos mecánicos, así como la reducción de ruidos y vibraciones.

3.4.3. Instalación de equipos de control electrónico (arrancadores estáticos)

La instalación de arrancadores estáticos, sobre todo en bombas que trabajan a un régimen fijo, evitan intensidades y pares de arranque elevados que podrían dañar el motor. Los arrancadores estáticos aplican la tensión de forma progresiva, mediante rampas de tensión, tanto en los arranques como en las paradas de los motores, produciendo arranques y paradas más suaves que minimizan los daños producidos por golpes y vibraciones, y por otra parte mejoran los rendimientos y controlan el golpe de ariete.

3.4.4. Simulación de la puesta en marcha de los grupos de bombeo

La simulación de la red de distribución del agua de riego con varios escenarios de demanda permite, por una parte, un mejor conocimiento de la red y, por otra, una evaluación del funcionamiento y una previsión del comportamiento de la red ante posibles cambios de demanda. Se pueden realizar estimaciones de eficiencias y rendimientos en los distintos

escenarios y programar los arranques de las bombas para adaptar su funcionamiento a las variaciones de demanda manteniendo una alta eficiencia en todo momento.

3.4.5. Mejoras en el factor de potencia de los equipos

El factor de potencia (f.d.p.) está asociado a la eficiencia con que se utiliza la energía eléctrica para producir trabajo útil. Factores de potencia bajos (< 90%) suponen una mayor intensidad de corriente, lo que puede producir, entre otras cosas, incrementos de potencia de las instalaciones, que conllevan un mayor coste de la energía y la aplicación de recargos sobre la tarifa contratada.

Para conseguir factores de potencia superiores al 90% (no hay recargos en la tarifa) y al 95% (pueden haber incluso bonificaciones económicas) se deben instalar baterías de condensadores que compensen la energía reactiva que consumen los motores. De esta manera, corrigiendo el factor de potencia se reduce el gasto en la factura eléctrica, se protege la vida útil de las instalaciones y se aumenta la eficiencia energética.

3.4.6. Mantenimiento de equipos de bombeo

Como en el caso anterior del diseño y manejo de la red, estas medidas son de sentido común, ya que un buen mantenimiento de los equipos de bombeo evitará derroches energéticos y ahorrará reparaciones. Así, el personal de las comunidades de regantes debe conocer perfectamente el funcionamiento de los equipos de bombeo y llevar a cabo un mantenimiento adecuado siguiendo las indicaciones de los fabricantes de las bombas, también se debe establecer un protocolo de mantenimiento basado en la experiencia propia y realizar revisiones rutinarias del funcionamiento de las bombas y de sus elementos (filtros, lubricantes, alineamientos, engrasado,...).

3.5. Medidas de ahorro en la contratación de las tarifas eléctricas

Con estas medidas no se consigue un ahorro energético pero sí un ahorro económico, ya que se trata de adecuar el consumo energético a las condiciones más ventajosas de las

compañías eléctricas estudiando sus tarifas más económicas, adaptando los consumos a las horas valle...

3.5.1. Tarifa eléctrica según la potencia demandada y consumo real

Se deben estudiar las tarifas que ofrecen las compañías eléctricas y realizar la elección en función de las horas de uso de las instalaciones a plena carga. Para una determinada tensión suelen haber 3 tarifas en función de la utilización, así las tarifas de corta utilización tienen una potencia más barata pero la energía es más cara, justo lo contrario de lo que pasa en las tarifas de larga duración, en las que la energía es más barata y la potencia es más cara. Así, por ejemplo, en las comunidades de regantes en las que las instalaciones funcionen durante muchas al mes es más rentable contratar las tarifas de larga duración.

En función de los costes de la potencia y de la electricidad se pueden calcular los umbrales para los estudios de qué tarifas son más ventajosas.

3.5.2. Contratar la potencia realmente utilizada

La facturación de la potencia (P_F) suele ser función de la potencia contratada (P_C) y de la potencia máxima registrada en los máxímetros (P_R), de manera que:

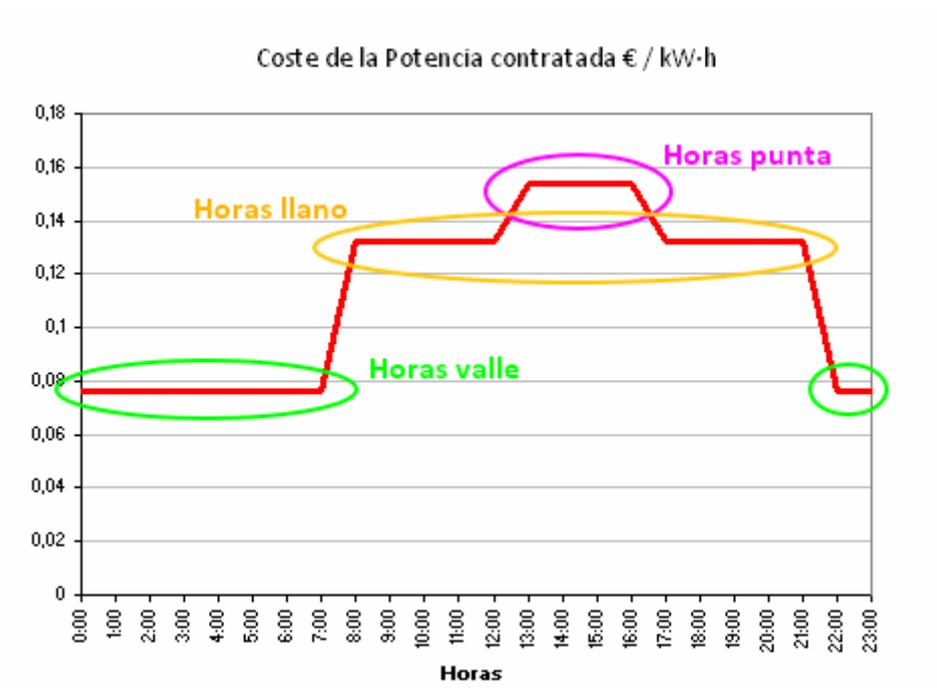
$$\begin{cases} \text{si } 85\% \cdot P_C \leq P_R \leq 105\% \cdot P_C & \rightarrow P_F = P_R \\ \text{si } P_R > 105\% \cdot P_C & \rightarrow P_F = P_R + 2 \cdot (P_R - 105\% \cdot P_C) \\ \text{si } P_R < 85\% \cdot P_C & \rightarrow P_F = 85\% \cdot P_C \end{cases}$$

Así, si se registra una potencia mayor al 105% de la potencia contratada se va a pagar un recargo o penalización por exceso. De la misma manera, si se consume menos de un 85% de la potencia contratada se va a pagar siempre el 85% de la potencia contratada. Así, la situación idónea es hacer un estudio de las necesidades en cuanto a potencia y adaptar la potencia contratada a las necesidades, para evitar pagar de más por exceso y por defecto.

3.5.3. Ajuste del consumo energético a la discriminación horaria

El coste de la energía es variable en función de las horas del día, existiendo unas horas en las que la energía vale menos (horas valle), otras horas en las que vale más (horas punta) y otras en las que el precio es intermedio (horas llano).

Se trata con esta medida de intentar trasladar, dentro de lo posible, los consumos de energía a las horas valle, con lo que el coste de la energía utilizada será menor. Esto no siempre se consigue porque hay que adaptarse a los horarios de riego de los usuarios, pero sí se puede incentivar el riego nocturno ya que las horas valle suelen ser nocturnas.



4. AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN LAS COMUNIDADES DE REGANTES

4.1. Objetivo general

Las auditorías energéticas se deben englobar en un plan de trabajo de un *Programa de Ahorro Energético*, que consta de:

1. *Acuerdo de la Junta de Gobierno:*

Donde se acuerdan y se facilitan medios materiales y humanos para la realización de los trabajos del plan de ahorro.

2. *Auditoría energética*

Se identifican los puntos de baja eficiencia energética y se proponen posibles medidas que aumenten la eficiencia energética.

3. *Ejecución de medidas correctoras*

Se eligen y se planifican las medidas correctoras a aplicar, evaluando desde aquellas que no requieren prácticamente inversiones hasta aquellas que requieren mayores inversiones o, incluso, modificaciones de las infraestructuras.

4. *Seguimiento y evaluación de los resultados de las medidas ejecutadas*

Se obtienen periódicamente los indicadores energéticos de la auditoría energética y se analiza la evolución con respecto a los iniciales, permitiendo así la actualización de la toma de decisiones.

El objetivo general de las auditorías energéticas en las comunidades de regantes es la evaluación del consumo energético de la comunidad de regantes, determinando puntos críticos de consumo de energía, y proponer una serie de pautas para mejorar la eficiencia energética de las infraestructuras y de los sistemas de riego, lo que supondrá un ahorro energético y económico, al mismo tiempo que un descenso de las emisiones de CO₂ y de

otros gases de efecto invernadero (GEIs).

Simplificando el proceso se puede resumir en que a partir de la evaluación del funcionamiento de los equipos consumidores de energía y de la evaluación energética del diseño y del manejo de la red de riego, se procede a realizar una calificación energética de la comunidad de regantes. Una vez realizado el estudio energético se proponen medidas para mejorar el aprovechamiento energético y, a su vez, económico, realizándose por último una valoración energética y económica de las medidas propuestas.

Así pues, los puntos principales de la auditoría energética son las siguientes:

- Evaluación del funcionamiento de los equipos consumidores de energía.
- Evaluación del aprovechamiento energético del diseño y del manejo del sistema.
- Calificación energética de la comunidad de regantes.
- Propuesta de mejoras para aumentar el aprovechamiento energético y económico.
- Valoración energética y económica de las mejoras propuestas.

4.2. Fases principales

Como se ha comentado en el subapartado anterior, con la auditoría energética se pretende identificar los puntos de baja eficiencia energética para proponer posibles medidas que aumenten la eficiencia energética. Para ello, desde el grupo de investigación *Agua y Energía para una Agricultura Sostenible*, de la Universidad Miguel Hernández se ha realizado un protocolo, que también se ha tomado como referencia en el documento nº 10 “*Protocolo de Auditoría Energética en las Comunidades de Regantes*” del IDAE, que sigue el siguiente proceso:

1. *Obtención de datos*

En este punto se trata de obtener datos de la comunidad de regantes para poder caracterizarla. Se deben obtener datos descriptivos y de funcionamiento sobre la morfología de la propia comunidad de regantes, su gestión administrativa, manejo

de las instalaciones, sobre los suministros y consumos hídrico y energético y sobre las facturas que se pagan periódicamente.

2. *Evaluación de equipos consumidores de energía (EEB)*

En este punto se obtiene la eficiencia de los equipos de bombeo (EEB). Un equipo de bombeo consta de una bomba hidráulica y un motor, el motor transforma la energía eléctrica en energía mecánica, y la bomba transforma la energía mecánica en energía hidráulica. Con el uso y el paso del tiempo las bombas pueden presentar desgastes y fugas que modifican sus condiciones iniciales y hacerlas trabajar a rendimientos menores.

3. *Análisis del aprovechamiento energético (ESE)*

En este punto se obtiene la eficiencia del suministro eléctrico (EEB). La instalación eléctrica afecta al rendimiento global del sistema de impulsión ya que tanto en el transformador como en el cableado se pueden producir pérdidas de energía eléctrica al transformarse ésta en calor. Se analiza la energía requerida por el sistema de riego y la realmente suministrada por los equipos de bombeo.

4. *Indicadores de uso de la energía*

Se obtienen en este punto una serie de indicadores que servirán para categorizar la comunidad de regantes y sus instalaciones. Estos indicadores son descriptivos, de funcionamiento y de eficiencia, y dependen de la morfología, de los equipos consumidores de energía y de los contratos eléctricos.

5. *Calificación energética*

En este punto se califica a la comunidad de regantes en función de su utilización de la energía y según una serie de criterios.

6. *Propuestas de mejora*

Se proponen una serie de mejoras para aumentar la eficiencia energética general de la comunidad de regantes.

7. *Valoración energética y económica*

Por último se realiza una valoración sobre el ahorro energético y económico de las mejoras propuestas.

Para la realización de la segunda parte de este trabajo se han realizado algunas adaptaciones al proceso anterior, de manera que el proceso seguido, muy similar en cuanto a los contenidos, ha sido el siguiente:

1. *Descripción*
2. *Infraestructura y funcionamiento*
3. *Eficiencia energética*
4. *Evaluación energética*
5. *Calificación energética*
6. *Evaluación de la dotación hídrica*
7. *Evaluación del funcionamiento de la red de distribución de agua de riego*
8. *Propuestas de mejora y valoración*

II PARTE:**APLICACIÓN DE UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA A LA COMUNIDAD DE REGANTES DE LA ACEQUIA DE LA VIRGEN DEL REBOLLET****1. DESCRIPCIÓN DE LA COMUNIDAD DE REGANTES****1.1. Características generales**

A continuación se describen las características generales de la Comunidad de Regantes. Por deseo de privacidad de la Comunidad de Regantes no aparecen los datos reales de su nombre y de su situación, por lo que estos datos son figurados. En cambio, los datos técnicos sí que son reales y se corresponden al año 2011. El 100% de la superficie de la comunidad de regantes se destina al cultivo de cítricos.

CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Nombre de la comunidad de regantes:	COMUNIDAD DE REGANTES DE LA VERGE DEL REBOLLET
Domicilio social:	PLAÇA DELS XORROS, 1
Población:	BENICARRÒS
Provincia:	VALENCIA
Código Postal:	46911
Primer año de funcionamiento:	1.950
Tipos de suministro:	NO
Superficie total de riego:	111,39 ha
Nº total de hidrantes:	56
Nº total de usuarios:	237
Nº total de parcelas:	418
Tamaño medio de la explotación:	0,2665 ha
Superficie media anual riego:	100ha
Volumen anual de concesión:	800.000 m ³
Volumen medio suministrado:	622.246 m ³
Volumen concesión destinado a riego:	100%
Volumen concesión destinado a otros usos:	0%

1.2. Gestión económica y administrativa

En la comunidad de regantes trabajan dos personas en nómina, una se encarga de las funciones administrativas y la otra de las tareas de vigilancia y mantenimiento general de las instalaciones. Los principales gastos e ingresos son los siguientes:

GASTOS		
Compra de Agua	0,00 €	0,00%
Energía Eléctrica	36.500,00 €	29,01%
Combustibles	0,00 €	0,00%
Personal	21.600,00 €	17,17%
Mantenimiento	7.000,00 €	5,56%
Gastos Financieros	2.200,00 €	1,75%
Gastos Amortizaciones	5.000,00 €	3,97%
Abono y Fertilizantes	53.500,00 €	42,53%
Total	125.800,00 €	100,00%

Se observa como los principales gastos corresponden a los abonos y fertilizantes, a la energía eléctrica y al pago del personal.

INGRESOS		
Venta de Agua	112.000,00 €	88,89%
Otros Ingresos	14.000,00 €	11,11%
Total	126.000,00 €	100,00%

Como es lógico, la mayor fuente de ingresos en la comunidad de regantes es la venta del agua, para poder hacer frente a los gastos que se originan.

1.3. Gestión del suministro hídrico

Toda el área regable de la comunidad de regantes se enmarca en un único sector hidráulico, al que suministra el agua un único bombeo. Las características son las siguientes:

CARACTERÍSTICAS GENERALES HÍDRICAS	
Superficie Regable:	111,39 ha
Superficie Regada:	111,39 ha
Volumen de agua que entra al sistema:	650.925,00 m ³
Volumen de agua suministrada al regadío:	622.246,00 m ³
Volumen de agua suministrada otros usos:	0 m ³

SECTORES HIDRÁULICOS	
Nº de sectores hidráulicos:	1
Denominación:	CONJUNT CR
Superficie Regable:	111,39 ha
Superficie Regada:	111,39 ha
Volumen de agua que entra al sistema:	650.925,00 m ³
Volumen de agua suministrada al regadío:	622.246,00 m ³

BOMBEO	
Nº de bombes:	1
Denominación:	CAP DE TERME
Superficie Regada:	111,39 ha
Volumen de agua bombeado:	650.925,00 m ³
Altura manométrica suministrada	69,00 mca

1.4. Gestión energética

1.4.1. *Energía eléctrica contratada*

Todas las instalaciones de la comunidad de regantes se alimentan a través de un único punto de suministro de energía eléctrica, denominado *Cap de Terme*. Las características principales de la energía contratada para el funcionamiento de las instalaciones de la comunidad de regantes en el año 2011 son las siguientes:

ENERGÍA CONTRATADA	
Denominación	CAP DE TERME
Tarifa	3.1A
Tensión de acometida	Alta tensión - 20 kV
Potencia contratada	60 kW
Potencia contratable	60 kW
Instalaciones alimentadas	Grupo de Bombeo principal (con 2 bombas horizontales) + Grupo de Bombeo auxiliar (con 1 bomba vertical) para toma de agua de la acequia e inyectarla en la red de distribución de agua para riego
	Sistema de filtración y fertilización del agua inyectada
	Sistema de control del bombeo
Potencia instalada equipos	295 kW
Consumo anual	260.000 kW·h

1.4.2. Energía eléctrica consumida

El consumo anual de energía eléctrica para el año 2011 fue de 261.776 kW·h, cuyos periodos de facturación y distribución mensual a lo largo del año se muestran en las siguientes tablas y gráfica:

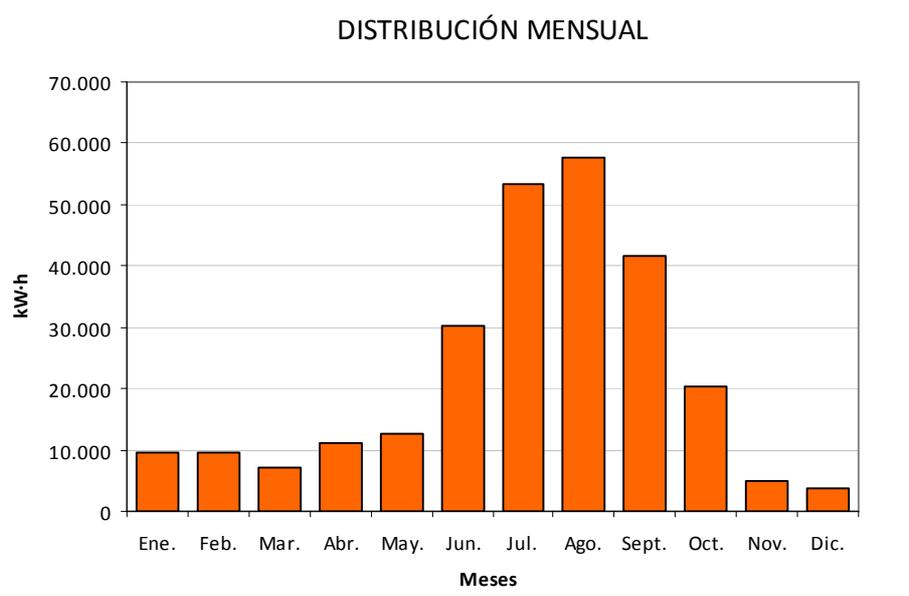
PERIODOS DE FACTURACIÓN					
PERIODOS	DESDE	HASTA	TOTAL (kW·h)	DÍAS	kW·h / día
1	31-dic-10	17-ene-11	5.437	17	319,8
2	17-ene-11	14-feb-11	8.168	28	291,7
3	14-feb-11	14-mar-11	10.564	28	377,3
4	14-mar-11	31-mar-11	1.748	17	102,8
5	31-mar-11	11-abr-11	4.815	11	437,7
6	11-abr-11	12-may-11	10.280	31	331,6
7	12-may-11	15-jun-11	15.122	34	444,8
8	15-jun-11	13-jul-11	41.998	28	1.499,9
9	13-jul-11	14-sep-11	117.462	63	1.864,5
10	14-sep-11	17-oct-11	33.808	33	1.024,5
11	17-oct-11	17-nov-11	8.497	31	274,1
12	17-nov-11	21-dic-11	1.504	34	44,2
13	21-dic-11	31-dic-11	2.448	10	244,8

Se puede observar un incremento notable del consumo diario en los periodos correspondientes a los meses estivales, debido a la escasez de precipitaciones y al aumento

de las temperaturas características de esos meses. Esto contribuye a una un incremento de las necesidades hídricas de los cultivos, y por consiguiente a una mayor demanda de energía para favorecer el riego.

En la siguiente tabla se han obtenido los consumos mensuales, y en la gráfica asociada se puede observar lo comentado en el párrafo anterior sobre el aumento del consumo de energía eléctrica en los meses estivales:

DISTRIBUCIÓN MENSUAL	
PERIODOS	TOTAL (kW·h)
Enero	9.492,9
Febrero	9.451,6
Marzo	7.090,4
Abril	11.009,5
Mayo	12.543,0
Junio	30.225,6
Julio	53.424,2
Agosto	57.798,8
Septiembre	41.654,4
Octubre	20.503,2
Noviembre	5.004,8
Diciembre	3.577,5
TOTAL	261.776,0



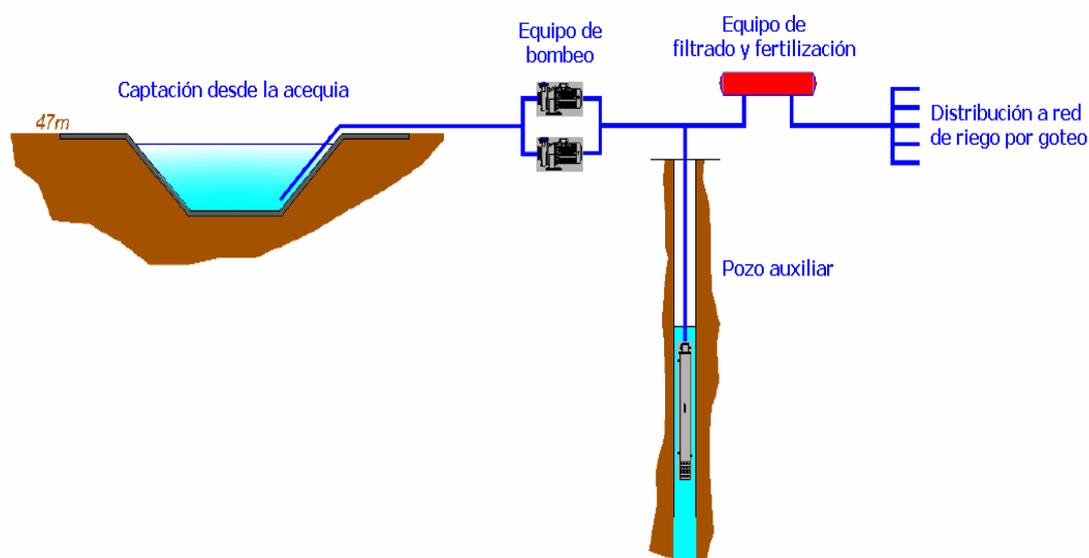
La Agencia Internacional de la Energía (AIE) expresa sus balances de energía en una unidad común que es la tonelada equivalente de petróleo (tep), que se define como 107 kcal. La conversión de unidades habituales a tep se hace en base a los poderes caloríficos inferiores de cada uno de los combustibles considerados. Así, en lo referente a la electricidad, la transformación a tep se hace con la equivalencia 1 MWh = 0,086 tep:

$$261.776 \text{ kW}\cdot\text{h} \quad \rightarrow \quad 261,776 \text{ MW}\cdot\text{h} \quad \rightarrow \quad 22,51 \text{ tep}$$

2. INFRAESTRUCTURAS Y FUNCIONAMIENTO DE LA COMUNIDAD DE REGANTES

2.1. Descripción de las infraestructuras

La comunidad de regantes abastece de agua para riego a una superficie de 111,39 ha, a través de 56 hidrantes colectivos y 418 tomas individuales. El cultivo principal son los cítricos y el sistema de riego aplicado en parcela es el riego por goteo. Toda la infraestructura de la comunidad de regantes está organizada en un único sector de distribución de agua y está compuesta por:



Esquema general de la infraestructura de la red de captación y distribución de agua de riego.

- la captación de agua desde la acequia, conectada directamente con la aspiración de las 2 bombas de inyección de agua a la red de distribución, equipos que suministran el caudal de agua con la presión necesaria para satisfacer las necesidades de riego de las parcelas;

- un sistema de filtrado y fertilización del agua para el riego situado entre el equipo de bombeo y la red de distribución;
- un pozo subterráneo de suministro auxiliar de agua en caso de que la acequia no aporte suficiente caudal de agua, situado en paralelo a la toma de la acequia y el sistema de inyección.



Captación de agua desde la acequia.



Bombas de inyección y filtros.

La captación principal de agua se realiza de una acequia procedente del río Júcar, a una cota de 47 m.s.n.m., con un caudal medio de $293 \text{ m}^3/\text{h}$ y un volumen anual de 650.925 m^3 . Como sistema de captación auxiliar en caso de emergencia se dispone de un pozo con una cota de salida de agua de 47 m.s.n.m., unos niveles estático y dinámico de 39 y 38 m.s.n.m.

respectivamente, con un caudal medio de 210 m³/h y con una altura manométrica de la bomba de 15 mca.

El equipo de bombeo está situado a una cota de 48 m.s.n.m., bombea el caudal medio de 293 m³/h, y el volumen anual de 650.925 m³ a una altura manométrica de 69 mca.

El pozo subterráneo auxiliar está ubicado al lado del cabezal de riego y solo se usa en situaciones excepcionales de sequía en las que la acequia no transporta el caudal suficiente. En 2011 no ha funcionado en ningún momento.

En cuanto a la red de distribución del agua para el riego, la mayoría de la red está realizada con tubería plástica PVC, teniendo una longitud total de 9.650 metros. La presión de diseño en los hidrantes finales de alimentación es de 25 mca, con una presión máxima de 40 mca y una presión mínima de 15 mca. Así la presión de las válvulas reductoras es de 40 mca.

2.2. Equipos consumidores de energía

Los principales equipos consumidores de energía son los dos bombeos, el de inyección de agua directamente a la red y el del pozo subterráneo auxiliar. Como el pozo auxiliar está ubicado al lado del cabezal de riego, la energía eléctrica de ambos equipos de bombeo procede del mismo centro de transformación a partir de un cuadro de conmutación, de manera que no pueden estar funcionando al mismo tiempo.

Las 2 bombas de la inyección directa son unas *Flowserve 4LR11* de 100 CV, iguales, conectadas en paralelo, equipadas con un motor *MEG 280S/M-2 11/02 BF71391*, equipada con un variador electrónico de frecuencia la primera de ellas (velocidad variable) y con un arrancador electrónico la segunda (velocidad fija). Mientras que la bomba del pozo es una *Pleuger-Worthington Flowserve 10M41-5 + M10/4-89* de 180 CV de potencia nominal.

Las características de estos equipos de bombeo son las siguientes:

BOMBEO POZO AUXILIAR	
Frecuencia:	50 Hz
Voltaje:	400 V
RPM:	2.900
Potencia del motor:	132,5 kW
Factor de potencia (cos ϕ):	0,90
Años de funcionamiento:	10
Nº rodetes:	5
Ø tubería impulsión:	4 " (100 mm)
material tubería impulsión:	Acero
Ø entubación:	400 mm
Profundidad de instalación de la bomba:	12 m
Cota de salida:	47 m.s.n.m.
Nivel estático:	39 m.s.n.m.
Nivel dinámico:	38 m.s.n.m.
Caudal medio bombeado:	210 m ³ /h
Volumen anual bombeado:	0 m ³
Tiempo de funcionamiento diario:	0 h
Tiempo de funcionamiento anual:	0 h

BOMBEO INYECCIÓN DIRECTA A LA RED	
Frecuencia:	50 Hz
Voltaje:	400 V
RPM:	2.975
Potencia del motor:	75 kW
Factor de potencia (cos ϕ):	0,89
Años de funcionamiento:	10
Nº rodetes:	5
Presión nominal:	87 mca
Caudal nominal:	190 m ³ /h
Nº de grupos de bombeo en paralelo:	2
¿Iguales?:	Sí
Tipo de agrupación:	1+1
Ø tubería aspiración:	250 mm
material aspiración:	Acero
Ø tubería impulsión:	200 mm
material tubería impulsión:	Acero
Cota del bombeo:	48 m.s.n.m.
Cota superior de la lámina de aspiración:	47 m.s.n.m.
Cota inferior de la lámina de aspiración:	46 m
Caudal medio bombeado:	293 m ³ /h
Volumen anual bombeado:	650.925 m ³
Tiempo de funcionamiento diario:	16 h
Tiempo de funcionamiento anual:	2.222 h

2.3. Funcionamiento de la red de distribución

La red de distribución está organizada para regar toda la superficie regable en 6 turnos y está automatizada hasta nivel de los hidrantes, de manera que un autómata programable realiza la apertura y el cierre de los 56 hidrantes, controlando la válvula hidráulica instalada en cada uno de ellos.

Así en cada turno de riego se abren una serie de hidrantes simultáneamente, de forma que todos los hidrantes de la red deben regar en alguno de los 6 turnos programados, ya que el intervalo de riegos es de 1 día en el mes de máximas necesidades.

3. EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA COMUNIDAD DE REGANTES

Como se ha indicado anteriormente, el principal consumo energético de la comunidad de regantes se produce en los dos bombeos, el de inyección de agua directamente a la red y el del pozo subterráneo auxiliar. Sin embargo, la eficiencia energética también depende del aprovechamiento de la energía que permita el diseño de las infraestructuras de riego.

El consumo de agua es directamente proporcional al consumo de energía, así al realizar la evaluación de la eficiencia energética se considera que un sistema de riego es más eficiente cuanto menor consumo energético necesite para un mismo suministro de agua a la presión demandada.

La eficiencia energética representa la relación entre la *energía requerida* (E_r) y la *energía consumida* (E_c). La *eficiencia energética de una comunidad de regantes* ($EECR$) se puede desglosar en dos componentes, que son la *Eficiencia Energética de los Bombeos* (EEB) y la *Eficiencia del Suministro Energético* (ESE). Los cálculos de EBE y ESE se pueden abordar desde la perspectiva del análisis de energías o del análisis de alturas piezométricas y potencias.

$$EECR = \frac{E_r}{E_c}$$

$$EECR = EEB \cdot ESE$$

La EEB representa a su vez la relación entre la *energía hidráulica suministrada por los bombeos* (E_{Bs}) y la *energía eléctrica realmente consumida por los bombeos* (E_{Bc}), esta relación se puede calcular a partir de la *potencia hidráulica suministrada* (N_s) y la *potencia*

realmente absorbida (N_a). Así, la EEB también representa el rendimiento del equipo de bombeo.

$$EEB = \frac{E_{Bs}}{E_{Bc}} = \frac{N_s}{N_a}$$

Así, el cálculo de la EEB se puede abordar mediante un análisis de energías o mediante un análisis de potencias. Mediante un análisis de energías se requiere de un bombeo que funcione a una altura manométrica constante, por lo que no se puede aplicar a bombeos de inyección directa en red. En cambio, mediante un análisis de potencias simplemente hay que medir la *potencia absorbida por el bombeo* (N_a) y la *potencia hidráulica media suministrada por el bombeo* (N_s).

Por otra parte, la ESE representa la relación entre la *energía requerida por el sistema de riego* (E_{rr}) y la *energía suministrada por los equipos de bombeo* (E_{sb}). Esta eficiencia depende del diseño y del manejo del sistema de distribución del agua de riego.

$$ESE = \frac{E_{rr}}{E_{sb}} = \frac{\Delta E_d^i}{E_{sb}} = \frac{\Delta H_I^D}{ICE}$$

En este caso, el cálculo de la ESE también se puede abordar mediante un análisis de energías o mediante un análisis de alturas piezométricas. Mediante un análisis de energías se requiere de una altura manométrica bastante constante y conocida, situación que no se da en bombeos que inyectan directamente a la red de distribución, en los que habría que tomar datos de la altura manométrica y obtener una altura manométrica media representativa suministrada.

3.1. Datos de consumo energético medidos en los equipos

En este subapartado se presentan datos tomados para la evaluación del consumo energético de los equipos de bombeo, y en los siguientes se procede el cálculo de la eficiencia energética de la comunidad de regantes.

No se ha realizado la evaluación del rendimiento del pozo auxiliar debido a que su consumo de energía no resulta significativo en el cómputo anual.

Para la toma de datos de consumo energético de los equipos se ha dispuesto de un analizador de redes *Chauvin Arnoux CA-8335*, de un caudalímetro de ultrasonidos *Fluxus F-601*, de un medidor de nivel de agua en pozo *Juan Azcue MNE-09* y de varios manómetros de la propia comunidad de regantes.

CONSUMO MEDIDO BOMBEO INYECCIÓN DIRECTA A LA RED		
Bombeo:	INY-1	INY-2
Tiempo de funcionamiento:	18 h	18 h
Intervalo de toma de datos:	600 s	600 s
Volumen bombeado:	2.211,4 m ³	2.148,1 m ³
Presión máxima aspiración:	-1,6 mca	-1,6 mca
Presión mínima aspiración:	-1,8 mca	-1,8 mca
Presión media aspiración:	-1,5 mca	-1,5 mca
Presión máxima impulsión:	68,5 mca	68,5 mca
Presión mínima impulsión:	68,0 mca	68,0 mca
Presión media impulsión:	67,5 mca	67,5 mca
Caudal máximo:	143,8 m ³ /h	129,6 m ³ /h
Caudal mínimo:	138,6 m ³ /h	115,1 m ³ /h
Caudal medio:	141,1 m³/h	126,4 m³/h
Potencia hidráulica media suministrada:	26,5 kW	23,8 kW
Potencia activa máxima:	60,5 kW	51,0 kW
Potencia activa mínima:	60,3 kW	41,6 kW
Potencia activa media:	60,5 kW	45,4 kW
Factor de potencia máximo (cos ϕ):	0,87	0,75
Factor de potencia mínimo (cos ϕ):	0,87	0,78
Factor de potencia medio (cos ϕ):	0,87	0,77
Energía activa total:	947,3 kW·h	771,6 kW·h
Energía reactiva total:	526,5 kVAr·h	644,3 kVAr·h
Energía anual consumida:	87.259 kW·h	174.517 kW·h

3.2. Eficiencia energética de los bombeos

En este subapartado, a partir de los datos anteriores se calcula la eficiencia energética de los bombeos mediante un análisis de potencias, la energía hidráulica anual suministrada al

agua y la eficiencia energética total del equipo de bombeo.

EEB	INY-1	INY-2	Uds
Potencia hidráulica media suministrada (Ns):	26,5	23,8	kW
Potencia activa media (Na):	60,5	45,4	kW
Eficiencia energética bombeos (EEBi = Ns / Na):	43,8%	52,4%	
Energía Anual Consumida (EBci):	87.259,0	174.517,0	kW·h
Energía Anual Suministrada (EBsi = EEBi · EBci):	38.220,9	91.486,9	kW·h
Eficiencia Energética Total Bombeos (EEB = ΣEBs / ΣEBc):	49,5%		

- *Eficiencia energética de los bombeos (EEBi):*

$$EEB_i = \frac{N_{s_i}}{N_{a_i}}$$

- *Energía hidráulica anual suministrada por los bombeos (EBsi):*

$$E_{Bs_i} = E_{Bc_i} \cdot EEB_i$$

- *Eficiencia energética total del equipo de bombeo (EEB):*

$$EEB = \frac{\sum E_{Bs_i}}{\sum E_{Bc_i}}$$

Así se han obtenido las eficiencias energéticas de cada bombeo a partir de sus respectivas potencias hidráulicas y eléctricas, para obtener un suministro anual de energía hidráulica individual. Finalmente, de la relación entre la energía hidráulica total suministrada sobre la energía eléctrica total consumida se obtiene la eficiencia energética total del conjunto del bombeo, resultando del 49,5%.

3.3. Eficiencia del suministro energético

En este subapartado se calculan una serie de parámetros para la obtención finalmente de la

eficiencia del suministro energético mediante un análisis de energías. En este caso, como la superficie a regar se encuentra a varias cotas, se ha sectorizado en sectores al mismo nivel, en intervalos de 10 metros de diferencia de cota, de esta manera se aplica la ecuación de la energía potencial anterior a cada sector, resultado finalmente la energía demandada por el sistema de riego como suma de todas las energías de los sectores.

Sectorización por cotas	Zmín (m)	Zmáx (m)	Presión (mca) (Prg/γ + Pp/γ)	Sup (ha)	V (m ³)	Edi (kW·h) (ρ·Vi·g·Hi)
1	< 40,0	40,0	40,0	1,36	7.947,4	1.732,5
2	40,0	50,0	40,0	19,05	111.321,7	27.301,6
3	50,0	60,0	40,0	42,88	250.576,0	68.282,0
4	60,0	70,0	40,0	39,96	233.512,6	69.995,4
5	70,0	80,0	40,0	8,14	47.567,4	15.554,5
Total:				111,39	650.925,0	182.866,1

ESE	SIST. RIEGO	Uds
Gravedad (g):	9,81	m/s ²
Desidad del agua (ρ):	1.000,0	kg/m ³
Cota del bombeo (z):	47,0	m
Altura de presión del agua (P/γ):	0,0	mca
Altura piezométrica del agua (H = z + P/γ):	47,0	m
Volumen bombeado (V):	650.925,0	m ³
Energía inicial (Ei = ρ·V·g·H) en kW·h:	83.367,2	kW·h
Presión del riego por goteo (Prg/γ):	30,0	mca
Presión adicional compensación pérdidas (Pp/γ):	10,0	mca
Energía demandada por el sistema de riego (Ed = ΣEdi):	182.866,1	kW·h
Energía requerida por el sistema de riego (Err = ΔE = Ei - Ed):	-99.498,8	kW·h
Altura manométrica suministrada por el bombeo (Hm):	69,0	m
Energía suministrada por los equipos de bombeo (Esb):	122.390,2	kW·h
Eficiencia del Suministro Energético (ESE = Err / Esb):	81,3%	

- *Energía inicial del agua (Ei):*

Es la energía que posee el agua en el momento de ser aportada a la red de riego, en el punto de captación, expresada en kW·h. Esta energía realmente es energía potencial, por lo que es función de la cota del punto de toma, del volumen bombeado y de la presión manométrica del agua en el punto de captación.

$$H = z + (P / \gamma); \quad Ei = (\rho \cdot V) \cdot g \cdot H$$

- *Energía demandada por el sistema de riego (Ed):*

Es la energía mínima que debe contener el agua en la red de riego para satisfacer las necesidades actuales de los cultivos, expresada en kW·h. Esta energía también es energía potencial, por lo que es función de la superficie a regar y de su cota máxima, del volumen de agua suministrado y de la presión de diseño demandada por el sistema de riego.

$$H_i = z_i + \left[\left(\frac{P_{rg}}{\gamma} \right) + \left(\frac{P_p}{\gamma} \right) \right]_i; \quad Ed_i = (\rho \cdot V_i) \cdot g \cdot H_i; \quad Ed = \sum Ed_i$$

- *Energía requerida por el sistema de riego (Err):*

Es la diferencia entre la energía inicial del agua y la energía demandada por el sistema de riego. Si el balance es positivo significa que no se requiere energía adicional por bombes; en caso de resultar negativo significa que sí es necesario un aporte adicional de energía mediante bombes.

$$E_{rr} = \Delta E_d^i = E_i - E_d$$

- *Energía suministrada por los equipos de bombeo (Esb):*

Es la energía aportada al agua por los diferentes bombes del sector hidráulico. Es función de la altura manométrica media de cada bombeo y del volumen anual de agua aportado por cada bombeo.

$$E_{sb} = N_s \cdot T = \rho \cdot g \cdot \sum (V_i \cdot Hm_i)$$

- *Eficiencia del suministro energético (ESE):*

$$ESE = \frac{E_{rr}}{E_{sb}}$$

Cabe recordar que las energías calculadas en unidades del SI se obtienen en J, por lo que se ha de tener en cuenta la relación de conversión a kW·h, siendo $1 \text{ J} = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ kW}\cdot\text{h}$. Señalar

que el signo negativo de la E_{rr} indica la necesidad de aportar energía al sistema mediante bombeos.

3.4. Eficiencia energética de la comunidad de regantes

Como se ha indicado anteriormente, la *eficiencia energética de una comunidad de regantes (EECR)* se puede desglosar como el producto de la *Eficiencia Energética de los Bombeos (EEB)* y la *Eficiencia del Suministro Energético (ESE)*.

$$EECR = EEB \cdot ESE$$

Este parámetro representa la relación entre la *energía requerida (E_r)* y la *energía consumida (E_c)* por la comunidad de regantes. En este caso, a partir de los valores obtenidos en los subapartados anteriores se obtiene:

EECR	
Eficiencia Energética Total Bombeos (EEB):	49,5%
Eficiencia del Suministro Energético (ESE):	81,3%
Eficiencia Energética de la Comunidad de Regantes (EECR):	40,3%

4. EVALUACIÓN ENERGÉTICA E INDICADORES DE USO DE LA ENERGÍA

4.1. Evaluación de la gestión energética

Para la evaluación de la gestión energética se obtiene información relativa a determinados procesos de la comunidad de regantes que influyen en la gestión de la energía. Para ello se ha elaborado un cuestionario con unas preguntas y unas opciones de respuesta, que se han valorado para obtener una calificación final, que varía entre 0 y 10 puntos, resultante de la suma de todas las valoraciones parciales.

EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA		
PROCESO	CRITERIOS	VALORACIÓN
1. Mantenimiento periódico de equipos consumidores de energía	0. No, solo en caso de averías	1
	1. Sí, cada 1 o más años	
	2. Si Más de 1 vez al año	
2. Alcance de las revisiones periódicas	0. No hay revisiones periódicas	2
	1. Revisiones periódicas a algunos equipos	
	2. Revisiones periódicas a todos los equipos	
3. Tipo de revisiones	0. Sustitución de piezas averiadas y comprobación del funcionamiento	1
	1. Sustitución periódica de elementos desgastados, engrasado y puesta a punto, revisión de puntos críticos, etc...	
4. Personal encargado de las revisiones	0. Sólo personal propio sin dedicación específica	2
	1. Personal propio y empresa especializada	
	2. Empresa especializada	
5. Compensación del factor de potencia	0. Menor de 0,95	1
	1. Mayor o igual a 0,95	
6. Tarifa eléctrica con discriminación horaria tipo 2 o superior	0. No	1
	1. Sí	
7. Recargo por discriminación horaria	0. Si hay recargo o la tarfa es tipo DH < 2	1
	1. Si hay bonificación	
VALORACIÓN TOTAL DE LA GESTIÓN ENERGÉTICA:		9

4.2. Indicadores generales de uso de la energía

Estos indicadores se obtienen para el único sector hidráulico de la comunidad de regantes, por lo que coinciden con los totales del conjunto de la comunidad de regantes. Los indicadores son de varios tipos: descriptivos, de funcionamiento o rendimiento y de eficiencia.

4.2.1. Indicadores descriptivos

Los indicadores descriptivos dan información sobre las características generales de la comunidad de regantes. Los principales indicadores descriptivos son los siguientes:

INDICADORES GENERALES DESCRIPTIVOS		
INDICADOR	VALOR	Uds
Superficie Regable (Sr):	111,39	ha
Superficie Regada (Sr'):	111,39	ha
Volumen de agua que entra al sistema (Ve):	650.925,0	m ³
Volumen de agua bombeado (Vb):	650.925,0	m ³
Volumen de agua suministrada a los usuarios (Vs):	622.246,0	m ³
Atura manométrica suministrada por el bombeo (Hm):	69,0	m
Suministro de agua de riego por unidad de área regable (Vs/Sr):	5.586,2	m ³ /ha
Suministro de agua de riego por unidad de área regada (Vs/Sr'):	5.586,2	m ³ /ha
Potencia total contratada (Pc):	60,0	kW
Potencia total absorbida (Pa):	134,0	kW
Energía anual activa consumida (Ec):	261.776,0	kW·h
Energía anual reactiva consumida (Erc):	75.424,0	kVAr·h
Coste económico de la energía (CE):	36.500	€
Costes totales (CT):	125.800	€

- *Superficie regable (Sr)*: Superficie total abastecida por la infraestructura de la CR.
- *Superficie regada (Sr')*: Superficie actual regada en la campaña auditada en la CR.
- *Volumen de agua que entra al sistema (Ve)*: Cantidad total de agua que entra a la CR, medida en los contadores de entrada de la infraestructura de la CR.

- *Volumen de agua bombeado (Vb)*: Cantidad total de agua bombeada al sistema de riego de la CR.
- *Volumen de agua suministrada a los usuarios (Vs)*: Cantidad medida en la unión entre el sistema de distribución y la toma del agricultor.
- *Suministro de agua de riego por unidad de área regable*: $\frac{V_s}{S_r}$
- *Suministro de agua de riego por unidad de agua regada*: $\frac{V_s}{S_r'}$
- *Potencia total contratada (Pc)*: Suma de la potencia total contratada.
- *Potencia total absorbida (Pa)*: Suma de todas las potencias de los equipos realmente alimentados.
- *Energía anual activa consumida (Ec)*: Suma de la energía activa total facturada en la CR.
- *Energía anual reactiva consumida (Erc)*: Suma de la energía reactiva total facturada en la CR.

4.2.2. Indicadores de rendimiento

Los indicadores de rendimiento o de funcionamiento relacionan el consumo energético, la potencia absorbida y el coste energético con la superficie regada y el volumen de agua suministrado. Los principales indicadores de rendimiento o de funcionamiento son los siguientes:

INDICADORES GENERALES DE RENDIMIENTO (1/2)		
INDICADOR	VALOR	Uds
Rendimiento de potencia (Pa/Pc):	223,3%	
Factor de potencia ($\cos \phi = \frac{E_c}{\sqrt{E_c^2 + E_{rc}^2}}$):	0,96	
Potencia contratada por unidad de área regable (Pc/Sr):	0,539	kW/ha
Potencia contratada por unidad de área regada (Pc/Sr'):	0,539	kW/ha
Energía consumida por unidad de área regada (Ec/Sr'):	2.350,09	kW·h / ha
Energía consumida por volumen de agua que entra en el sistema (Ec/Ve):	0,402	kW·h / m ³
Coste energético por área regable (CE/Sr):	327,68	€/ha
Coste energético por área regada (CE/Sr'):	327,68	€/ha

INDICADORES GENERALES DE RENDIMIENTO (2/2)		
INDICADOR	VALOR	Uds
Coste energético por volumen de agua que entra al sistema (CE/Ve):	0,0561	€/m ³
Coste energético por volumen de agua suministrado a los usuarios (CE/Vs):	0,0587	€/m ³
Gasto energético (CE/CT):	29,0%	

- Rendimiento de potencia: $\frac{Pa}{Pc}$
- Factor de potencia ($\cos \varphi$): Este indicador está relacionado con la eficiencia energética.

$$\cos(\varphi) = \frac{Ec^2}{\sqrt{Ec^2 + Erc^2}}$$

- Potencia contratada por unidad de área regable: $\frac{Pc}{Sr}$
- Potencia contratada por unidad de área regada: $\frac{Pc}{Sr'}$
- Energía consumida por unidad de área regada: $\frac{Ec}{Sr'}$
- Energía consumida por volumen de agua que entra en el sistema: $\frac{Ec}{Ve}$
- Coste energético por área regable: $\frac{CE}{Sr}$
- Coste energético por área regada: $\frac{CE}{Sr'}$
- Coste energético por volumen de agua que entra en el sistema: $\frac{CE}{Ve}$
- Coste energético por volumen de agua suministrado a los usuarios: $\frac{CE}{Vs}$
- Gasto energético: $\frac{CE}{CT}$

4.2.3. Indicadores de eficiencia

Los indicadores de eficiencia permiten la calificación energética de la comunidad de

regantes. Los indicadores de eficiencia de los bombeos, del suministro energético y el general de la comunidad de regantes se han calculado detalladamente en el apartado anterior sobre la Eficiencia Energética. Los principales indicadores de eficiencia son los siguientes:

INDICADORES GENERALES DE EFICIENCIA		
INDICADOR	VALOR	Uds
Índice de dependencia energética (IDE = V_b/V_e):	100,0%	
Índice de carga energética (ICE = $\Sigma(V_i \cdot H_i)/V_e$)	69,00	m
Eficiencia energética de los bombeos (EEB):	49,5%	*
Eficiencia del suministro energético (ESE):	81,3%	*
Eficiencia energética de la Comunidad de Regantes (EECR):	40,3%	*

* Se han calculado en el apartado anterior sobre la Eficiencia Energética

- *Índice de dependencia energética (IDE)*: Representa el porcentaje del volumen de agua que se bombea sobre todo el volumen de agua que entra en la CR.

$$IDE = \frac{V_b}{V_e}$$

- *Índice de carga energética (ICE)*: Representa la altura manométrica media suministrada por los bombeos, incluyendo los puntos de suministro que no precisan bombeo.

$$ICE = \frac{\Sigma V_i \cdot H_{m_i}}{V_e}$$

- *Eficiencia energética del bombeo (EEB)*: Representa el porcentaje de la potencia hidráulica suministrada por los bombeos sobre la potencia eléctrica consumida, ponderando cada bombeo en función de su consumo energético.

$$EEB = \frac{N_s}{N_a}$$

- *Eficiencia del suministro energético (ESE)*: Representa el porcentaje de la energía necesaria a aportar al sistema de riego sobre la energía real aportada.

$$\frac{|Err|}{E_{sb}} = \frac{|\Delta E_d^i|}{E_{sb}} = \frac{|\Delta H_I^D|}{ICE}$$

- *Eficiencia energética de la comunidad de regantes (EECR)*: Representa la eficiencia energética general de la red de distribución de la CR.

$$EECR = EEB \cdot ESE$$

4.3. Indicadores individuales de uso de la energía

Estos indicadores se obtienen para cada contrato de suministro energético y para cada equipo consumidor de energía. Los indicadores son de dos tipos: de potencia y de energía.

4.3.1. Indicadores de potencia

En este caso solo se dispone de un contrato con una única tarifa. Los principales indicadores de potencia son:

INDICADORES INDIVIDUALES DE POTENCIA		
INDICADOR	VALOR	Uds
Potencia contratada (P_c):	60,0	kW
Potencia contratable ($P_{c'}$):	60,0	kW
Potencia máxima registrada ($P_{máx_r}$):	134,0	kW
Potencia máxima medida ($P_{máx_m}$):	60,5	kW
Porcentaje de potencia contratada ($P_c/P_{c'}$):	100,0%	
Porcentaje de potencia registrada ($P_{máx_r}/P_{c'}$):	223,3%	
Porcentaje de potencia medida ($P_{máx_m}/P_{c'}$):	100,8%	

- *Potencia contratable ($P_{c'}$):* Máxima potencia que actualmente se puede contratar en el punto de suministro de energía.
- *Potencia máxima registrada ($P_{máx_r}$):* Máxima potencia registrada en las facturas de suministro eléctrico.
- *Potencia máxima medida ($P_{máx_m}$):* Máxima potencia registrada durante las mediciones en las instalaciones.
- *Porcentaje de potencia contratada:* $\frac{P_c}{P_{c'}}$
- *Porcentaje de potencia registrada:* $\frac{P_{máx_r}}{P_{c'}}$

- Porcentaje de potencia medida: $\frac{P_{m\acute{a}x_m}}{Pc'}$

4.3.2. Indicadores de energía

En este caso solo se dispone de un único bombeo de inyección del agua en la red de riego. Como se ha comentado anteriormente, no se contempla el bombeo del pozo auxiliar por no ser su consumo de energía significativo en el cómputo anual. Los principales indicadores de energía son:

INDICADORES INDIVIDUALES DE ENERGÍA		
INDICADOR	VALOR	Uds
Volumen bombeado (Vb):	650.925,0	m ³
Energía anual activa consumida (Ec):	261.776,0	kW·h
Energía anual reactiva consumida (Erc):	75.424,0	kVAr·h
Factor de potencia ($\cos \phi = \frac{Ec}{\sqrt{Ec^2+Erc^2}}$):	0,96	
Energía unitaria (Eu):	0,402	kW·h / m ³
Eficiencia energética de los bombeos (EEB):	49,5%	

- Energía unitaria (Eu): $\frac{Ec}{Vb}$

5. CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

5.1. Calificación de la gestión energética

A partir de los datos del apartado 4.1. sobre la evaluación de la gestión energética, se realiza la calificación de la gestión energética de la comunidad de regantes en base a los rangos:

CALIFICACIÓN GESTIÓN ENERGÉTICA		
CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	RANGO
++	Excelente	$9 \leq GE \leq 10$
+	Buena	$6 \leq GE \leq 8$
	Aceptable	$4 \leq GE \leq 5$
	Deficiente	$0 \leq GE \leq 3$

En este caso, con una $GE = 9$ se tiene una calificación de **Gestión Energética Excelente**, con un superíndice ++. Este superíndice se asignará a la letra correspondiente de la calificación de la eficiencia energética de la comunidad de regantes.

5.2. Calificación energética de la comunidad de regantes

La eficiencia energética de la comunidad de regantes (indicador EECR) se califica en base a los siguientes valores:

CALIFICACIÓN EECR		
CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	RANGO
A	Excelente	$EECR > 50\%$
B	Buena	$40\% \leq EECR \leq 50\%$
C	Normal	$30\% \leq EECR < 40\%$
D	Aceptable	$25\% \leq EECR < 30\%$
E	No aceptable	$EECR < 25\%$

En este caso, con una EECR = 40,3% se tiene una **Eficiencia Buena**, rozando el límite inferior hacia de una eficiencia Normal. Así, junto con la calificación de la gestión energética se tiene que la calificación final de la eficiencia energética de la comunidad de regantes es **B⁺⁺**.

5.3. Grupo de consumo energético de la comunidad de regantes

Para la clasificación de la comunidad de regantes en alguno de los grupos de consumo energético se usa el indicador de energía consumida por unidad de área regada (indicador E_c/S_r' , también llamado EPH). Los posibles grupos son los siguientes:

CALIFICACIÓN GRUPO CONSUMO ENERGÉTICO		
GRUPO	DESCRIPCIÓN	RANGO
1	No Consumidora	EPH = 0
2	Poco Consumidora	$0 < EPH \leq 300$
3	Consumidora Media	$300 < EPH \leq 600$
4	Consumidora	$600 < EPH \leq 1.000$
5	Gran Consumidora	$EPH > 1.000$

En este caso, con una EPH = 2.350,09 kW·h / ha se tiene que la comunidad de regantes pertenece al grupo 5, calificándose como de **Gran Consumidora**.

5.4. Calificación energética de la eficiencia de los bombeos

Por otra parte, la eficiencia energética de los bombeos (indicador EEB) se califica en función del rango de valores recogidos en la siguiente tabla:

CALIFICACIÓN EEB		
CALIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN	RANGO
A	Excelente	$EEB > 65\%$
B	Buena	$60\% \leq EEB \leq 65\%$
C	Normal	$50\% \leq EEB < 60\%$
D	Aceptable	$45\% \leq EEB < 50\%$
E	No aceptable	$EEB < 45\%$

En este caso, con una EEB = 49,5% se tiene una **Eficiencia Aceptable**, rozando el límite superior hacia una eficiencia Normal.

6. EVALUACIÓN DE LA DOTACIÓN HÍDRICA DE LA COMUNIDAD DE REGANTES

6.1. Cálculo agronómico de las necesidades hídricas

En este apartado se realizan los cálculos necesarios para determinar el volumen de agua de riego para los cultivos, según la metodología de Pemman Monteith aprobada por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y criterios del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA).

6.1.1. *Hipótesis de cálculo y datos de partida*

Para el cálculo de las necesidades totales de agua de riego se ha usado la metodología de Pemman Monteith, siguiendo las indicaciones del “*Estudio FAO nº 56 Riegos y Drenajes: Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*”.

Los datos meteorológicos se han obtenido a partir del servicio del IVIA, tomando como estación de referencia la estación del SIAR (Servicio Integral de Asesoramiento al Regante, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente) de Bolbaite en el año 2011 (<http://riegos.ivia.es/datos-meteorologicos>). Así, se han obtenido los datos mensuales de *precipitación (P)* y *evapotranspiración de referencia (ET_o)* a partir de los datos diarios de 2011.

Los datos del cultivo se han obtenido de la publicación nº 56 de la FAO, tomándose como referencia el cultivo enmarcado en la categoría de *árboles frutales*, definido como *cítricos si cobertura del suelo con el 50% cubierta vegetativa*, y se han realizado los cálculos de la *evapotranspiración del cultivo (ET_c)* en base al *coeficiente único del cultivo (K_c)*, que se ha

considerado igual a 0,65 e invariante durante todos los meses al ser los cítricos árboles de hoja perenne y con poca variación en sus coeficientes de cultivo.

Para los datos de plantación se ha supuesto un cultivo de cítricos con un marco de plantación de 6 x 4 metros con un diámetro de copa de 4 metros.

En cuanto a los datos del riego, se ha adoptado un sistema de riego por goteo, con una *eficiencia de riego (ER)* del 90%, un *coeficiente de uniformidad en el riego (CU)* del 90%. De la misma manera se ha establecido el valor de la *conductividad eléctrica del agua de riego (CEr)* en 0,75 dS/m y de la *conductividad eléctrica que produciría el 100% de pérdidas de la cosecha (CEmax)* en 8 dS/m. Se ha adoptado un *coeficiente de localización (KI)* de 1, y no se han considerado las correcciones por variación climática ni por advección. Para los goteros se han elegido los de un caudal (*qe*) de 4 litros/hora por ser los más comunes para este tipo de cultivos. A continuación se resumen estos valores adoptados:

DATOS GEOGRÁFICOS		
Estación:	Bolbaite - IVIA	
Latitud:	39,06915	º
Longitud:	-0,69017	º
Altitud:	269	m

DATOS DEL CULTIVO		
Coef. Basal del cultivo:	kCb ini =	0,650
	kCb med =	0,600
	kCb fin =	0,650
Fases de crecimiento (días):	Inicial =	60 días
	Desarrollo =	90 días
	Media =	120 días
	Final =	95 días
Alturas del cultivo (m):	h ini =	0,250 m
	h fin =	3,000 m
Límite inferior evapor. y transpir. cultivo:		
	kc mín =	0,175
Fracción de suelo mojada por riego o lluvia:		
	fw =	35%

DATOS DE LA PLANTACIÓN			
Marco de plantación	Dist. filas (df):	6,00	m
	Dist. plantas (dp):	4,00	m
Área plantación ($A_p = df \cdot dp$):		24,00	m ²
Diámetro planta (ϕ_p):		4,00	m
Área sombra planta ($A_s = \pi \cdot \phi_p^2/4$):		12,57	m ²
Fracción de área sombreada ($F_{as} = A_s / A_p$):		52,36%	

- Área de plantación (A_p): $A_p = df \cdot dp$
- Área sombreada por la planta (A_s): $A_s = \pi \cdot \left(\frac{\phi_p}{2}\right)^2$
- Fracción de área sombreada (F_{as}): $F_{as} = \frac{A_s}{A_p}$

DATOS SOBRE EL RIEGO		
Eficiencia del riego (ER):	90,0%	
Coefficiente de uniformidad (CU):	90,0%	
Conductividad eléctrica del agua de riego (CE _r):	0,75	dS/m
		mmho/cm
Conductividad eléctrica que produciría el 100% de pérdidas del cultivo (CE _{máx}):	8,00	dS/m
		mmho/cm
Fracción de lavado para evitar acumulación de sales (LR):	4,69%	(goteo)

- Fracción de lavado para evitar acumulación de sales en riego por goteo (LR):

$$LR = \frac{CE_r}{2 \cdot CE_{máx}}$$

6.1.2. Necesidades de agua de riego

Como se ha comentado anteriormente, a partir de los datos meteorológicos diarios de la estación de referencia se han obtenido los datos mensuales de precipitación y evapotranspiración, que sirven como base para los cálculos de las necesidades totales de agua de riego para el cultivo.

PROMEDIOS DE LOS DATOS DIARIOS						TIPO DE CULTIVO: CÍTRICOS	
Mes	Días	Temp. Media	Hum. Rel. Media	Precipit. (P)	ET Ref. (ETo)	Coef. Único del cultivo (Kc)	Evapotransp. del cultivo (ETc)
		(°C)	(%)	(mm)	(mm)	(-)	(mm)
1	31	7,92	73,09	24,80	30,81	0,650	20,03
2	28	9,93	58,47	1,00	55,14	0,650	35,84
3	31	10,87	71,99	154,80	59,77	0,650	38,85
4	30	15,67	67,96	73,00	93,55	0,650	60,81
5	31	18,37	69,48	87,60	117,38	0,650	76,30
6	30	21,42	68,19	0,80	137,67	0,650	89,49
7	31	24,33	64,69	1,40	151,22	0,650	98,29
8	31	25,31	63,32	0,00	147,20	0,650	95,68
9	30	22,64	63,45	8,60	114,88	0,650	74,67
10	31	17,63	66,88	35,80	72,15	0,650	46,90
11	30	13,01	82,77	177,20	33,35	0,650	21,68
12	31	9,75	70,32	7,20	34,39	0,650	22,35

RIEGOS							Tipo Riego:	G
Mes	Días	Precipit. Efect. o neta (Pe)	Coef. Localiz. (Kl)	Evapotransp. cultivo (ETc')	Necesidades de Riego netas (NRn)		Necesidades de Riego totales (NRt)	
		(mm)	(-)	(mm)	(mm)	(l/día)	(mm)	(l/día)
1	31	4,88	1,00	20,03	15,15	11,73	18,70	14,48
2	28	0	1,00	35,84	35,84	30,72	44,25	37,93
3	31	99,84	1,00	38,85	0,00	0,00	0,00	0,00
4	30	33,8	1,00	60,81	27,01	21,61	33,34	26,67
5	31	46,08	1,00	76,30	30,22	23,39	37,30	28,88
6	30	0	1,00	89,49	89,49	71,59	110,48	88,38
7	31	0	1,00	98,29	98,29	76,10	121,35	93,95
8	31	0	1,00	95,68	95,68	74,07	118,12	91,45
9	30	0	1,00	74,67	74,67	59,74	92,19	73,75
10	31	11,48	1,00	46,90	35,42	27,42	43,73	33,85
11	30	117,76	1,00	21,68	0,00	0,00	0,00	0,00
12	31	0	1,00	22,35	22,35	17,31	27,60	21,37

- *Evapotranspiración del cultivo (ETc):* $ETc = ETo \cdot Kc$
- *Precipitación efectiva o neta:* Es el volumen de precipitación que realmente pasa a formar parte del agua del suelo. Se ha calculado como un porcentaje variable con la cantidad de precipitación mensual, a partir de las fórmulas de Brouwer y Heibloem y recomendadas por la FAO.

$$\begin{cases} \text{si } P < 75\text{mm/mes} & \rightarrow Pe = 0,6 \cdot P - 10 \\ \text{si } P > 75\text{mm/mes} & \rightarrow Pe = 0,8 \cdot P - 24 \end{cases}$$

- *Evapotranspiración del cultivo corregida (ETc')*: No se han tenido en cuenta las correcciones por variación climática ni por advección, solo la de localización.

$$ETc' = ETc \cdot Kl$$

- *Necesidades de riego netas (NRn)*: Es el volumen que se debe aportar por el riego para que la planta pueda satisfacer la demanda de la evapotranspiración. No se ha tenido en cuenta el aporte hídrico capilar ni la variación de humedad del suelo entre dos riegos consecutivos.

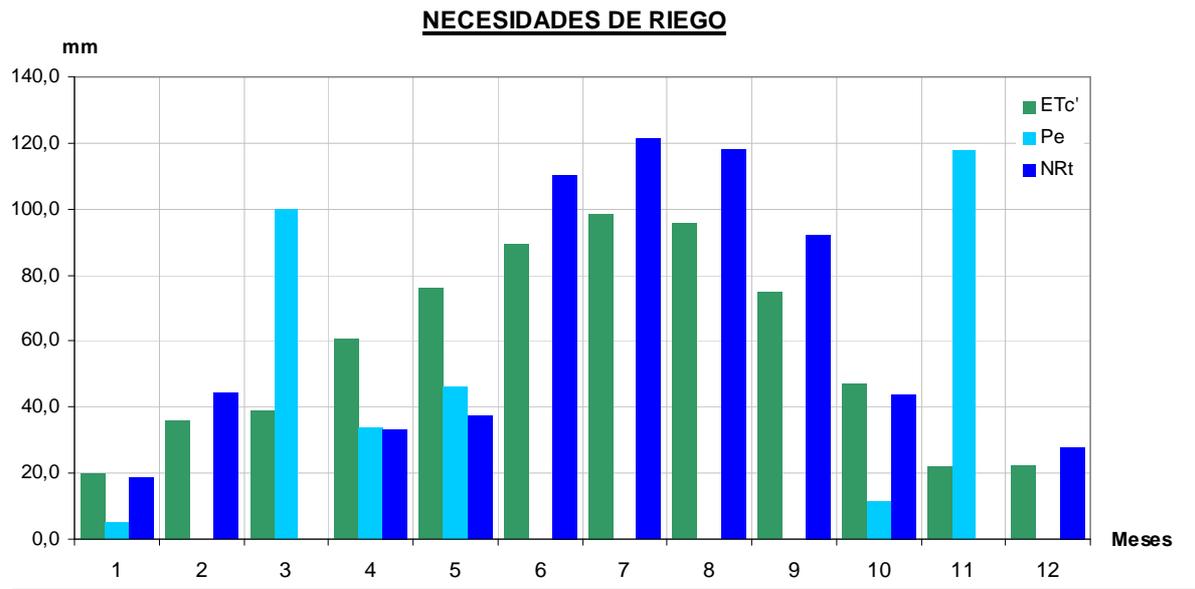
$$NRn = ETc' - Pe$$

- *Necesidades de riego totales (NRt)*: En este parámetro se tienen en cuenta las pérdidas por percolación aplicando el factor de *eficiencia del riego (ER)*, también se considera que en riego por goteo se necesita aplicar un volumen adicional en el riego, la *fracción de lavado (LR)*, para evitar la acumulación de sales en la zona radicular y de la misma manera se tiene en cuenta que el riego no es uniforme en toda el área regada a partir del *coeficiente de uniformidad (CU)*.

$$NRt = \max\left(\frac{NRn}{ER \cdot CU}; \frac{NRn}{(1 - LR) \cdot CU}\right)$$

Así, resulta una demanda total anual de agua de riego de 647,05 mm o l/m², que equivalen a **6.470,54 m³/ha**, que a su vez resultan un volumen anual de 720.753,12 m³ para las 111,39 ha de la comunidad de regantes.

En el gráfico siguiente se puede observar como en los meses que no hay precipitación efectiva, las necesidades de riego totales son superiores a la evapotranspiración del cultivo, y cuando hay precipitación efectiva las necesidades de riego disminuyen:



6.1.3. Caudal y número de emisores

Para el cálculo del caudal y del número de emisores se han tenido en cuenta la textura del suelo y se han calculado datos para goteros de varios caudales, entre 3 y 8 l/m. Finalmente se han escogido de 4 l/m y en un suelo franco, de textura media., por ser lo más habitual en este caso, resultando un número de 9 emisores por planta.

Caudal emisor (qe):	3	3,5	4	8	l/h
Textura del suelo	Diámetros mojados (\varnothing m) (Karmeli, Peri y Todes) (m)				
Fina (arcilloso):	1,50	1,55	1,60	2,00	
Media (franco):	1,03	1,09	1,14	1,58	
Gruesa (arenoso):	0,66	0,72	0,78	1,26	
CÁLCULOS					Uds.
Radio mojado del emisor (Rm):	0,52	0,54	0,57	0,79	m
Solape (s):	15,0%	15,0%	15,0%	15,0%	
Separación máxima emisores (Se):	0,95	1,00	1,05	1,46	m
Área mojada sin solape (Ame_ss):	0,83	0,92	1,02	1,96	m ²
Área mojada con solape (Ame_cs):	0,81	0,90	1,00	1,91	m ²
Nº de emisores por planta (ne):	10,33	9,31	8,44	4,39	
	11,00	10,00	9,00	5,00	
Nuevo solape (s'):	39,3%	36,6%	35,0%	49,7%	
Nueva separación máxima (se'):	0,83	0,89	0,94	1,19	m

- *Diámetro mojado por el emisor (\varnothing m):* se han usado las fórmulas de Karmeli, Peri y Todes que lo relacionan con la textura del suelo y con el caudal del emisor:

$$\begin{cases} \text{textura fina} \rightarrow \phi_m = 1,2 + 0,10 \cdot q_e \\ \text{textura media} \rightarrow \phi_m = 0,7 + 0,11 \cdot q_e \\ \text{textura gruesa} \rightarrow \phi_m = 0,3 + 0,12 \cdot q_e \end{cases}$$

- *Diámetro mojado por el emisor (Rm):* $R_m = \frac{\phi_m}{2}$
- *Separación máxima entre emisores (Se):* $Se = R_m \cdot (2 - S)$
- *Área mojada sin tener en cuenta el solape (Ame_ss):* $Ame_{ss} = \pi \cdot R_m^2$
- *Área mojada considerando el solape (Ame_cs):*

$$\alpha = \arctg \sqrt{\frac{1}{\left(1 - \frac{S}{2}\right)^2} - 1}$$

$$Ame_{cs} = \left[\pi - 2 \cdot \left(\alpha - \left(1 - \frac{S}{2}\right) \cdot \text{sen} \alpha \right) \right] \cdot R_m^2$$

- *Número de emisores por planta (ne):*

$$ne = \frac{Ap \cdot fw}{Ame_{cs}}, \text{ se redondea al número entero superior}$$

Con el número de emisores por planta calculado se obtiene un nuevo solape para comprobar que es superior al establecido inicialmente y también una nueva distancia máxima entre emisores que debe ser inferior a la obtenida inicialmente, debida al nuevo solape.

6.1.4. Tiempo de riego

En función de las necesidades de riego totales se han establecido unos turnos de riego semanales para poder obtener los tiempos de riego diarios.

		PLANIFICACIÓN RIEGOS			Caudal del emisor (l/h)			
		Necesid. de Riego tot. (NRt) (l/día)	Riegos por semana (nrs) (-)	Intervalo entre riegos (I) (d)	Número de emisores			
Mes	Días				11	10	9	5
		Tiempo de riego diario (h)						
1	31	14,48	1	7,0	3,07	2,90	2,81	2,53
2	28	37,93	3	2,3	2,68	2,53	2,46	2,21
3	31	0,00	1	7,0	0,00	0,00	0,00	0,00
4	30	26,67	2	3,5	2,83	2,67	2,59	2,33
5	31	28,88	2	3,5	3,06	2,89	2,81	2,53
6	30	88,38	7	1,0	2,68	2,53	2,46	2,21
7	31	93,95	7	1,0	2,85	2,68	2,61	2,35
8	31	91,45	7	1,0	2,77	2,61	2,54	2,29
9	30	73,75	6	1,2	2,61	2,46	2,39	2,15
10	31	33,85	3	2,3	2,39	2,26	2,19	1,97
11	30	0,00	1	7,0	0,00	0,00	0,00	0,00
12	31	21,37	2	3,5	2,27	2,14	2,08	1,87

- Riegos por semana (nrs):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{si } NRt \leq 15 \rightarrow nrs = 1 \text{ riego semanal} \\ \text{si } NRt \leq 30 \rightarrow nrs = 2 \text{ riegos semanales} \\ \text{si } NRt \leq 45 \rightarrow nrs = 3 \text{ riegos semanales} \\ \text{si } NRt \leq 60 \rightarrow nrs = 4 \text{ riegos semanales} \\ \text{si } NRt \leq 70 \rightarrow nrs = 5 \text{ riegos semanales} \\ \text{si } NRt \leq 80 \rightarrow nrs = 6 \text{ riegos semanales} \\ \text{si } NRt > 80 \rightarrow nrs = 7 \text{ riegos semanales} \end{array} \right.$$

- Intervalo entre riegos (I): $I = \frac{7}{nrs}$

- Tiempo de riego diario (Tr): $Tr = \frac{NRt \cdot I}{q \cdot n_e}$

Así, considerando el mes de julio, que es el de mayores necesidades hídricas para la planta, se han establecido 7 riegos semanales, siendo un riego diario de **2,61 horas** de duración (2 h y 37 minutos), con un caudal de 4 l/h por emisor y 9 emisores, resultando 93,95 litros por planta al día.

De la misma manera, se han obtenido las horas de riego mensuales teniendo en cuenta el número de riegos semanales y las semanas de cada mes, obteniendo la siguiente tabla:

Mes	Días	Caudal del emisor (qe) (l/h)			
		3,0	3,5	4,0	8,0
		Tiempo de riego mensual (Trm) (h)			
1	31	13,60	12,82	12,47	11,22
2	28	32,18	30,34	29,50	26,55
3	31	0,00	0,00	0,00	0,00
4	30	24,25	22,86	22,23	20,01
5	31	27,13	25,58	24,87	22,38
6	30	80,35	75,75	73,65	66,29
7	31	88,25	83,21	80,90	72,81
8	31	85,91	81,00	78,75	70,87
9	30	67,05	63,21	61,46	55,31
10	31	31,80	29,98	29,15	26,24
11	30	0,00	0,00	0,00	0,00
12	31	20,07	18,92	18,40	16,56

Así, considerando el año completo, se riegan un total de 431,37 h, que con un caudal de 4 l/h por emisor y 9 emisores por planta resultan 15.529,29 litros por planta. Teniendo en cuenta el marco de plantación de 24 m², resultan los 6.470,54 m³/ha calculados.

6.1.5. Dotación hídrica

DOTACIONES HÍDRICAS	
Mes de máximas NRT:	7
Necesidades totales riego (NRT):	93,95 l/d/planta
	3,91 l/d/m ²
Tiempo de riego diario (Tr):	2,61 h
Caudal del emisor (qe):	4,00 l/h
Número de emisores (ne):	9 emisores
Jornada Efectiva de Riego (JER):	18,00 h
Rendimiento de la red (r):	75,00%
Caudal ficticio continuo en 24h (q_24h):	0,45 l/s/ha
Caudal ficticio continuo en la JER (q_JER):	0,60 l/s/ha
Intervalo entre riegos (Ir)	1,00 d
Número de sectores (ns)	1,00 sectores
Dotación de riego por unidad de superficie (dr _s):	4,17 l/s/ha

- Rendimiento de la red (r): $r = \frac{JER}{24}$

- *Caudal ficticio continuo para 24h (q_{24h}):* Es el caudal que habría que suministrar de manera continua para satisfacer las necesidades de riego diarias del mes de máximas necesidades hídricas. Se calcula en base diaria, de 24h:

$$q_{24h} = NRt \left[\frac{l}{m^2} \right] \cdot \frac{10.000}{24 \cdot 3600}$$

Considerando la JER, se obtiene un nuevo caudal ficticio continuo:

$$q_{JER} = \frac{q_{24h}}{r}$$

- *Dotación de riego por unidad de superficie (dr_s):* Es el caudal de suministro para el correcto funcionamiento del cultivo y se obtiene despejando de la igualdad entre el volumen de suministro y el volumen de necesidades de riego:

$$dr \cdot Tr \cdot ns = q_{JER} \cdot JER \cdot Ir \cdot S \quad \rightarrow \quad \frac{dr}{S} = q_{JER} \cdot \frac{JER \cdot Ir}{Tr \cdot ns} \quad \rightarrow \quad dr_s = \frac{dr}{S}$$

Para el cálculo de la dotación hídrica se ha considerado una jornada efectiva de riego (JER) de 18 horas. La JER es el tiempo real en el que los agricultores efectúan las labores de riego, son las horas al día en las que están funcionando las instalaciones colectivas de riego. Con esta consideración resulta una dotación de riego por unidad de superficie de 4,17 l/s/ha.

6.2. Evaluación de la dotación hídrica

Tras el cálculo agronómico del apartado anterior se obtiene la dotación hídrica necesaria para la comunidad de regantes según sus características y la climatología de la zona de estudio en el periodo estudiado, siendo:

NRt: 6.470,54 m³/ha

Y considerando el mes de julio como el de máximas necesidades de riego para el cultivo por la máxima evapotranspiración y las escasas precipitaciones, se tiene obtiene la siguiente dotación hídrica en la jornada efectiva de riego:

JER: 18 h

Tr: 2,61 h (2h 37min)

dr: 4,17 l/s/ha

(1,50 l/h/m²)

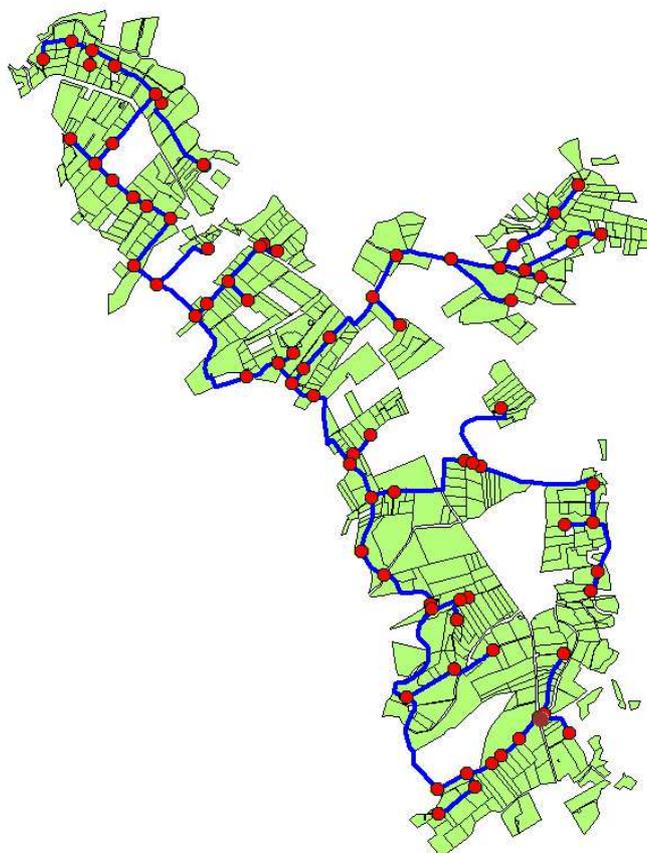
En riego por goteo se suele regar siempre con tiempos de riego parecidos para evitar cambios de tamaño en el bulbo húmedo, ya que es perjudicial para las raíces de los cultivos. Así, con este tiempo de riego y esta dotación quedarían cubiertas en cualquier época del año las necesidades de riego del cultivo.

DOTACIONES HÍDRICAS		
Necesidades de riego anuales:	6.470,54	m ³ /ha
Suministro de agua de riego:	5.586,20	m ³ /ha

Comparando las necesidades totales con el indicador descriptivo “*suministro de agua de riego por unidad de área regada*” se observa que la comunidad de regantes trabaja con un suministro inferior a las necesidades obtenidas en el cálculo agronómico, por lo que no puede reducirse el consumo de energía mediante una optimización de la dotación de riego.

7. EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA RED DISTRIBUCIÓN DEL AGUA DE RIEGO

En el apartado 2 se ha descrito la red de distribución de agua de riego y su funcionamiento, y en este apartado se evalúa su funcionamiento a partir de un modelo hidráulico realizado en Epanet. Para ello, la comunidad de regantes dispone de un sistema de información geográfica (SIG) de toda la superficie regable con información suficiente para, junto con los cálculos agronómicos del apartado anterior, construir un modelo hidráulico que se ajuste a la realidad.



Distribución de hidrantes y estructura parcelaria.

La organización del riego en redes de distribución a presión puede ser en riego a demanda o en riego por turnos o sectores.

En el riego a demanda los usuarios eligen el momento, la frecuencia y la duración del riego, resultando una combinación de caudales y presiones que varía en función de la combinación de hidrantes en funcionamiento en cada momento. Así, las estaciones de bombeo deben estar preparadas para suministrar los requerimientos más desfavorables, lo que repercute en un gran sobredimensionamiento y un alto consumo energético.

En el riego por turno o por sectores se organizan los hidrantes en grupos, turnos o sectores de riego para que funcionen simultáneamente en cada turno, de manera que se tengan unas presiones y caudales similares, lo que se asocia a unos rendimientos de los equipos de bombeo similares. Así, en esta forma de organización del riego se permite elecciones de configuraciones más ventajosas, escogiendo qué hidrantes y cuándo deben regar en cada turno, y por otra parte se evitan puntas de máximo caudal y presión que sí se pueden llegar a dar en el riego a demanda.

Así pues, el riego por turno permite una optimización del riego minimizando el consumo energético.

7.1. Modelizado de la red de riego

A partir del SIG se obtiene la superficie a la que abastece cada hidrante, de manera que a partir de la dotación por unidad de superficie calculada en el apartado anterior de 4,17 l/s/ha se ha obtenido el caudal instantáneo en cada hidrante. La presión mínima que debe haber en el hidrante más desfavorable es de 25 mca.

Por otra parte, la organización de los turnos, partiendo de la situación inicial de una sectorización por cotas, actualmente está modificada y adaptada por el manejo durante años de operación, con una consigna de presión constante de 70 mca en los cabezales.

Hidrante	Sup. (ha)	Q (l/s)	Turno	Hidrante	Sup. (ha)	Q (l/s)	Turno
H-01	2,38	9,92	5	H-29	0,57	2,39	3
H-02	3,26	13,57	2	H-30	2,46	10,25	2
H-03	1,70	7,09	2	H-31	3,39	14,13	1
H-04	3,28	13,65	3	H-32	2,51	10,45	3
H-05	2,19	9,11	4	H-33	1,90	7,90	4
H-06	2,82	11,74	1	H-34	3,16	13,16	2
H-07	3,09	12,88	6	H-35	1,27	5,30	5
H-08	3,35	13,97	5	H-36	2,11	8,79	6
H-09	4,64	19,32	1	H-37	2,43	10,12	5
H-10	2,99	12,47	5	H-38	1,69	7,05	3
H-11	1,16	4,82	2	H-39	1,48	6,16	5
H-12	1,79	7,45	4	H-40	1,42	5,91	6
H-13	1,36	5,67	6	H-41	2,09	8,71	3
H-14	1,33	5,55	1	H-42	1,75	7,29	3
H-15	1,09	4,54	4	H-43	1,35	5,63	1
H-16	1,12	4,66	2	H-44	1,24	5,18	5
H-17	2,62	10,93	6	H-45	1,43	5,95	6
H-18	2,24	9,31	4	H-46	1,17	4,86	5
H-19	2,68	11,18	2	H-47	0,94	3,93	4
H-20	0,85	3,52	3	H-48	1,47	6,11	3
H-21	3,05	12,72	1	H-49	1,26	5,26	6
H-22	1,56	6,52	5	H-50	1,56	6,48	2
H-23	1,02	4,25	4	H-51	0,88	3,69	1
H-24	2,73	11,38	6	H-52	3,09	12,88	4
H-25	2,14	8,91	3	H-53	1,35	5,63	3
H-26	1,80	7,49	1	H-54	0,98	4,09	5
H-27	1,87	7,78	4	H-55	1,96	8,18	2
H-28	1,17	4,86	4	H-56	3,22	13,40	6

Con los datos anteriores y la modelización de las bombas a partir de sus curvas características motriz y de rendimiento, la simulación en Epanet genera los siguientes resultados de potencias necesarias para trasegar los caudales requeridos, con lo que se tienen los consumos energéticos para un tiempo de riego de los turnos de 2h 37m que se muestran a continuación:

Turno	Q (l/s)	Sup (ha)	H (m)	tr (h)	P (kW)	E (kW-h)
1	80,26	19,26	70,00	2,61	91,47	238,71
2	79,37	19,05	70,00	2,61	79,34	207,05
3	73,70	17,69	70,00	2,61	73,67	192,26
4	72,00	17,28	70,00	2,61	67,69	176,64
5	78,60	18,86	70,00	2,61	79,58	207,68
6	80,18	19,24	70,00	2,61	100,46	262,17

En los turnos o sectores 1 y 6 entran en funcionamiento 2 bombas, por lo que aumenta la potencia y la energía consumida. Así, a partir de la simulación resulta un consumo total de energía diario de **1.284,50 kW·h**.

7.2. Conclusiones del modelizado

A partir de los datos facturados sobre el consumo energético del mes de julio de 2011, que son de 41.998 kW·h en 31 días, resulta un consumo total de energía diario de **1.354,77 kW·h**.

CONSUMO ENERGÉTICO RED DE RIEGO		
Consumo modelizado:	1.284,50	kW·h
Consumo facturado:	1.354,77	kW·h

Teniendo en cuenta que hay unos consumos de energía que no se han tenido en cuenta en la simulación como pueden ser los de los inyectores de fertilizantes, los autómatas que controlan el riego,... Se observa que la simulación genera unos resultados de costes energéticos muy similares a los registrados en las facturas, por lo que la red tiene un comportamiento hidráulico adecuado.

8. PROPUESTAS DE MEJORA Y VALORACIÓN

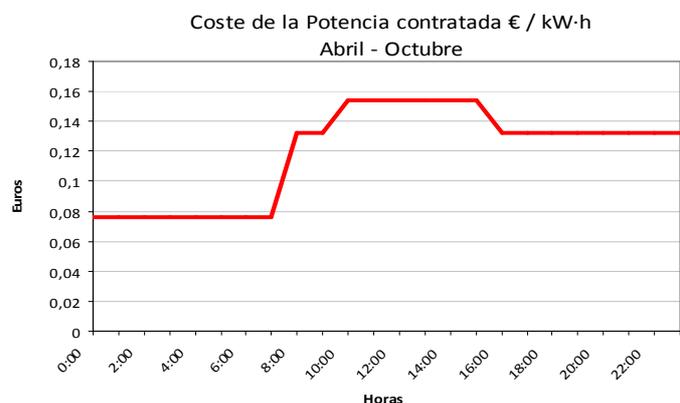
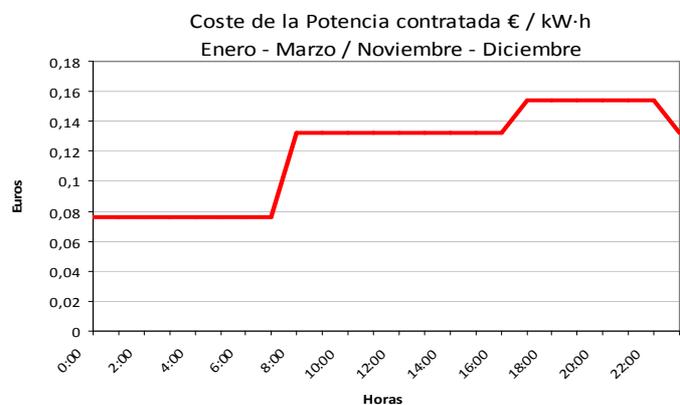
8.1. Mejoras en el diseño y manejo de la red

8.1.1. Ajuste de los riegos a la discriminación horaria

Se analizan los precios del *término de energía* contratados por la comunidad de regantes (Tarifa 3.1A) en cada intervalo horario, observándose que el precio en horas punta (P1) es del orden de un 15% superior al precio en horas llano (P2), mientras que el precio en horas valle (P3) es del orden de un 40% inferior al precio en horas llano.

Tipo de Potencia Contratada			
Horas	Ene - Mar	Abr - Oct	Nov - Dic
0:00	P3	P3	P3
1:00	P3	P3	P3
2:00	P3	P3	P3
3:00	P3	P3	P3
4:00	P3	P3	P3
5:00	P3	P3	P3
6:00	P3	P3	P3
7:00	P3	P3	P3
8:00	P2	P2	P2
9:00	P2	P2	P2
10:00	P2	P1	P2
11:00	P2	P1	P2
12:00	P2	P1	P2
13:00	P2	P1	P2
14:00	P2	P1	P2
15:00	P2	P1	P2
16:00	P2	P2	P2
17:00	P1	P2	P1
18:00	P1	P2	P1
19:00	P1	P2	P1
20:00	P1	P2	P1
21:00	P1	P2	P1
22:00	P1	P2	P1
23:00	P2	P2	P2

Tipo	€/kW-h
P1	0,1539 €
P2	0,1324 €
P3	0,0763 €



A partir de la facturación de la energía consumida se realiza un análisis del consumo de energía en los diferentes periodos de tarificación.

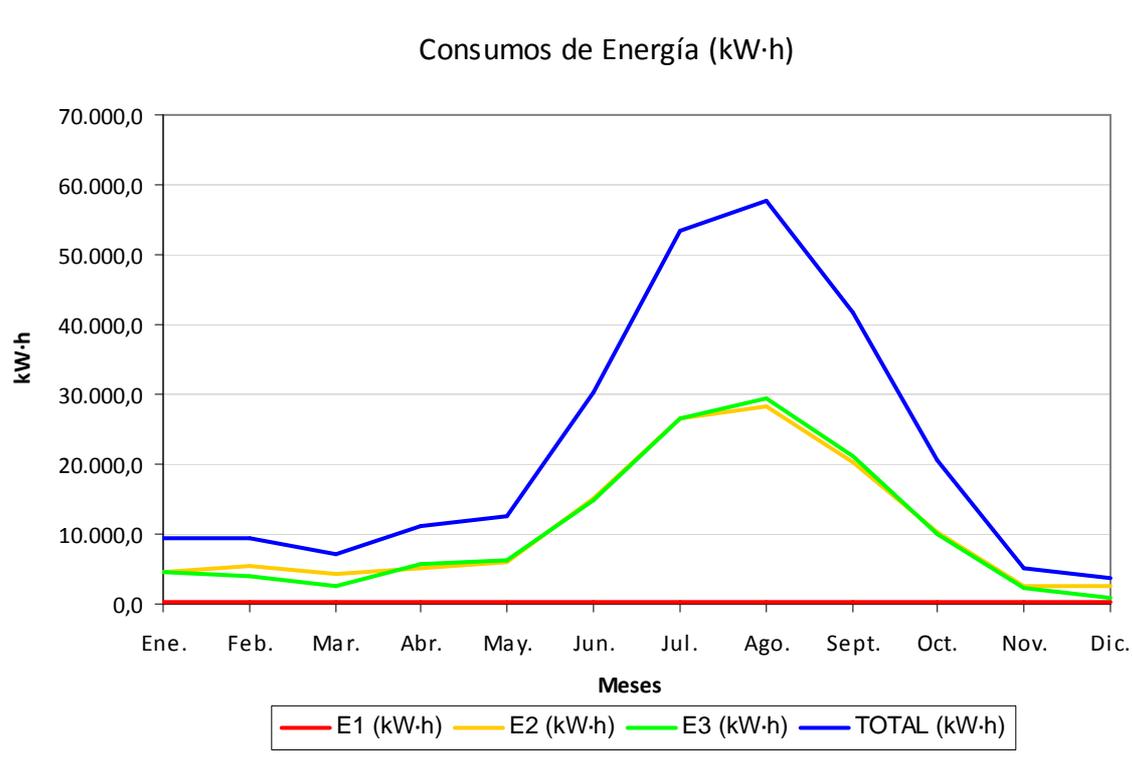
CONSUMOS ENERGÉTICOS POR PERIODOS DE FACTURACIÓN (ENERGÍAS)						
PERIOD.	DESDE	HASTA	DÍAS	E1 (kW·h)	E2 (kW·h)	E3 (kW·h)
1	31-dic-10	17-ene-11	17	92	2.952	2.393
2	17-ene-11	14-feb-11	28	186	3.552	4.430
3	14-feb-11	14-mar-11	28	192	6.812	3.560
4	14-mar-11	31-mar-11	17	117	1.026	605
5	31-mar-11	11-abr-11	11	46	2.063	2.706
6	11-abr-11	12-may-11	31	172	5.251	4.857
7	12-may-11	15-jun-11	34	168	6.996	7.958
8	15-jun-11	13-jul-11	28	211	21.649	20.138
9	13-jul-11	14-sep-11	63	450	57.351	59.661
10	14-sep-11	17-oct-11	33	186	16.655	16.967
11	17-oct-11	17-nov-11	31	179	4.366	3.952
12	17-nov-11	21-dic-11	34	177	795	532
13	21-dic-11	31-dic-11	10	65	1.789	594

En la siguiente tabla se han repartido los consumos anteriores en los doce meses del año, calculándose los costes energéticos de manera individualizada por mes y por tipo de energía consumida:

DISTRIBUCIÓN MENSUAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y SUS COSTES								
MES	E1 (kW·h)	E2 (kW·h)	E3 (kW·h)	TOTAL (kW·h)	€ 1	€ 2	€ 3	TOTAL (€)
Enero	186,2	4.681,2	4.625,4	9.492,9	28,66	619,90	352,83	1.001,39
Febrero	189,2	5.298,4	3.963,9	9.451,6	29,12	701,63	302,37	1.033,12
Marzo	210,3	4.376,3	2.503,9	7.090,4	32,37	579,52	190,99	802,88
Abril	152,8	5.263,2	5.593,5	11.009,5	23,51	696,97	426,68	1.147,16
Mayo	159,9	5.978,6	6.404,6	12.543,0	24,60	791,70	488,55	1.304,85
Junio	189,7	15.251,6	14.784,3	30.225,6	29,20	2.019,66	1.127,74	3.176,60
Julio	226,1	26.574,5	26.623,6	53.424,2	34,80	3.519,07	2.030,85	5.584,72
Agosto	221,4	28.220,3	29.357,0	57.798,8	34,08	3.737,02	2.239,35	6.010,45
Septiembre	188,7	20.414,2	21.051,6	41.654,4	29,04	2.703,31	1.605,81	4.338,16
Octubre	176,8	10.187,7	10.138,7	20.503,2	27,21	1.349,09	773,38	2.149,68
Noviembre	165,3	2.580,8	2.258,8	5.004,8	25,44	341,75	172,30	539,49
Diciembre	175,6	2.435,5	966,3	3.577,5	27,03	322,52	73,71	423,26
	2.242,1	131.262,3	128.271,6	261.776,0	345,07	17.382,14	9.784,56	27.511,77
	0,9%	50,1%	49,0%		1,3%	63,2%	35,6%	

Así se ve que la energía total facturada es de 261.776,0 kW·h, con un coste total de 27.511,27 € repartidos de la siguiente manera:

- horas punta:	2.242,1 kW·h (0,9%)	→	345,07 € (1,3%)
- horas llano:	131.262,3 kW·h (50,1%)	→	17.382,14 € (63,2%)
- horas valle:	128.271,6 kW·h (49%)	→	9.784,56 € (35,6%)



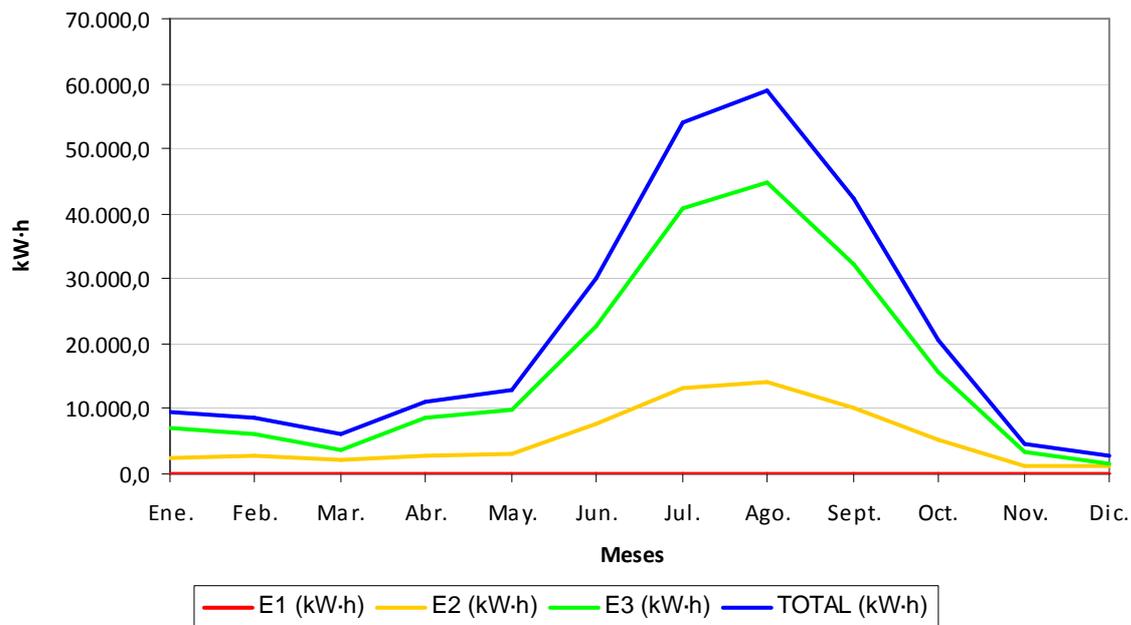
Tras este análisis, y consultadas otras comunidades de regantes de características similares, se propone modificar los horarios de riego distribuyendo el 25% del consumo energético en las horas llano y el 75% restante en las horas valle, con lo que se conseguiría un **ahorro económico de 3.869,27 €**, que es una **mejora del 14,06%** sobre los 27.511,77 € iniciales, simplemente mejorando los horarios de riego aprovechando las condiciones de las tarifas contratadas, lo que no requiere ningún tipo de inversión por parte de la comunidad de regantes.

Así la energía total facturada continuaría siendo de 261.776,0 kW·h, pero con un coste total de 23.642,49 € repartidos de la siguiente manera:

- horas llano: 65.444,0 kW·h (25,0%) → 8.666,29 € (36,7%)
 - horas valle: 196.332,0 kW·h (75%) → 14.976,20 € (63,3%)

PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN MENSUAL DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y SUS COSTES								
MES	E1 (kW·h)	E2 (kW·h)	E3 (kW·h)	TOTAL (kW·h)	€ 1	€ 2	€ 3	TOTAL (€)
Enero	0,0	2.333,9	7.079,7	9.413,6	0,00	309,07	540,04	849,11
Febrero	0,0	2.641,7	6.067,2	8.708,8	0,00	349,82	462,80	812,62
Marzo	0,0	2.181,9	3.832,4	6.014,3	0,00	288,93	292,33	581,27
Abril	0,0	2.624,1	8.561,5	11.185,6	0,00	347,49	653,07	1.000,56
Mayo	0,0	2.980,8	9.802,9	12.783,6	0,00	394,72	747,76	1.142,49
Junio	0,0	7.604,0	22.628,7	30.232,7	0,00	1.006,95	1.726,12	2.733,07
Julio	0,0	13.249,4	40.749,9	53.999,3	0,00	1.754,52	3.108,40	4.862,92
Agosto	0,0	14.069,9	44.933,7	59.003,6	0,00	1.863,18	3.427,54	5.290,72
Septiembre	0,0	10.178,0	32.221,4	42.399,4	0,00	1.347,80	2.457,85	3.805,65
Octubre	0,0	5.079,3	15.518,2	20.597,6	0,00	672,62	1.183,73	1.856,35
Noviembre	0,0	1.286,7	3.457,3	4.744,0	0,00	170,39	263,72	434,11
Diciembre	0,0	1.214,3	1.479,1	2.693,4	0,00	160,80	112,82	273,63
	0,0	65.444,0	196.332,0	261.776,0	0,00	8.666,29	14.976,20	23.642,49
	0,0%	25,0%	75,0%		0,0%	36,7%	63,3%	

Consumos de Energía PROPUESTOS (kW·h)



8.1.2. Reorganización de los turnos de riego: propuesta de sectorización

Se propone un nuevo escenario de sectorización que optimiza el consumo energético, a partir de un proceso de optimización mediante un algoritmo heurístico de optimización combinatoria de recocido o enfriamiento simulado (*simulated annealing*).

A grandes rasgos, el algoritmo parte de una situación inicial (en este caso es la sectorización por cotas) y trata de encontrar soluciones mejores a una función objetivo, que depende de un parámetro de temperatura (T) que representa la probabilidad de que se acepte una solución de peor a la encontrada hasta el momento. Así, a medida que se van encontrando soluciones mejores la probabilidad de aceptar soluciones peores disminuye. De esta manera, una solución que mejore la anterior se toma como la inicial para la siguiente iteración, pero también se pueden aceptar soluciones peores en función del parámetro de probabilidad, para evitar soluciones que representen óptimos locales de la función objetivo.

El proceso del algoritmo se resume a continuación:

- *Situación o sectorización inicial de los hidrantes (S_i)*
- *Selección de los parámetros de temperatura inicial (T_0) y temperatura final (T_f)*
- *Selección del número total de escenarios o situaciones generadas aleatoriamente en el vecindario de la situación inicial (L_t)*
- *Selección de la tasa de enfriamiento (α_c)*
- *Inicialización de temperaturas: $T_i = T_0$*
- *Mientras $T_i > T_f$:*
 - *Inicialización del número de escenarios: $L = 1$*
 - *Cálculo de la Energía de la situación inicial [$E(S_i)$]*
 - *Mientras $L \leq L_t$*
 - *Generación de una nueva configuración aleatoria en el vecindario de la situación inicial (S_f)*
 - *Cálculo de la Energía de la situación final [$E(S_f)$]*
 - *Cálculo de la variación de energía [$\Delta E = E(S_f) - E(S_i)$]*
 - *Evaluación de la variación de energía:*
 - + *Si $\Delta E < 0 \rightarrow S_i = S_f$*
 - + *Si $\Delta E \geq 0 \rightarrow$*
 - *$Pr = \exp(-\Delta E/T_i)$*

- $n_{al} = \text{número aleatorio entre } 0 \text{ y } 1$
- Si $Pr > n_{al} \rightarrow S_i = S_f$
- $L = L + 1$
- $T_i = \alpha_c \cdot T_i$

En este caso, la función objetivo a evaluar es el incremento de energía entre la situación inicial y la situación siguiente generada aleatoriamente en un vecindario de la inicial. Para ello se sigue en cada iteración el siguiente proceso:

- *Generación de escenario nuevo, asignando los hidrantes a los sectores* $\rightarrow S_f$
- *Simulación en Epanet* $\rightarrow \eta_i, H_i \text{ y } Q_i$

$$\begin{cases} H = \alpha^2 \cdot C + D \cdot Q_\alpha^2 \\ \eta = \frac{E}{\alpha} \cdot Q_\alpha + \frac{F}{\alpha^2} \cdot Q_\alpha^2; \quad \alpha = \frac{N_p}{N_o} \end{cases}$$

Con:

- H = Altura de presión (mca)
 - Q_α = Caudal trasegado (l/s) por las bombas de velocidad variable a la presión requerida H y con la bomba girando a una velocidad relativa α
 - C, D, E, F = Coeficientes de las bombas obtenidos por regresión minimocuadrática a partir de las curvas motris y de rendimiento de las bombas
 - α = Velocidad de giro relativa de la bomba de velocidad variable
 - N_o = Velocidad de giro nominal
 - N_p = Velocidad de giro distinta a la nominal
- *Cálculo de potencias* $\rightarrow P_i$

$$P_{vs,i} = \frac{0,00981 \cdot Q_{vs} \cdot H}{\frac{E}{N_{vs}} \cdot \alpha \cdot Q_{vs} + \frac{F}{N_{vs}^2} \cdot \alpha^2 \cdot Q_{vs}^2}; \quad P_{fs,i} = \frac{0,00981 \cdot Q_{fs} \cdot H}{\frac{E}{N_{fs}} \cdot \alpha \cdot Q_{fs} + \frac{F}{N_{fs}^2} \cdot \alpha^2 \cdot Q_{fs}^2}$$

$$P_{abs,i} = P_{vs,i} + P_{fs,i}$$

Con:

- $P_{vs,i}$ = Potencia de las bombas de velocidad variable (kW)
- Q_{vs} = Caudal trasegado (l/s) por las bombas de velocidad variable a la presión requerida H
- N_{vs} = Número de bombas de velocidad variable en funcionamiento
- $P_{fs,i}$ = Potencia de las bombas de velocidad fija (kW)

- Q_{fs} = Caudal trasegado (l/s) por las bombas de velocidad fija a la presión requerida H
- N_{fs} = Número de bombas de velocidad fija en funcionamiento

- *Cálculo de energías* $\rightarrow E_i$

$$E = \sum_{i=1}^{i=ns} P_{abs,i} \cdot Tr$$

Con:

- Tr = Tiempo de riego (h)

- *Cálculo de la energía total* $\rightarrow E(S_f) = \Sigma E_i$
- *Variación de energía* $\rightarrow \Delta E = E(S_f) - E(S_i)$

Así, aplicando el algoritmo descrito se ha obtenido la siguiente sectorización:

Hidrante	Sup. (ha)	Q (l/s)	Turno Op	Hidrante	Sup. (ha)	Q (l/s)	Turno Op
H-01	2,38	9,92	3	H-29	0,57	2,39	1
H-02	3,26	13,57	4	H-30	2,46	10,25	3
H-03	1,70	7,09	4	H-31	3,39	14,13	5
H-04	3,28	13,65	1	H-32	2,51	10,45	1
H-05	2,19	9,11	1	H-33	1,90	7,90	1
H-06	2,82	11,74	1	H-34	3,16	13,16	6
H-07	3,09	12,88	1	H-35	1,27	5,30	2
H-08	3,35	13,97	2	H-36	2,11	8,79	2
H-09	4,64	19,32	1	H-37	2,43	10,12	3
H-10	2,99	12,47	3	H-38	1,69	7,05	3
H-11	1,16	4,82	1	H-39	1,48	6,16	4
H-12	1,79	7,45	5	H-40	1,42	5,91	6
H-13	1,36	5,67	4	H-41	2,09	8,71	2
H-14	1,33	5,55	4	H-42	1,75	7,29	2
H-15	1,09	4,54	1	H-43	1,35	5,63	5
H-16	1,12	4,66	5	H-44	1,24	5,18	1
H-17	2,62	10,93	2	H-45	1,43	5,95	5
H-18	2,24	9,31	6	H-46	1,17	4,86	4
H-19	2,68	11,18	1	H-47	0,94	3,93	4
H-20	0,85	3,52	2	H-48	1,47	6,11	4
H-21	3,05	12,72	5	H-49	1,26	5,26	1
H-22	1,56	6,52	3	H-50	1,56	6,48	5
H-23	1,02	4,25	3	H-51	0,88	3,69	6
H-24	2,73	11,38	6	H-52	3,09	12,88	6
H-25	2,14	8,91	3	H-53	1,35	5,63	4
H-26	1,80	7,49	1	H-54	0,98	4,09	4
H-27	1,87	7,78	5	H-55	1,96	8,18	6
H-28	1,17	4,86	2	H-56	3,22	13,40	1

Con estos nuevos turnos o sectores, la simulación en Epanet genera los siguientes resultados de potencias necesarias para trasegar los caudales requeridos, y se tienen los siguientes consumos energéticos para un tiempo de riego de los turnos de 2h 37m:

Turno Op	Q (l/s)	Sup (ha)	H (m)	tr (h)	P (kW)	E (kW·h)
1	139,31	33,43	70,00	2,61	136,45	356,08
2	63,38	15,21	70,00	2,61	46,52	121,41
3	69,49	16,68	70,00	2,61	55,35	144,44
4	62,65	15,04	70,00	2,61	38,49	100,45
5	64,79	15,55	70,00	2,61	54,82	143,06
6	64,51	15,48	70,00	2,61	60,57	158,07

En el turno o sector 1 entran en funcionamiento 2 bombas, por lo que aumenta la potencia y la energía consumida, se abastece a más superficie y se trasiega un caudal mayor. Así, a partir de la simulación resulta un consumo total de energía diario de **1.023,51 kW·h**.

Con respecto a los 1.284,50 kW·h que se habían simulado en la situación inicial, este nuevo consumo supone una **mejora de un 20,3%**, que sobre los 261.776 kW·h anuales suponen un **ahorro de 53.188,70 kW·h**. Esta mejora, a un coste medio de la energía de 0,09 €/kW·h, supone un **ahorro de 4.786,98 €**, simplemente mejorando el manejo hidráulico de la red con una nueva sectorización de la superficie de riego, lo que no requiere ningún tipo de inversión por parte de la comunidad de regantes.

8.2. Mejoras en los equipos de bombeo

En base al indicador de la eficiencia de los equipos de bombeo, EEB = 49,5%, que conduce a la calificación de “Eficiencia Aceptable”, se propone una revisión de los equipos de bombeo para adecuar su rendimiento a un 65% al menos, con lo que la calificación sería de “Eficiencia Buena” en el límite de la “Eficiencia Excelente”.

De esta manera, manteniendo la energía anual suministrada por los equipos de bombeo, se reduciría la energía anual consumida pasando de 261.776,0 kW·h a 199.550,4 kW·h, que equivale a una **mejora de un 23,8%**, que a un coste medio de la energía de 0,09 €/kW·h,

supone un **ahorro de 5.600,30 €**. En este caso sí que habría costes asociados a la revisión y reparación/sustitución de los equipos de bombeo, pero estos costes se amortizarían en menos de 5 años en el peor de los casos (suponiendo una sustitución de los equipos de bombeo con un coste de 25.000 €).

8.3. Optimización de la potencia contratada

A partir de la facturación de la potencia consumida se analizan los precios del *término de potencia* contratados por la comunidad de regantes (Tarifa 3.1A) para intentar optimizar el contrato de suministro eléctrico adecuándolo al consumo real, teniendo presente que contratar más potencia de la necesaria aumenta innecesariamente el coste de la factura, y que contratar menos potencia de la necesaria aumentará también el coste en las facturas y puede generar interrupciones de suministro.

Los precios del *término de potencia* contratados se muestran en el siguiente cuadro observándose que el precio en horas punta (P1) es del orden de un 60% superior al precio en horas llano (P2), mientras que el precio en horas valle (P3) es del orden de un 75% inferior al precio en horas llano:

Tipo	€/ kW·año	€/ kW·día
P1	26,8969 €	0,0737 €
P2	16,5866 €	0,0454 €
P3	3,8035 €	0,0104 €

Los intervalos horarios de aplicación son los mismos que los que se han señalado para el consumo energético anterior.

En cuanto a la potencia contratada por la comunidad de regantes, tal como se ha comentado en el apartado de la gestión energética, es la siguiente:

POTENCIA CONTRATADA		
Pc1 (kW)	Pc2 (kW)	Pc3 (kW)
60	60	60

En este tipo de tarifa de 3 periodos, la potencia facturada (P_F) en cada periodo es función de la potencia máxima registrada (P_R) por el máxímetro en dicho periodo y de la potencia contratada (P_C), de manera que:

$$\begin{cases} \text{si } 85\% \cdot P_C \leq P_R \leq 105\% \cdot P_C & \rightarrow P_F = P_R \\ \text{si } P_R > 105\% \cdot P_C & \rightarrow P_F = P_R + 2 \cdot (P_R - 105\% \cdot P_C) \\ \text{si } P_R < 85\% \cdot P_C & \rightarrow P_F = 85\% \cdot P_C \end{cases}$$

PERIODOS DE FACTURACIÓN				POTENCIAS REGISTRADAS por los MÁXÍMETROS		
PERIODOS	DÍAS	DESDE	HASTA	Pr1 (kW)	Pr2 (kW)	Pr3 (kW)
1	17	31-dic-10	17-ene-11	2	50	27
2	28	17-ene-11	14-feb-11	8	123	125
3	28	14-feb-11	14-mar-11	27	126	109
4	17	14-mar-11	31-mar-11	13	127	55
5	11	31-mar-11	11-abr-11	13	127	55
6	31	11-abr-11	12-may-11	8	126	125
7	34	12-may-11	15-jun-11	7	105	105
8	28	15-jun-11	13-jul-11	18	129	129
9	63	13-jul-11	14-sep-11	11	134	131
10	33	14-sep-11	17-oct-11	11	130	130
11	31	17-oct-11	17-nov-11	4	112	91
12	34	17-nov-11	21-dic-11	2	57	26
13	10	21-dic-11	31-dic-11	3	74	59

PERIODOS DE FACTURACIÓN				POTENCIAS FACTURADAS			COSTE
PERIODOS	DÍAS	DESDE	HASTA	Pf1 (kW)	Pf2 (kW)	Pf3 (kW)	TOTAL (€)
1	17	31-dic-10	17-ene-11	51	51	51	112,32 €
2	28	17-ene-11	14-feb-11	51	243	249	487,07 €
3	28	14-feb-11	14-mar-11	51	252	201	484,52 €
4	17	14-mar-11	31-mar-11	51	255	55	270,63 €
5	11	31-mar-11	11-abr-11	51	255	55	175,11 €
6	31	11-abr-11	12-may-11	51	252	249	551,94 €
7	34	12-may-11	15-jun-11	51	189	189	486,76 €
8	28	15-jun-11	13-jul-11	51	261	261	513,48 €
9	63	13-jul-11	14-sep-11	51	276	267	1.202,21 €
10	33	14-sep-11	17-oct-11	51	264	264	610,70 €
11	31	17-oct-11	17-nov-11	51	210	147	459,82 €
12	34	17-nov-11	21-dic-11	51	57	51	233,92 €
13	10	21-dic-11	31-dic-11	51	96	59	87,36 €
Total:							5.675,83 €

Tras este análisis, se observa que la potencia contratada no se adecua a la potencia que realmente demandan las instalaciones, es decir, se facturan muchos más kW que los que realmente se registran en los máxímetros, por lo que se realiza un estudio para optimizar la potencia contratada, llegando a los siguientes valores para cada periodo de facturación:

POTENCIA PROPUESTA		
Pc1 (kW)	Pc2 (kW)	Pc3 (kW)
15	135	135

Con estos nuevos valores de contratación de potencia propuestos y manteniendo los precios de los términos de potencia se obtendrían los siguientes costes:

PERIODOS DE FACTURACIÓN				POTENCIAS FACTURADAS			COSTE
PERIODOS	DÍAS	DESDE	HASTA	Pf1 (kW)	Pf2 (kW)	Pf3 (kW)	TOTAL (€)
1	17	31-dic-10	17-ene-11	13	115	115	124,95 €
2	28	17-ene-11	14-feb-11	13	123	125	219,28 €
3	28	14-feb-11	14-mar-11	50	126	115	295,94 €
4	17	14-mar-11	31-mar-11	13	127	115	134,72 €
5	11	31-mar-11	11-abr-11	13	127	115	87,17 €
6	31	11-abr-11	12-may-11	13	126	125	247,00 €
7	34	12-may-11	15-jun-11	13	115	115	249,90 €
8	28	15-jun-11	13-jul-11	23	129	129	248,20 €
9	63	13-jul-11	14-sep-11	13	134	131	528,82 €
10	33	14-sep-11	17-oct-11	13	130	130	270,66 €
11	31	17-oct-11	17-nov-11	13	115	115	227,85 €
12	34	17-nov-11	21-dic-11	13	115	115	249,90 €
13	10	21-dic-11	31-dic-11	13	115	115	73,50 €
Total:							2.957,89 €

Como se puede observar la potencia contratada así se adaptaría mejor a la potencia demandada, los kW facturados de esta manera serían mucho más acordes con los registrados. Así pues, se conseguiría un **ahorro económico de 2.717,94 €**, que es una **mejora del 47,89%** sobre los 5.675,83 € iniciales. En este caso sí que habría costes asociados al cambio de potencia contratada, que se concretarían con la empresa distribuidora de energía. En todo caso no serían muy significantes con respecto al ahorro que se conseguiría.

8.4. Resumen de mejoras propuestas y valoración

En este apartado se resumen las mejoras propuestas de ahorro energético y/o económico descritas anteriormente, cuantificándolas y valorándolas económicamente. Cada propuesta se ha evaluado independientemente, por separado, es decir, partiendo de la situación real sin tener en cuenta otras mejoras, por lo que el conjunto total de las mejoras no se puede obtener sumando directamente los ahorros energéticos y económicos.

PROPUESTAS DE MEJORAS	CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL		AHORRO ENERGÉTICO		AHORRO ECONÓMICO
	Inicial (kW·h)	Final (kW·h)	Total (kW·h)	Relativo	
Ajuste de los riegos a la discriminación horaria	261.776,0	261.776,0	0,0	0,0%	3.869,27 €
Reorganización de los turnos de riego	261.776,0	208.587,3	53.188,7	20,3%	4.786,98 €
Mejoras en los equipos de bombeo	261.776,0	199.550,4	62.225,6	23,8%	5.600,30 €
Optimización de la potencia contratada	261.776,0	261.776,0	0,0	0,0%	2.717,94 €

9. CONCLUSIONES

Para la realización de la auditoría energética de esta comunidad de regantes se han descrito las características generales de la misma, así como sus principales datos de gestión económica y administrativa, y del suministro hídrico y energético. Posteriormente se ha descrito su infraestructura y su funcionamiento, incidiendo en los principales equipos consumidores de energía.

Seguidamente se ha calculado la eficiencia energética de los equipos de bombeo (49,5%) y del suministro energético (81,3%), para llegar a obtener una eficiencia global de la comunidad de regantes del 40,3%.

A partir de los resultados del cálculo de las eficiencias y de diferentes tipos de indicadores se llega a una calificación de la gestión energética de EXCELENTE, una calificación de la eficiencia de los equipos de bombeo de ACEPTABLE y a una calificación energética de la comunidad de regantes de BUENA (B⁺⁺), perteneciendo al grupo de GRAN CONSUMIDORA de energía.

Así pues, en base a estos resultados se han elaborado una serie de propuestas con el fin de optimizar el consumo energético y de conseguir un ahorro económico. Estas propuestas de mejora son las siguientes:

- Ajuste de los riegos a la discriminación horaria de la tarifa contratada, aprovechando ás y mejor las horas valle y las horas llano, con lo que se podría conseguir un ahorro económico de 3.869,27 € (14,06%).
- Reorganización de los turnos de riego, a partir de un modelo ajustado a la realidad y

simulando diversos escenarios, llegando a un ahorro energético de 53.188,7 kW·h (20,3%) que supondrían un ahorro económico de 4.786,98 €.

- Mejoras en la eficiencia de los equipos de bombeo mediante una revisión y posterior reparación/sustitución de los mismos, llegando a incrementar su eficiencia al 65%, con lo que se podría conseguir un ahorro energético de 62.225,6 kW·h (23,8%) que supondrían un ahorro económico de 5.600,30 €.
- Optimización de la potencia contratada, adaptando la potencia contratada a la realmente consumida, esto sería aumentando la potencia en horas llano y valle a 135 kW y reduciéndola en las horas punta a 15 kW, con lo que se podría conseguir un ahorro económico de 2.717,94 €.

10. REFERENCIAS

- J. ARVIZA VALVERDE – *Diseño, dimensionado y análisis de redes de riegos a presión. RG y EPANET, un manual para sacar partido a ambas aplicaciones.*
<http://www.etsmre.upv.es/dira/imagenes/files/Dimensionado%20con%20Rg%20y%20Epanet.pdf>
- I. FERNÁNDEZ GARCÍA – *Optimización operacional de redes de riego a presión con varios puntos de suministro de agua. Aplicación a la red de distribución de la CR de Palos de la Frontera.*
<http://www.uhu.es/juanc.gutierrez/PID11030/PDFs/IreneFernandez.pdf>
- A. GRANADOS GARCÍA – *Criterios para el dimensionamiento de redes de riego robustas frente a cambios en la alternativa de cultivos.*
http://oa.upm.es/16101/1/Alfredo_Granados_Garcia.pdf
- P. PLANELLS, J. F. ORTEGA, ET AL. – *Criterios para el diseño de redes colectivas de riego.*
<http://www.ingenieriadelagua.com/2004/download/6-1%5Carticle2.pdf>
- M.C. ROCAMORA OSORIO Y R. ABADÍA SÁNCHEZ – *Manual de auditorías energéticas en comunidades de regantes.*
https://books.google.es/books?id=38TnCgAAQBAJ&pg=PA34&lpg=PA34&dq=energ%C3%ADa+inicial+del+agua+cota+presi%C3%B3n&source=bl&ots=5ZFGptvVI6&sig=P_PudPmL6pLHHVJOHT hLxCIT5k4&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjjgbWlr6XNAhWFXhoKHTTrNB80Q6AEIHDA#v=onepage&q=energ%C3%ADa%20inicial%20del%20agua%20cota%20presi%C3%B3n&f=false
- D. RUÍZ BEAMONTE – *Dimensionado óptimo con EPANET de redes de riego a presión.*
<http://invenio2.unizar.es/record/17182/files/TAZ-TFG-2014-2343.pdf>
- Centro Regional de Estudios del Agua – *Eficiencia energética en instalaciones de riego:*
<http://crea.uclm.es/siar/publicaciones/files/HOJA17.pdf>
- Confederación Hidrográfica del Júcar – *El regadío tradicional de la ribera alta del Xúquer:*
<http://www.chj.es/es-es/ciudadano/libros/Captulos/Las%20riberas%20del%20X%3%BAquer/2.SEGUNDA%20PARTE.pdf>
- Federación Nacional de Comunidades de Regantes:
<http://www.fenacore.org/>
- Foro Nuclear – *Coeficientes de paso a toneladas equivalentes de petróleo:*
http://www.foronuclear.org/en_2009/10_01.htm

- GesterNova – *Energía Reactiva*:
<http://blog.gesternova.com/que-es-la-energia-reactiva-y-por-que-se-refleja-en-la-factura-de-la-luz-de-tu-empresa/>
- GesterNova – *Optimización de costes de energía*:
<http://blog.gesternova.com/dime-que-consumes-con-electricidad-y-te-dire-que-potencia-contratada-necesitas/>
- IDAE – *Ahorro y eficiencia energética en las comunidades de regantes*:
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10995_Comunidades_regantes_Agr09_A2008_62ae9e36.pdf
- IDAE – *Auditorías energéticas en comunidades de regantes*:
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Auditorias_energeticas_en_Comunidades_de_Regantes_bc037508.pdf
- IDAE – *Plan de ahorro y eficiencia energética 2011-2020*:
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11905_PAEE_2011_2020_A2011_A_a1e6383b.pdf
- IDAE – *Protocolo de auditoría energética en comunidades de regantes*:
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10995_Protocolo_auditoria_regantes_A2008_280bffb5.pdf
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente: *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Informe sobre regadíos en España*:
http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/regadios2015_tcm7-404816.pdf
- O-Innova: *Eficiencia energética en comunidades de regantes*:
<http://www.o-innova.com/eficiencia-en-energia-electrica-para-comunidad-de-regantes/>
- Universidad Nacional de Colombia: *Ecuación general del movimiento del agua subterránea*:
http://www.bdigital.unal.edu.co/4993/3/Capitulos_6-9.pdf

"Si hay magia en este planeta, está contenida en el agua"

(Loran Eisely)