

Agricultura

Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura

Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO



Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

Agricultura

Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes

Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura 



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE INDUSTRIA, TURISMO Y COMERCIO



Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

TÍTULO

Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes

CONTENIDO

Esta publicación ha sido redactada por Carmen Rocamora Osorio, Ricardo Abadía Sánchez y Antonio Ruiz Canales del Departamento de Ingeniería de la Universidad Miguel Hernández de Elche para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

.....
Esta publicación está incluida en el fondo editorial del IDAE, en la serie “Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura”.

Cualquier reproducción, total o parcial, de la presente publicación debe contar con la aprobación del IDAE.

Depósito Legal: M-26382-2008
ISBN: 978-84-96680-27-2

.....
IDAE

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

c/ Madera, 8

E - 28004 - Madrid

comunicacion@idae.es

www.idae.es

Madrid, abril 2008

Índice

Página

Prólogo	5
Introducción	7
1 Características de las comunidades de regantes	11
2 Puntos críticos de consumo energético	13
3 Medidas de ahorro y eficiencia energética en el diseño y manejo de la instalación	15
3.1 Sectorización de instalaciones por sectores de cota homogénea	15
3.2 Reorganización del reparto de agua en turnos de misma demanda energética	17
3.3 Evitar el uso de válvulas reductoras de presión	17
3.4 Automatización de instalaciones colectivas con sondas de presión en puntos críticos	18
3.5 Establecer un protocolo de mantenimiento periódico de instalaciones	19
3.6 Cambios en el manejo de las instalaciones según las nuevas necesidades	21
4 Medidas de ahorro y eficiencia energética en los equipos de bombeo	23
4.1 Dimensionado de los grupos de bombeo para caudales de funcionamiento habitual de la instalación	23
4.2 Instalación de pequeños grupos de bombeo en paralelo con al menos dos bombas de velocidad variable	24
4.3 Instalar equipos de control electrónico como arrancadores estáticos	26

4.4 Simulación del proceso de puesta en marcha de los grupos de bombeo en función de la demanda real.26
4.5 Mejoras en el factor de potencia de los equipos26
4.6 Mantenimiento de equipos27
4.7 Cambios en el manejo de los equipos según las necesidades.28
5 Medidas de ahorro en la contratación de las tarifas eléctricas	29
5.1 Estudiar la tarifa eléctrica más ajustada a la potencia demandada y consumo real29
5.2 Contratar la potencia realmente utilizada30
5.3 Ajustar el consumo energético a la discriminación horaria31
6 Valoración de las medidas de ahorro y eficiencia energética	33
7 Auditorías energéticas en comunidades de regantes	35
8 Recomendaciones para incrementar el ahorro y la eficiencia energética	37
Bibliografía	39

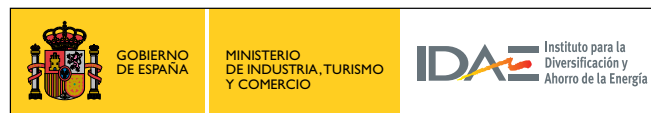
Prólogo

La importancia del consumo energético del sector de agricultura y pesca, comparada con el resto de sectores, es pequeña; sin embargo, en los trabajos mecanizados de cultivo su consumo de energía es significativo.

En términos energéticos, el sector ha disminuido su participación sobre el consumo de energía final, consumo básicamente centrado en combustibles derivados del petróleo y la energía eléctrica.

A pesar de esta evolución, los indicadores tendenciales para los próximos años vienen a señalar que en el horizonte del 2012 se puede producir un incremento del consumo de energía, sobre la base de los diversos cambios previstos en las técnicas de laboreo agrícola, y del paulatino incremento y modernización de superficies de regadío puestas en producción frente al secano.

El IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), creyendo que existe un margen de actuación en este sector para incrementar su eficiencia energética a través de la adopción de diversas medidas y actuaciones, las ha agrupado en la Estrategia de Eficiencia Energética en España desarrollada mediante sus Planes de Acción 2005-2007 y 2008-2012.



En estos Planes de Acción, como una de las primeras medidas a favor del ahorro y la eficiencia energética, se prevé la realización de medidas de formación e información de técnicas de uso eficiente de la energía en la agricultura, con el fin de introducir y concienciar a los agentes del sector sobre la importancia del concepto de eficiencia energética.

Conscientes de que el agricultor puede tener una incidencia en el ahorro energético consiguiendo paralelamente un ahorro económico para su explotación, el IDAE, siempre contando con la colaboración del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, está realizando una serie de acciones en materia de formación, información y difusión de técnicas y tecnologías de eficiencia energética en el sector. Una de estas acciones es el desarrollo de una línea editorial en

materia de eficiencia energética en el sector agrario mediante la realización de diversos documentos técnicos, como el que se presenta, donde se explican los métodos de reducción del consumo de energía en las diferentes tareas agrícolas.

En este sentido, ya se han publicado y están disponibles en nuestra página web (www.idae.es), los diez primeros documentos de esta línea editorial:

- Documento especial (coeditado con el MAPA): “Consumos Energéticos en la Operaciones Agrícolas en España”.
- Tríptico promocional: “Medidas de Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura”.
- Documento nº 1: “Ahorro de Combustible en el Tractor Agrícola”.
- Documento nº 2: “Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío”.
- Documento nº 3: “Ahorro y Eficiencia Energética en Instalaciones Ganaderas”.
- Documento nº 4: “Ahorro, Eficiencia Energética y Sistemas de Laboreo Agrícola”.
- Documento nº 5: “Ahorro, Eficiencia Energética y Estructura de la Explotación Agrícola”.
- Documento nº 6: “Ahorro, Eficiencia Energética y Fertilización Nitrogenada”.
- Documento nº 7: “Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos”.
- Documento nº 8: “Protocolo de Auditoría Energética en Invernaderos. Auditoría energética de un invernadero para cultivo de flor cortada en Mendigorria”.

Desde IDAE trabajamos activamente para la mejora de la eficiencia energética, y pensamos que la agricultura debe incorporar en su desarrollo y gestión la eficiencia energética como un criterio básico para su viabilidad. De esta forma, además de reducir la emisión de contaminantes estamos mejorando la competitividad de nuestras instalaciones por el ahorro del combustible realizado.

Es de vital importancia que los programas públicos de apoyo incorporen la eficiencia energética como un elemento prioritario, partiendo de la formación de formadores y agentes, y primando aquellos equipos más eficientes.

Introducción

Actualmente el IDAE está aplicando el Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España, que supone medidas de control en cuanto al consumo de energía no sólo para la industria, sino también para las explotaciones agrícolas, y particularmente en los regadíos. Se trata de aunar esfuerzos para cumplir el Protocolo de Kioto, que adjudica a nuestro país un margen de crecimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero del 15% para un periodo 2008-2012 respecto a 1990, porcentaje que España ya ha superado ampliamente.

El Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España tiene como objetivo la consecución de un ahorro de casi 83 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep). Esta cifra es equivalente al 52% del total del consumo de energía primaria previsto para el año 2008 y teniendo en cuenta que las importaciones de petróleo en dicho periodo se estiman en 435 millones de barriles, el objetivo del Plan supondría el 140% de estas importaciones (608 millones de barriles).

El consumo energético del sector Agricultura y Pesca se debe primordialmente a la maquinaria agrícola y a los sistemas de riego. Aunque representa el 3,5% de los consumos energéticos finales (datos del Plan de Acción 2008-2012), presenta tendencia al crecimiento debido, en gran medida, a la evolución del regadío frente al secano y a la modernización de los sistemas de riego, que requieren mayor consumo de energía que los tradicionales.



Foto 1. Tractor agrícola en campo de aerogeneradores

El Plan de Acción 2008-2012 considera al sector agrícola como un sector estratégico en el que las medidas de eficiencia energética cobrarán especial importancia en el futuro, no sólo por la reducción de los costes energéticos del sector sino también por ayudar a la sostenibilidad del desarrollo rural.

Teniendo en cuenta el incremento de la superficie destinada al riego (242.000 ha al horizonte 2008), el Plan Nacional de Regadíos estima una demanda de riego al horizonte 2008 de 24.891 hm³. Para ese horizonte, la modernización de los sistemas de riego alcanzará el 50%, con el consiguiente incremento en la demanda de energía.

La demanda de energía de la agricultura de regadío en 1995 (tabla 1) fue de 1.261 ktep, de las cuales 424 ktep correspondían a labores de regadío y el resto a bombeos. La mitad del consumo energético en regadíos correspondía a energía eléctrica en estaciones de bombeo. El consumo energético en regadíos en 2001 (E4, Sector Agricultura y Pesca) presenta un incremento en energía eléctrica y un leve descenso en consumo de gasóleo respecto a los datos de 1995.

Tabla 1. Consumo energético en agricultura de regadío.

(Fuente: IDAE)

Consumo energético (ktep)		1995
Bombeo regadío	Gasóleo	224
	Energía eléctrica	613
Labores regadío		424
Total		1261

Según datos del IDAE, el 75% de la demanda de energía en instalaciones de riego era cubierta por energía eléctrica en 2001. Con el aumento de la superficie regada y la modernización de regadíos, el consumo de energía eléctrica en la actualidad aumenta mientras que el consumo de gasóleo se reduce progresivamente al convertirse en una fuente de energía más cara. Esta evolución se ve favorecida por el hecho de que mediante la mejora de los regadíos se tienden líneas eléctricas de forma que las instalaciones tienen acceso a esta forma de energía. Para 2012, el 95% de la energía consumida por la agricultura de regadío será eléctrica.



Foto 2. Bombeo alimentado por energía eléctrica en la comunidad de regantes de Albaterra

De acuerdo con datos del MAPA (1996)¹, las comunidades de regantes y otros colectivos de riego gestionan el 69% de la superficie regable. Una gran parte de ellas tienen modernizada su infraestructura de distribución de agua, otras están en vías de modernizarla. El ahorro y eficiencia energética en las comunidades de regantes tendrá una gran repercusión en el consumo energético global del sector agrícola ya que una parte muy importante del consumo energético del regadío es gestionado por ellas.

Las medidas adicionales de actuación contempladas en el Plan de Acción 2008-2012 en Agricultura de Regadío se centran en impulsar la migración de sistemas de riego por aspersión a sistemas de riego por goteo, y en promover planes de mejoras energéticas en comunidades de regantes a través de las Auditorías Energéticas donde IDAE ha desarrollado un Protocolo de Auditoría, que será objeto de la siguiente publicación. Todas estas medidas tienen establecidas líneas de ayudas en colaboración con las CCAA que apoyen su desarrollo y ejecución.



Foto 3. Equipos de bombeo antiguos en desuso en la comunidad de regantes de Lorca

En esta publicación se trata sobre las características de las comunidades de regantes, de las que se describen sus principales infraestructuras y se definen los diferentes puntos críticos de consumo energético existentes. A continuación se proponen distintos tipos de medidas para mejorar la eficiencia energética y el ahorro, tanto de energía como económico, en las comunidades de regantes, explicando en qué consiste cada una de las medidas propuestas y cómo afectan a la mejora de la eficiencia energética y al ahorro energético y económico.

1 Características de las comunidades de regantes

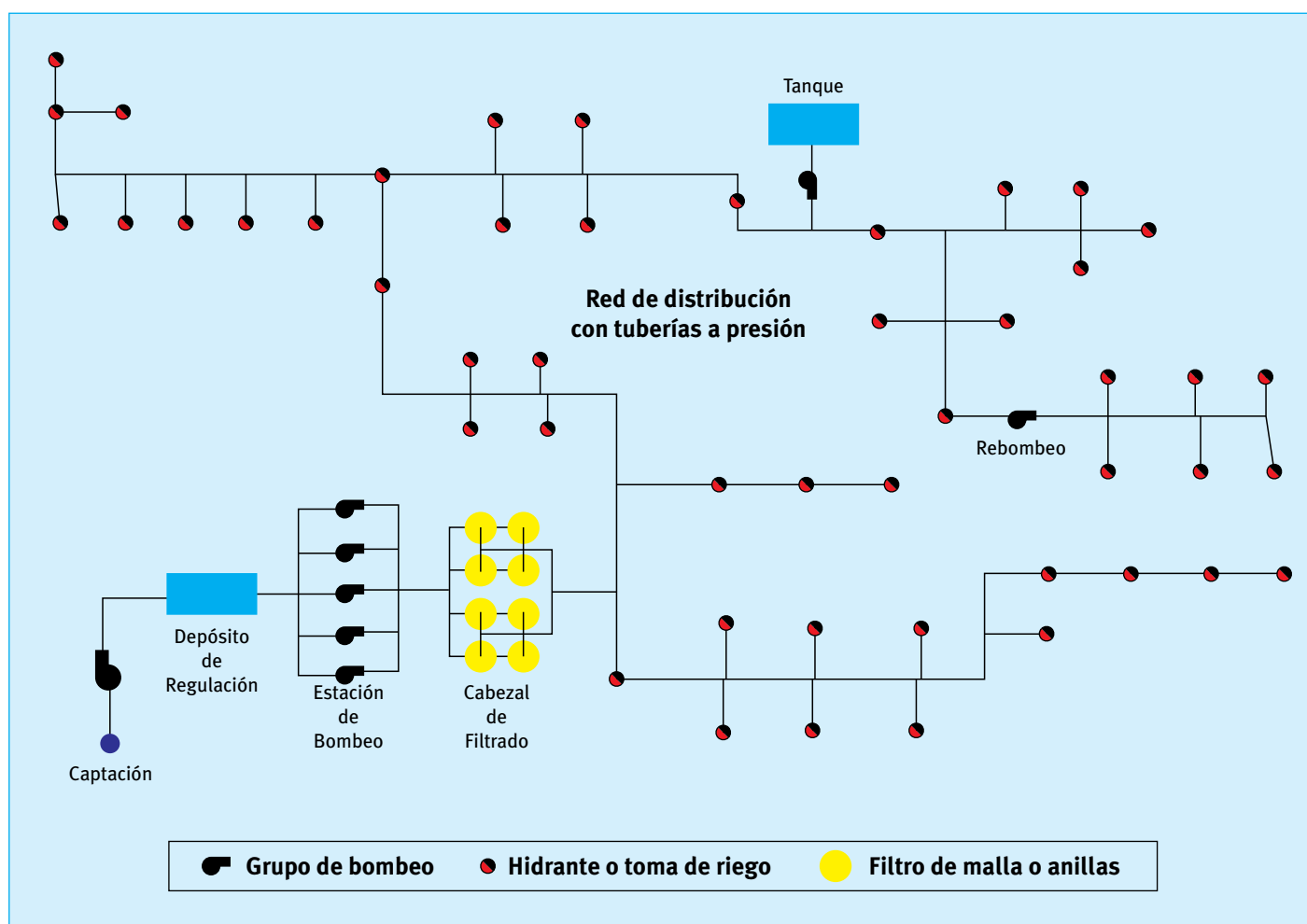
Tal y como figura en el artículo 81 del texto refundido de la Ley de Aguasⁱⁱ, “Los usuarios del agua y otros bienes del dominio público hidráulico de una misma toma o concesión deberán constituirse en comunidades de usuarios. Cuando el destino dado a las aguas fuese principalmente el riego, se denominarán comunidades de regantes; en otro caso, las comunidades recibirán el calificativo que caracterice el destino del aprovechamiento colectivo.” Las comunidades de regantes son corporaciones de Derecho Público adscritas al organismo de gestión de la cuenca hidrográfica en la que se encuentren ubicadas. Tienen personalidad jurídica y patrimonio propios, rigiéndose por sus propios estatutos y ordenanzas, en los que ha de figurar su finalidad, ámbito territorial, participación, obligación de contribuir al pago de los gastos, régimen sancionador, etc. Sus funciones básicas son administrar y cuidar el buen funcionamiento y aprovechamiento de la concesión hídrica otorgada por el organismo de cuenca y de la que son titulares.

Además de poseer una concesión de agua común a todos los usuarios que integran la comunidad de regantes, también comparten la infraestructura de captación, conducción, almacenamiento y distribución de agua, de cuyo manejo y gestión son responsables.

De acuerdo con las directrices marcadas por el Plan Nacional de Regadíos horizonte 2008, la modernización de regadíos se basa principalmente en la consolidación y mejora de las redes colectivas de distribución de agua de riego, así como en la transformación del sistema de riego en parcela a sistemas más eficientes, como son el riego por goteo y el riego por aspersión. La modernización de las redes de distribución de agua de riego, que están gestionadas por las comunidades de regantes, se basa principalmente en la sustitución de los canales y acequias de distribución por tuberías a presión, formando redes ramificadas. De esta forma se consiguen eliminar las pérdidas por evaporación y minimizar las de infiltración, controlar con mayor precisión los consumos y conectar directamente los sistemas de riego a presión, evitando la construcción de balsas de almacenamiento en las parcelas de riego, así como instalación de pequeños grupos de bombeo

individuales para suministrar presión a las instalaciones de riego por goteo o aspersión. De esta manera, tanto el almacenamiento de agua como el consumo energético pasa a ser controlado de forma colectiva por parte de los gestores de las comunidades de regantes, por lo que el rendimiento energético puede ser mucho mayor que si se controlase de forma individual.

Figura 1. Esquema general de una red de distribución a presión de una comunidad de regantes



los puntos de captación hasta las zonas de consumo, manteniendo unas condiciones de servicio adecuadas. Los elementos de una red son básicamente tuberías y elementos especiales como válvulas, accesorios, elementos de unión, hidrantes, etc., que deben estar adecuadamente dimensionados para poder suministrar los caudales demandados en los puntos de consumo, suministrando además unas presiones mínimas en dichos puntos. El resto de elementos de la red de distri-

En la Figura 1, se puede ver el esquema general de una red de distribución de agua de riego gestionada por una comunidad de regantes, cuya infraestructura haya sido modernizada para poder suministrar directamente las necesidades de caudal y presión demandadas por los sistemas de riego a presión que abastece.

La red de distribución de agua de una comunidad de regantes es un conjunto de elementos interconectados entre sí, cuya finalidad es conducir el agua desde

bución lo constituyen las estaciones de bombeo y las balsas de regulación, que condicionan su diseño y cálculo. Los puntos de alimentación de una red de riego a presión pueden ser diversos, pudiendo alimentarse de aguas superficiales (ríos, lagos, embalses, etc.), subterráneas (pozos), aguas depuradas procedentes de núcleos urbanos o bien sistemas mixtos combinación de los anteriores. En redes de riego a presión, las zonas de consumo las constituyen los hidrantes instalados en las parcelas de cultivo.

2 Puntos críticos de consumo energético

A la hora de proponer medidas de ahorro y eficiencia energética hay que prestar especial atención a los puntos críticos de consumo energético de las comunidades de regantes.

En general, los puntos críticos de consumo energético de las redes de distribución se encuentran tanto en las captaciones como en las estaciones de bombeo que suministran la presión necesaria a la red de distribución. El consumo energético de estos equipos dependerá por tanto de la procedencia de las aguas (superficiales o subterráneas), de la presión que demande el sistema de riego abastecido (gravedad, goteo o aspersión) y de la cota de la zona de consumo respecto a la cota del punto de captación (favorable o desfavorable).

Según la procedencia del agua, el consumo energético depende de la energía necesaria para llevar el agua a pie de parcela. En el caso de aguas superficiales, el consumo energético dependerá exclusivamente de la topografía favorable o desfavorable del punto de captación respecto al punto de consumo. Se entiende como favorable, cuando la cota de la captación es superior a la cota de la zona de consumo, por lo que no se requiere un aporte energético para transportar el agua de un punto a otro, y por desfavorable cuando sucede lo contrario, por lo que sí es necesario un aporte de energía para salvar las diferencias de cota.

Cuando el agua procede de aguas subterráneas, el consumo energético depende, además de la topografía favorable o desfavorable de la boca del pozo respecto a la zona de consumo, de los niveles piezométricos de los acuíferos. En este sentido, en las zonas del levante y sureste español son habituales niveles piezométricos situados entre 200 y 400 metros de profundidad, por lo que el aporte energético para extraer el agua es considerable.

Para hacernos una idea aproximada, por cada litro por segundo de caudal que se tenga que elevar 100 m, se demandan 1,25 kW de potencia. Suponiendo que el pozo funciona las 24 horas del día en el mes de verano, situación habitual en muchas zonas de regadío, y que eleva un caudal de 30 l/s a una profundidad de

400 m (valores también habituales), el consumo en el mes de julio sería de 150 kW durante 744 horas, lo que equivale a 111.608 kWh/mes.

El otro aspecto que condiciona el consumo energético de una red de distribución de agua de riego es la presión necesaria para aplicar el agua a través del sistema de riego utilizado en parcela. Así por ejemplo, en riego por gravedad o superficie, la demanda energética es nula, ya que el agua se distribuye exclusivamente por la acción de la fuerza de la gravedad, a través de la superficie de las parcelas. Por el contrario, en sistemas de riego por goteo, la presión necesaria en la entrada de las parcelas suele oscilar entre 2,5-3 bares, mientras que en sistemas de riego por aspersión esta presión suele ser de 4 a 4,5 bares.

Teniendo en cuenta la mayor necesidad de presión de los sistemas de aspersión, así como los mayores caudales de agua transportados, en general el consumo energético de un riego por aspersión puede ser un 20% superior al consumo del riego por goteo.

En todos los casos, la demanda energética está también condicionada por la topografía. A igualdad de situación topográfica, el aspecto que tiene una mayor contribución al consumo energético es la procedencia de las aguas, dado el mayor incremento de presión que supone la captación de aguas subterráneas, frente a las diferentes demandas de presión que supone el sistema de riego empleado.

Considerando los factores que afectan al consumo energético en una comunidad de regantes, en la tabla 2 se muestra una clasificación energética orientativa del consumo energético en función de la procedencia de las aguas, el sistema de riego y la topografía, habiendo dividido el consumo en cuatro grupos: Gran Consumidora, Consumidora, Poco Consumidora y No Consumidora.

La eficiencia energética de una comunidad de regantes vendrá determinada en gran medida por el diseño

hidráulico de la red de distribución. Asimismo, el uso eficiente del agua repercutirá en el uso eficiente de la energía y en el ahorro de ésta. En el documento “Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío” de esta serie de publicaciones se proponían una serie de medidas para conseguir un uso eficiente de este recurso.

Tabla 2. Calificación del consumo energético de una comunidad de regantes, según procedencia del agua, sistema de riego y topografía

Procedencia del agua	Sistema de Riego	Topografía	Calificación Energética
SUBTERRÁNEA	Aspersión	Desfavorable	Gran Consumidora
		Favorable	Gran Consumidora
	Goteo	Desfavorable	Gran Consumidora
		Favorable	Gran Consumidora
SUPERFICIAL	Gravedad	Desfavorable	Consumidora
		Favorable	Consumidora
	Aspersión	Desfavorable	Consumidora
		Favorable	Poco Consumidora
SUPERFICIAL	Goteo	Desfavorable	Consumidora
		Favorable	Poco Consumidora
	Gravedad	Desfavorable	Poco Consumidora
		Favorable	No Consumidora

A continuación se expone una serie de medidas para aumentar la eficiencia energética en comunidades de regantes. La mayoría de ellas son de fácil aplicación, requieren una inversión mínima y generan un gran ahorro energético y, por tanto, económico. Esto hace que sean medidas muy rentables, ya que las inversiones se amortizan en un plazo muy corto.

Las medidas de ahorro pueden afectar al diseño y manejo de la red: distribución de sectores, turnos, etc. También se puede mejorar la eficiencia de las instalaciones de bombeo para que su funcionamiento se adecue a las necesidades y condicionantes de la comunidad de regantes. Por último, pueden adoptarse ciertas medidas que a pesar de no generar ahorro energético, permiten que el coste de la energía se reduzca.

3 Medidas de ahorro y eficiencia energética en el diseño y manejo de la instalación

3.1 Sectorización de instalaciones por sectores de cota homogénea

El diseño de la red de distribución es un factor muy importante a la hora de suministrar agua de riego de forma eficiente desde el punto de vista energético. La topografía del terreno determinará el diseño de la red. Es muy común que existan desniveles importantes en la superficie regada por una comunidad de regantes. En el diseño de la red de distribución es importante definir diversos sectores de riego de forma que cada uno de ellos abastezca a los hidrantes con cota homogénea, y sea alimentado por un equipo de bombeo independiente. De esta forma, cada grupo de bombeo consume la energía demandada por el sector al que suministra agua y se consigue un uso eficiente de la energía.

Si no se sectoriza, las parcelas de cota más alta recibirán agua con presión insuficiente para el correcto funcionamiento de los sistemas de riego, o bien los sectores de cota inferior estarán recibiendo agua con exceso de presión, por lo que será necesaria una reducción de presión antes de los hidrantes, lo que supondría un derroche de energía.

Lo mismo puede ocurrir en aquellas comunidades de regantes en las que conviven sistemas de riego diferentes (gravedad, goteo, aspersión): cada uno requiere una determinada presión en hidrante para que el riego sea eficiente. Siempre que sea posible se recomienda una sectorización de forma que cada sector abastezca a parcelas con el mismo sistema de riego, es decir, con la misma demanda de presión.

Ejemplo:

Una comunidad de regantes dispone de un embalse para suministrar agua a un sector de riego. Una estación de bombeo inyecta agua a la red. La zona regable, con una superficie de 120 ha, está comprendida entre las cotas 120 y 70 m. La superficie regable se ha dividido en seis zonas cuya cota media y superficie se indica en la Figura 2. La cota de la solera del embalse es de 100 m. Las necesidades de riego en la zona son de 5.000 m³/ha, por lo que el volumen anual que ha

de elevar la estación de bombeo es de 600.000 m³. La superficie se riega por goteo, siendo la presión requerida en los hidrantes de 30 m. Las pérdidas de carga a lo largo de las conducciones se estiman en 10 m. El desnivel entre la solera del embalse y la zona más alta es de 20 m. La altura manométrica necesaria para suministrar agua a la presión requerida es:

$$H_m = \Delta z + \frac{P}{\rho \cdot g} + h = 20 + 30 + 10 = 60 \text{ m}$$

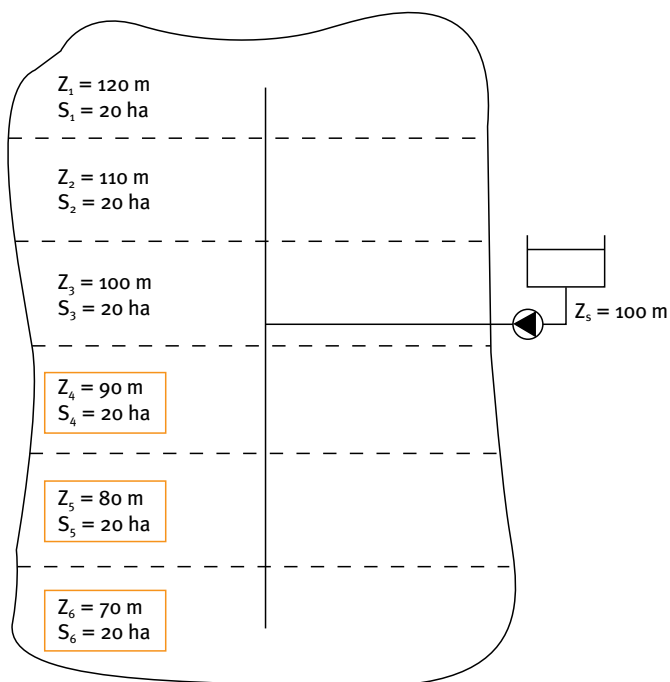
Siendo:

Δz : desnivel entre la solera del embalse y la cota más alta de la zona regable (20 m)

P : presión requerida por el sistema de riego (30 m)

h : pérdida de carga a lo largo de las conducciones (10 m)

Figura 2. Zona regable dividida en seis superficies de cota z_i , embalse, bomba y tubería principal



En la situación actual, la energía consumida a lo largo de un año es:

$$E = \frac{\rho \cdot g \cdot V \cdot H_m}{3.600 \cdot 10^3} \text{ (kWh)} = 98.100 \text{ kWh}$$

Siendo:

ρ : densidad del agua (1.000 kg/m³)

g : aceleración de la gravedad (9,81 m/s²)

V : volumen total elevado (60.000 m³)

H_m : altura manométrica suministrada por la estación de bombeo (60 m)

En estas condiciones, las zonas más bajas de la superficie regable reciben exceso de presión por lo que se hace necesaria la instalación de válvulas reductoras de presión.

Como medida de ahorro energético se puede dividir la zona regable en dos sectores, cada uno de ellos abastecido por una bomba (Figura 3). El sector A está comprendido entre las cotas 100 y 120 m, y el sector B, sombreado en la Figura, entre las cotas 90 y 70 m. La superficie de los dos sectores es la misma, 60 ha cada uno. El sector A requiere la misma altura manométrica que en la situación inicial, 60 m, pero sólo será necesario elevar la mitad del volumen a dicha altura. El sector B requiere menor altura manométrica, puesto que en este caso el desnivel entre la cota de la solera y la cota más alta del sector B es favorable ($\Delta z = -10$ m).

$$H_m = \Delta z + \frac{P}{\rho \cdot g} + h = 10 + 30 + 10 = 30 \text{ m}$$

La energía necesaria en esta nueva situación será:

Subsector A:

$$E_A = \frac{\tilde{n} \cdot g \cdot V \cdot H_m}{3.600 \cdot 10^3} \text{ (kWh)} = \frac{1.000 \cdot 9,81 \cdot 300.000 \cdot 60}{3.600 \cdot 10^3} = 49.050 \text{ kWh}$$

Subsector B:

$$E_B = \frac{\tilde{n} \cdot g \cdot V \cdot H_m}{3.600 \cdot 10^3} \text{ (kWh)} = \frac{1.000 \cdot 9,81 \cdot 300.000 \cdot 30}{3.600 \cdot 10^3} = 24.525 \text{ kWh}$$

	Situación inicial	Situación final	Ahorro
Necesidades energéticas (kWh)	98.100	73.575	24.525
Consumo energético (kWh)*	163.500	122.625	40.875
Coste económico bruto (€/año)**	11.953,81	8.965,36	2.988,45

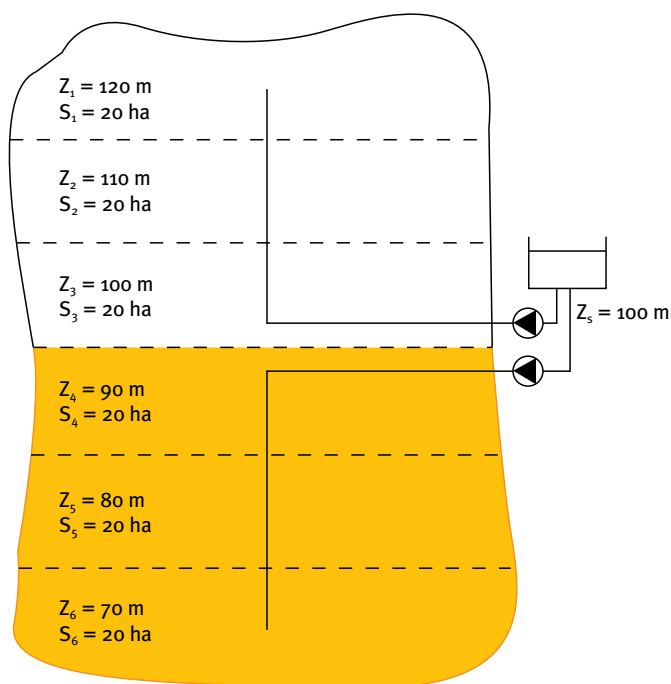
* Suponiendo un rendimiento global de los bombeos del 60%

** Calculado con el término de energía correspondiente a la tarifa 2.1 (0,073112 €/kWh)

Esta alternativa mejora la eficiencia energética de la red, con lo que se consigue un considerable ahorro energético respecto a la situación inicial: el 25% del consumo anual.

Con esta segunda alternativa, la inversión será ligeramente mayor al instalar dos bombas y dos tuberías, pero hay que tener en cuenta que requerirán menos potencia, tanto la bomba que eleva al sector A, puesto que eleva menos caudal, como la bomba del sector B, que además tiene que suministrar menor altura de presión, por lo que el coste individual de cada una sería mucho menor que el coste de la bomba en la situación inicial.

Figura 3. Zona regable dividida en dos sectores de riego, cada uno abastecido por una bomba



3.2 Reorganización del reparto de agua en turnos de misma demanda energética

En caso de que no se pueda realizar la sectorización propuesta en el apartado anterior es conveniente establecer turnos de riego en función de la demanda energética. La duración de cada turno se puede establecer a partir del consumo de agua previsto para dicho turno.

En el caso de comunidades de regantes en las que existen desniveles importantes en la superficie regable, los turnos de riego se establecerán en función de la cota de los hidrantes, agrupándose en un mismo turno los hidrantes con cota similar.

Es el caso de una red de riego en funcionamiento, como podría ser la del ejemplo anterior (Figura 3). En lugar de prever la instalación de una nueva bomba y una segunda tubería para abastecer a dos sectores, se puede llevar a cabo la sectorización estableciendo distintos turnos de riego, en este caso dos, correspondiendo cada turno con uno de los sectores establecidos en el ejemplo anterior. En el turno del sector A, la bomba trabajaría elevando el caudal correspondiente a la mitad de la superficie a una altura de 60 m, mientras que en el turno del sector B, el caudal se elevaría a una altura manométrica de 30 m.

Cuando en una comunidad de regantes conviven diferentes sistemas de riego, se agruparán en cada turno los hidrantes de parcelas con el mismo sistema de riego, que son los que presentan similares necesidades de presión. Habrá un turno para los hidrantes de parcelas regadas por aspersión, que demandan mayor presión; otro para los sistemas de riego por goteo y otro para riego a pie, en caso de existir, en que el consumo energético será mínimo. De lo contrario, los grupos de bombeo habrían de suministrar durante todos los turnos de riego la máxima presión, es decir, la requerida por los hidrantes de parcelas con riego por aspersión, lo que supondría un exceso de presión para los restantes hidrantes.

3.3 Evitar el uso de válvulas reductoras de presión

Las dos medidas propuestas anteriormente pretenden que a ningún hidrante llegue agua con exceso de presión, de modo que no sea necesario el uso de válvulas para reducir ésta.

El uso de estas válvulas significa que una parte de la red de distribución recibe agua con presión excesiva. Cuanto mayor es la presión que suministra el grupo de bombeo, más energía consume. Estamos, pues, ante un consumo poco eficiente de la energía, aportando más de la realmente necesaria para el funcionamiento de los sistemas de riego.



Foto 4. Válvula reductora de presión instalada en una tubería de distribución

En la Foto 4 se puede ver una válvula reductora de presión instalada en un ramal con pendiente descendente, que alimenta a una zona regable situada a una cota inferior. La instalación de este tipo de válvula es necesaria para proteger a la red de distribución en las zonas de menor cota topográfica, así como a los sistemas de riego abastecidos, ya que puede ocasionar la rotura de tuberías y/o un mal funcionamiento de los sistemas de riego. En estas zonas la presión puede ser excesiva, como consecuencia de la presión suministrada por los bombeos de cabecera de la red más la presión estática existente debido a su ubicación a una cota inferior. Para contrarrestar ese exceso de presión se colocan las válvulas reductoras de presión, de forma que por un lado se está inyectando presión a la red con su correspondiente consumo energético, y por otro eliminando el exceso de presión en aquellas zonas en las que es excesiva, lo que supone un despilfarro de la parte de la energía suministrada para alimentar dicha zona y que disipa la válvula reductora. Esto quiere decir que en muchos casos se podría prescindir de la presión del bombeo en ciertas partes de la red, siendo suficiente para el correcto funcionamiento del riego con la presión estática, para lo que habría que reorganizar la red de distribución en turnos con la misma demanda energética, tal y como se ha expuesto en el apartado 3.2.

3.4 Automatización de instalaciones colectivas con sondas de presión en puntos críticos

En redes colectivas de distribución de agua a presión, el funcionamiento de las instalaciones debe regularse en función de la demanda. Las instalaciones deben disponer de equipos de automatización que capten los datos necesarios y controlen el funcionamiento de los equipos de bombeo.

La calidad del suministro queda garantizada si la altura manométrica es adecuada en todos los hidrantes, para todos los caudales demandados por los regantes.

La forma de regulación más conveniente consiste en regular el régimen de las bombas de manera que se mantengan las presiones de consigna en determinados puntos de la red. Para ello se deben instalar sondas de presión en puntos críticos de demanda energética de la red, es decir, aquéllos que están sometidos de forma continua a una menor presión debido a que están situados a una mayor cota topográfica o bien muy alejados de las estaciones de bombeo. Estas sondas mandan la información a un autómatas programable que controla la regulación del bombeo que también recibe información sobre el caudal demandado por la red, y si la presión a la que se encuentran sometidos está por encima de su valor de consigna, no se envía información al bombeo para que incremente su régimen de funcionamiento. Por el contrario, cuando la demanda de caudal en la zona de influencia de cada punto crítico aumenta, la presión empezará a disminuir y para mantenerla a su nivel de consigna el autómatas actuará sobre el dispositivo que regule el régimen de las bombas (por ejemplo, los variadores de velocidad) de forma que éstas desplacen su punto de funcionamiento hasta que la presión se estabilice en su nivel de consigna. Si la demanda de caudal disminuye, la presión en los puntos críticos medida por las sondas aumentará y el automatismo, al recibir esta señal, regulará el régimen de las bombas hasta que la presión vuelva a su nivel de consigna. Este tipo de regulación es denominado regulación mano-caudalimétricaⁱⁱⁱ ajustándose

a la curva de consigna dinámica de la red y es la que mejor regula el consumo energético de la estación de bombeo.

No obstante, es frecuente que en lugar de situar las sondas en los puntos críticos de demanda de presión de la red, se sitúe una única sonda en el colector de impulsión de la estación de bombeo (Foto 5), fijando su valor de consigna en función de la presión demandada por el punto crítico más desfavorable. En este caso, el autómatas manda la señal de accionamiento de las bombas cuando aumenta la demanda de caudal en la red, sin considerar la zona de demanda que ocasiona ese incremento de caudal en cabecera, pudiendo darse el caso que se produzcan excesos de presión en los nudos favorables de la red para demandas pequeñas de caudal, y presión insuficiente en puntos desfavorables (puntos críticos) para caudales elevados. Este tipo de regulación denominado regulación manométricaⁱⁱⁱ es el más frecuente por la facilidad que conlleva su programación, pero es el que ocasiona un mayor consumo energético.



Foto 5. Sonda de presión en colector de impulsión de la estación de bombeo y filtrado de la comunidad de regantes de Albaterra

3.5 Establecer un protocolo de mantenimiento periódico de instalaciones

El personal de las comunidades de regantes debe conocer perfectamente la red de distribución, de forma que sepan en cada momento qué sector está regando, qué bombas están en funcionamiento, qué válvulas

están abiertas y cuáles cerradas, cuál es la situación de cada embalse y estación de bombeo, etc.

El propio personal de la comunidad de regantes debe estar capacitado para realizar las labores de mantenimiento periódicas de todos los elementos de la red de distribución. Asimismo, deben ser capaces de detectar averías y roturas y de repararlas o bien de reaccionar en el mínimo tiempo posible ante una situación anómala.

Entre los elementos de la red que exigen un mantenimiento periódico para evitar una baja eficiencia energética están las válvulas de aspiración de los bombeos, que en muchas ocasiones se pueden embozar, sin que se muestre un aparente mal funcionamiento del bombeo. Se debe prestar especial atención en aquellos bombeos que tomen agua de balsas de riego en donde proliferen algas, ya que es más fácil que se produzca este problema.

La presencia de algas puede ocasionar además la obturación de rodetes, tuberías de aspiración y filtros. Mediante una adecuada limpieza del agua del embalse se conseguirá evitar estos inconvenientes, al mismo tiempo que se mejorará la calidad del agua. Además es importante llevar a cabo una limpieza periódica de las paredes y fondo de la balsa.



Foto 6. Balsa de aspiración de un bombeo con algas y ovas en suspensión

En la Foto 6 se puede ver la situación habitual del estado del agua de una balsa de la que un bombeo aspira agua para alimentar a un sector de riego de una comunidad de regantes. Se puede observar la

tubería de aspiración así como abundantes ovas flotando sobre la superficie, algas y materia orgánica en suspensión.



Foto 7. “Bypass” en la válvula de retención de una impulsión

Esta situación es habitual que se dé en zonas con climas templados. Para evitar la descarga de la tubería de aspiración que podría estar motivada por la entrada de suciedad en el cierre de la válvula de pie de la misma, los instaladores suelen colocar un “bypass” en la válvula de retención que se instala al inicio de la impulsión para proteger el bombeo (Foto 7). Si ese “bypass” está continuamente abierto (como se aprecia en la foto), ante un posible atascamiento parcial de la válvula de pie que impidiese su cierre al cesar el bombeo, el agua pasaría de la red a presión a la tubería de aspiración, haciendo imposible detectar el posible atascamiento de la válvula de pie. Por tanto, este tipo de “bypass” debe estar siempre cerrado, utilizándolo únicamente para el cebado de la tubería de aspiración. De esta forma, si la válvula de aspiración se emboza, la tubería se descarga y el bombeo dejaría de funcionar, avisando de un mal funcionamiento de dicha válvula.

El mantenimiento de los filtros depende del tipo de instalación, en general se procederá a su limpieza cuando la pérdida de carga producida por los filtros sea del orden de 5 ó 6 m. Esta limpieza se puede automatizar mediante la instalación de un presostato diferencial que active la limpieza o el contralavado de los filtros cuando se alcance la pérdida de carga establecida.



Foto 8. Estación de filtrado en un sector de riego de la comunidad de regantes de Mula

En las instalaciones manuales, se deben instalar manómetros a la entrada y salida del filtro y se procederá a su limpieza cuando la pérdida de carga alcance un valor del orden de 5 a 6 m. Si fuera necesario limpiar el filtro más de una vez en cada riego, convendrá estudiar la posibilidad de instalar dos o más filtros en paralelo para que se pueda realizar la limpieza durante el proceso de riego.

Al inicio de la campaña de riegos será recomendable desmontar los filtros y realizar una inspección visual para detectar deterioros de los elementos filtrantes, malla o anillas, así como lavar la arena con una solución ácida para evitar la cementación de las partículas en filtros de arena.

El mantenimiento de las válvulas de corte, tanto en la tubería de impulsión como a lo largo de la red de distribución, consiste en comprobar su hermeticidad, sustituir piezas internas cuando estén dañadas, lubricar periódicamente y detectar fugas.

Las válvulas de corte más empleadas suelen ser de mariposa o de bola. En ambos casos son accionadas por manivelas, por lo que es fácil que reciban golpes durante las labores de cultivo y se cierren parcialmente, introduciendo pérdidas de carga que no se han considerado en el diseño y alterando el funcionamiento de la red. Para evitar estos cierres accidentales se deben proteger las manivelas. También se debe evitar su uso como elementos de regulación de la presión, práctica que

desgraciadamente es frecuente, al ser más baratas este tipo de válvulas que las de compuerta o las hidráulicas, que permiten una adecuada regulación de la presión.

3.6 Cambios en el manejo de las instalaciones según las nuevas necesidades

Muchas comunidades de regantes han ido construyendo su infraestructura a lo largo de los años. A la red primitiva se han añadido nuevas tuberías, estaciones de bombeo o embalses. Se han puesto en explotación nuevos pozos mientras que otros se han cerrado. Las nuevas dotaciones, o bien las restricciones de agua de riego, hacen que se sustituyan equipos y tuberías para dar servicio a los regantes de acuerdo con las nuevas necesidades o disponibilidad de agua. Todos estos cambios hacen que las condiciones de trabajo de la red no sean las mismas. En ocasiones, tras una nueva obra, el flujo de agua por una tubería pasa a tener el sentido contrario al que tenía en un principio.

La red de riego se va haciendo más compleja y es necesario estudiar en profundidad las alternativas de forma que la nueva situación no empeore la eficiencia energética de la red de distribución.

Ante la posibilidad de bombear desde varios puntos de captación alternativos, se debe conocer la eficiencia energética de cada uno de ellos y establecer unas prioridades basadas en el mínimo consumo energético. Sólo si es necesario elevar más caudal o en caso de avería o mantenimiento del equipo más eficiente se debe utilizar otra alternativa.

En cuanto a los cambios en la demanda, es necesario conocer los cambios que se producen en los sistemas de riego abastecidos, pues supondrán una variación en el caudal o en la presión demandados a la red.

En el proceso de modernización de las redes de distribución es habitual que no todos los regantes hayan cambiado su sistema de riego en parcela y continúen regando mediante riego por superficie, o bien que tengan sus propias balsas de almacenamiento y bombes individuales, por lo que no necesiten recibir el

agua a presión. Para evitar el problema de mantenimiento de los canales y acequias de distribución por gravedad que se les plantea a las comunidades de regantes, se abastece a todos los usuarios mediante la nueva red de distribución a presión, de forma que en los hidrantes se instalan válvulas de compuerta para riego por gravedad o bien se instalan hidrantes de mayor sección para alimentar a los canales terciarios de distribución por gravedad, conviviendo los dos sistemas en la misma red de distribución. En la Foto 9 se puede observar una arqueta dividida en dos partes: la primera contiene la válvula de derivación para riego por gravedad y la segunda contiene un colector para cuatro tomas individuales de riego a presión (una sola operativa). Desde el punto de vista energético, este manejo es muy poco eficiente, ya que se pasa de presiones elevadas en la red a presión atmosférica, derrochando casi toda la energía que se suministró al agua derivada para riego por gravedad, evitando que se pueda regar a presión mientras se riega por gravedad. En estos casos, es energéticamente mucho más eficiente mantener los canales de distribución por gravedad, o bien impulsar el cambio a riego a presión en toda la zona regable.



Foto 9. Hidrante colectivo para riego a presión y por gravedad en la misma arqueta

4 Medidas de ahorro y eficiencia energética en los equipos de bombeo

4.1 Dimensionado de los grupos de bombeo para caudales de funcionamiento habitual de la instalación

En algunas comunidades de regantes se observa que ciertos equipos de bombeo están sobredimensionados, quizá porque se construyeron en un momento en que las dotaciones de agua eran muy superiores a las actuales, o bien porque se dimensionan para abastecer al 100% de la superficie regable y anualmente, por diferentes motivos, sólo se riega un porcentaje muy inferior al máximo regable. En cualquier caso, aunque se regase el 100% de la superficie regable siempre se dimensionan para la época de máxima demanda, que suele ser de uno o dos meses al año, funcionando el resto del año muy por debajo de su punto de funcionamiento óptimo (Foto 10), pudiendo ser aún menor si la superficie regada es muy inferior a la regable.



Foto 10. Estación de bombeo con grandes equipos en la comunidad de regantes de Lorca

En estos casos, las bombas trabajan con unos caudales muy bajos que hacen que la eficiencia sea también muy baja. En algunos casos se han medido eficiencias por debajo del 40%. Se recomienda entonces sustituir al menos uno de los grupos de bombeo por otro con menor caudal nominal a la presión demandada. Este nuevo grupo será más eficiente y la estación de bombeo trabajará con mayor rendimiento global. Si la dotación de agua aumenta, o bien la demanda de riego es mayor, entonces se usarán las bombas ya existentes para suministrar mayor caudal, pero en los períodos en los que el caudal suministrado es bajo, la estación funcionará de forma eficiente.

Ejemplo:

Una estación de bombeo de una comunidad de regantes está dotada de cuatro bombas con un caudal nominal de 2.500 m³/h. Actualmente las dotaciones de agua en la zona regable se han recortado considerablemente debido a la sequía y a las restricciones de los trasvases. Durante el período de estudio de dicha estación se han registrado caudales muy dispares. Con caudales superiores a 2.000 m³/h, la eficiencia llegaba al 70% si funcionaba una sola bomba, o al 67% cuando aumentaba el caudal y se ponía en marcha una segunda bomba. Sin embargo, con caudales bajos (entre 400 y 1.000 m³/h), la eficiencia energética variaba entre el 15% y el 36%.

En una estación con estas características, lo más recomendable es la instalación de un nuevo grupo moto-bomba para elevar caudales inferiores a los nominales de las bombas actuales. De esta forma la estación puede trabajar de manera eficiente aun cuando suministra caudales bajos. Veamos en la siguiente tabla el ahorro conseguido si se sustituye una de las bombas por una con menor caudal nominal:

	Situación inicial	Situación final	Ahorro
Potencia actual (kW)	314	145	
Caudal nominal de la bomba (m ³ /h)	2.500	1.080	
Eficiencia energética (%)	40	65	
Consumo energético (kWh)	1.235.806,00	570.372,00	665.434,00
Coste económico bruto (€/año)*	88.667,84	40.923,62	47.744,22
Aumento de costes mantenimiento (€/año)		500	
Ahorro económico (€/año)			47.244,22
Coste inversión (€)	45.330,00		
Periodo de amortización (años)	0,96		

* Calculado según tarifa 2.1. Sin tener en cuenta complemento por DH

4.2 Instalación de pequeños grupos de bombeo en paralelo con al menos dos bombas de velocidad variable

Las necesidades de presión y caudal en redes de distribución no suelen ser constantes. Como se ha comentado, los grupos de bombeo se dimensionan para las máximas necesidades y como consecuencia, habrá muchos períodos en el funcionamiento de las bombas en los que el rendimiento estará lejos del máximo. La bomba trabajará con un caudal excesivo o bien será necesario estrangular la válvula, lo que lleva a un mayor consumo de energía y a una menor vida de la bomba.

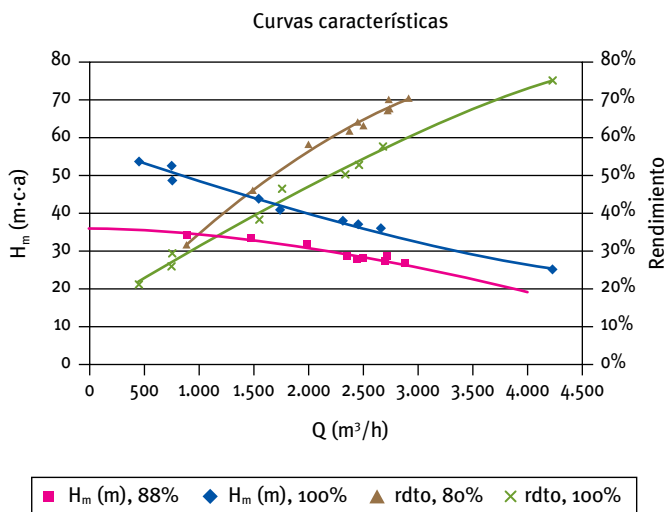
Mediante la instalación de variadores de velocidad se puede reducir la potencia absorbida por la bomba en los períodos de menor demanda de caudal. Esta forma de regular el caudal es más eficiente que la regulación mediante el estrangulamiento de la válvula. Además de conseguir un ahorro energético, el uso de variadores produce otros beneficios como el menor desgaste de los elementos mecánicos, ya que los esfuerzos sobre los rodets se reducen de forma proporcional al cuadrado de la velocidad. También se reducen otros efectos como ruidos y vibraciones, siempre y cuando el punto de funcionamiento se mantenga dentro de un determinado rango de operación.

El funcionamiento de una estación de bombeo en la que hay al menos una bomba regulada por un variador es más eficiente, siempre y cuando el régimen de trabajo de la bomba se encuentre dentro de un rango determinado.

Ejemplo:

En una estación de bombeo de una comunidad de regantes en la que existen cuatro bombas, dos de ellas accionadas por variadores de velocidad y las otras dos fijas, se ha medido la eficiencia global de bombeo (bomba y motor) accionando solamente una de las bombas de velocidad variable. La Figura 4 muestra las curvas características obtenidas en los ensayos.

Figura 4. Curvas características de grupo de bombeo accionado con variador de velocidad



Cuando el variador de velocidad actúa y reduce la velocidad de la bomba, la altura manométrica es menor, lo que significa una menor demanda de potencia. El rendimiento global del grupo motobomba es mayor que el rendimiento obtenido con velocidad fija. Sin embargo, el rendimiento es alto en un rango de caudales de funcionamiento, fuera del cual el rendimiento decae. Cuando el caudal baja a valores entre 1.000 y 1.500 m³/h, el rendimiento que se consigue con el variador de velocidad está en torno al 40% que, aunque es superior al rendimiento a velocidad fija, es claramente un rendimiento bajo. Es decir, el accionamiento mediante un variador de velocidad puede mejorar la eficiencia respecto al funcionamiento de la bomba sin él, pero no consigue que la eficiencia sea alta para todo el rango de caudal.

En el caso de estaciones de bombeo que se encuentran en funcionamiento, se pueden conseguir ahorros importantes de energía mediante la instalación de un variador para regular el trabajo de una bomba ya existente. En este caso, sin embargo, hay que tener especial cuidado y elegir un variador cuyas características eléctricas se ajusten a las del motor que acciona la bomba. De lo contrario se corre el riesgo de provocar un fallo prematuro del sistema.

A la hora de proyectar la instalación, se deben tener en cuenta todas las condiciones de trabajo posibles. En instalaciones complejas con curvas de demanda que pueden variar mucho a lo largo de la campaña de riego,

se suelen plantear distintas opciones de regulación, entre las cuales hay tres que se consideran idóneas^{iv}:

- Regulación mediante un variador de velocidad
- Regulación mediante dos variadores de velocidad con un accionamiento simultáneo
- Regulación mediante dos variadores de velocidad con un accionamiento secuencial. Esta última opción es, en general, más eficiente que el resto, permitiendo que se suministre el caudal demandado en todo momento a la presión requerida y con el mínimo consumo de energía.

Los variadores de velocidad presentan algunos inconvenientes que es preciso evitar mediante un adecuado diseño y un uso correcto. El principal es la generación de armónicos (alteraciones en la red eléctrica). Para evitar que se inyecten a la red, los variadores han de estar dotados de filtros. Muchos de los variadores que existen en el mercado llevan filtros de serie; en caso contrario, será necesario instalar filtros para evitar la propagación de armónicos.



Foto 11. Estación de bombeo con grupos de diferente tamaño en la comunidad de regantes de Albaterra

4.3 Instalar equipos de control electrónico como arrancadores estáticos

En el arranque de los motores que accionan las bombas se producen intensidades muy altas así como un elevado par de arranque, que puede ser perjudicial para el motor desde el punto de vista mecánico. Para evitar estos inconvenientes se suele limitar la intensidad de arranque mediante el uso de autotransformadores, el arranque estrella-triángulo o la eliminación de resistencia en rotor y estator. Los arrancadores estáticos presentan ventajas frente a los métodos clásicos de arranque.

Los variadores de frecuencia también pueden reducir el pico de intensidad en el arranque, además de permitir ajustar el punto de funcionamiento como se ha visto en el apartado anterior. Sin embargo, en el caso de bombas que trabajan a un régimen fijo y no requieren regulación de su funcionamiento mediante un variador de velocidad, es más indicado el uso de arrancadores estáticos.



Foto 12. Arrancadores electrónicos

Los arrancadores estáticos aplican la tensión de forma progresiva, mediante rampas de tensión cuya duración se debe ajustar de manera que la intensidad de arranque no supere un determinado límite. Conforme la intensidad se reduce al aumentar las revoluciones, continúa la rampa hasta que se alcanza el 100% de la tensión nominal. La parada del motor también se realiza generando una rampa de deceleración, reduciendo la tensión progresivamente hasta que el par motor sea menor que el par resistente.

Una de las ventajas de los arrancadores estáticos es que se obtiene un arranque suave que minimiza los efectos producidos por los golpes y las vibraciones. Mejoran el rendimiento de los motores y son muy útiles en electrobombas al permitir controlar el golpe de ariete.

4.4 Simulación del proceso de puesta en marcha de los grupos de bombeo en función de la demanda real

Mediante una simulación hidráulica de la red de riego se pueden simular diversos escenarios de demanda, a fin de conocer el comportamiento de la red ante diferentes situaciones que se pueden dar a lo largo de la campaña de riego^v. De esta forma se puede evaluar el funcionamiento y prever el comportamiento de la red ante posibles cambios en la demanda.

Para la simulación es necesario conocer la distribución de caudales a lo largo de la campaña de riego^v. Conociendo asimismo los datos referentes a las bombas (curvas características, presión de consigna), se puede estimar la eficiencia en los distintos escenarios.

El conocimiento del rendimiento de los grupos de bombeo en distintas situaciones de demanda sirve para programar adecuadamente los arranques de bombas para que, ante las variaciones en la demanda, se pongan en marcha, paren o cambien de régimen las bombas, de forma que en todo momento la eficiencia sea la más alta posible para un determinado caudal.

4.5 Mejoras en el factor de potencia de los equipos

El factor de potencia se puede definir como la relación que existe entre la potencia activa (kW) y la potencia aparente (kVA) que demanda un motor o una instalación y es indicativo de la eficiencia con que se está utilizando la energía eléctrica para producir un trabajo útil. Cargas inductivas, como son los motores de inducción, originan factores de potencia bajos.

Un factor de potencia bajo supone una mayor intensidad de corriente, con las consiguientes pérdidas en los conductores, fuertes caídas de tensión, incrementos

de potencia de las instalaciones y transformadores y reducción de su vida útil. Además, repercute en un mayor coste de la energía, a través del complemento por energía reactiva en la facturación eléctrica.

Cuando el factor de potencia es inferior a 0,9 se aplica un recargo sobre la tarifa básica. Por el contrario, un factor de potencia superior a 0,95 significa una bonificación, mientras que para valores entre 0,9 y 0,95 no se aplica recargo ni bonificación.

Para conseguir el valor deseado del factor de potencia (superior a 0,9 y preferiblemente superior a 0,95) se deben instalar baterías de condensadores que compensen la energía reactiva que consumen los motores, teniendo en cuenta que la instalación no ha de llegar nunca a ser capacitiva. El número y tipo de estos equipos viene determinado por las características de la instalación que se pretende optimizar.

En un suministro en baja tensión se instalará una batería de condensadores en paralelo a la carga. Sin embargo, en un suministro en alta tensión es necesario, además, compensar el transformador mediante la instalación de un condensador fijo.

La compensación de energía reactiva se puede hacer por bloques o individualizada. La instalación de baterías de condensadores individuales requiere condensadores de diferentes capacidades, resultando en un mayor coste.

En estaciones con varias bombas en las que puede haber variaciones importantes de la carga es recomendable el empleo de bancos de baterías automáticos, de forma que los condensadores se conecten o desconecten sucesivamente según la situación de marcha/paro de los motores.

El coste de los equipos de compensación de energía reactiva se amortiza rápidamente con el ahorro en el complemento por energía reactiva.

Al corregir el factor de potencia son varios los beneficios que se obtienen: se reduce el gasto en la factura eléctrica, se reducen las caídas de tensión y se protege la vida útil de las instalaciones. Asimismo, un factor de potencia alto supone una mayor eficiencia en el transporte de la energía.

4.6 Mantenimiento de equipos

Así como el personal de las comunidades de regantes debe conocer perfectamente la red de distribución, también ha de conocer perfectamente el funcionamiento de los grupos de bombeo. Si éstos se han seleccionado correctamente para lograr un bombeo eficiente, y se lleva a cabo un mantenimiento adecuado siguiendo las indicaciones y recomendaciones del fabricante o instalador, se logrará que el bombeo sea eficiente a lo largo de toda la vida de la instalación.

Los técnicos de la comunidad de regantes deben establecer un protocolo de mantenimiento basado en su propia experiencia y en las recomendaciones de mantenimiento recogidas en la documentación técnica de las bombas y motores.

Es recomendable una inspección rutinaria del funcionamiento de las bombas, para comprobar estado de los filtros, lubricantes, etc. Esta vigilancia permitirá detectar ruidos extraños, cambios en el comportamiento de los equipos y cualquier anomalía que se pueda producir.



Foto 13. Bombeo con un mantenimiento deficiente

También se debe realizar una inspección periódica más exhaustiva que incluya la puesta a punto de los grupos motobomba, engrasado, limpieza o sustitución de filtros, comprobación de alineamientos, tolerancias, líneas eléctricas, etc. En estas inspecciones se debe incluir la de las baterías de condensadores para mejora del factor de potencia^{vi}. Por último, cada 5 años, se debe desmontar la bomba por completo.

Es aconsejable la instalación de elementos de control, como sensores de presión, válvulas anti-rotura, presostatos, etc., que envíen alarmas en caso de una anomalía, para la rápida detección de averías y su reparación.

4.7 Cambios en el manejo de los equipos según las necesidades

Hay otros dos aspectos que es necesario tener en cuenta para mantener un bombeo eficiente: se trata de los cambios en las condiciones de trabajo de las bombas y los cambios en sus requerimientos. Por ello, es importante que el personal de las comunidades de regantes se encargue, o al menos supervise, las labores de mantenimiento, aunque determinadas inspecciones se lleven a cabo por empresas especializadas.

Es necesario realizar comprobaciones del funcionamiento de las bombas para conocer si varían, y en qué forma, sus condiciones físicas. La recomendación de la APEP^{vii} es realizar ensayos de eficiencia con una periodicidad entre 1 y 3 años, dependiendo del uso anual y de la dureza de las condiciones de trabajo. Es importante conocer si se produce desgaste de los elementos mecánicos. Dicho desgaste será mayor en los casos de pozos con alto contenido en arena, por lo que se requerirán controles más frecuentes que en estaciones de bombeo en las que el caudal de entrada es agua filtrada.

En el caso de bombas que elevan agua de un pozo, es preciso conocer si se producen cambios en el nivel estático y dinámico de los sondeos a lo largo del tiempo, a fin de llevar a cabo las modificaciones necesarias en las bombas para que éstas trabajen con la máxima eficiencia.

Ejemplo:

Una comunidad de regantes eleva agua de un pozo. El grupo de bombeo trabaja de forma continua con la válvula de regulación estrangulada suministrando un caudal de 100 m³/h, con una eficiencia del 57%, lejos de su punto de funcionamiento. El consumo específico

en estas condiciones es de 1,73 kWh/m³. Al realizar un test de funcionamiento de la bomba se observa que con la válvula abierta, dando un caudal de 120 m³/h, aunque la demanda de potencia es mayor, la eficiencia energética del bombeo aumenta al 64% y el consumo específico se reduce (1,54 kWh/m³). Al suministrar más caudal, el tiempo de funcionamiento diario de la bomba se reduce de 24 a 20 horas. Si las horas de parada de la bomba se hacen coincidir con horas punta, el ahorro económico será máximo. La siguiente tabla muestra el ahorro obtenido con esta medida:

	Situación anterior	Tras la mejora	Ahorro
Potencia demandada (kW)	175	187	
Caudal (m ³ /h)	100	120	
Horas diarias de funcionamiento	24	20	
Eficiencia energética (%)	57	64	
Consumo energético anual (kWh)	1.512.000	1.346.400	165.600
Coste económico bruto (€/año)	137.130,32	103.721,03	33.409,29*
Aumento de costes mantenimiento (€/año)	0		
Coste inversión (€)	0		
Periodo de amortización (años)	0		

* Ahorro económico máximo, calculado para el caso de que las horas de no funcionamiento correspondan con horas punta

5 Medidas de ahorro en la contratación de las tarifas eléctricas

Las medidas que se proponen a continuación no suponen un ahorro de energía, pero sí un ahorro económico como resultado de una mejor gestión energética. Consisten en adecuar el consumo de energía a las condiciones de las compañías suministradoras de energía eléctrica, de forma que se puedan beneficiar de determinadas ventajas como tarifas más económicas, consumo en horas valle en que la energía es más barata, etc.

De esta manera se reducen los costes energéticos que suponen una importante partida en los costes totales de producción, lo que conlleva un aumento de la productividad de la actividad agrícola.

5.1 Estudiar la tarifa eléctrica más ajustada a la potencia demandada y consumo real

La desaparición de las tarifas específicas para riegos en alta y baja tensión, prevista para el 1 de enero de 2007^{viii}, y posteriormente aplazada^{ix}, obliga a los agricultores a acogerse a las tarifas generales, en las que los términos de potencia son más elevados. Se exponen a continuación los criterios para elegir la tarifa más adecuada.

La selección de la tarifa se debe realizar en función de las horas de utilización de las instalaciones a plena carga. Para un determinado escalón de tensión, **t**, existen tres tarifas generales: corta, media y larga utilización. Las tarifas de corta utilización tienen un menor coste de la potencia y mayor coste de la energía, siendo la elección más económica en el caso de instalaciones con muy pocas horas mensuales de funcionamiento. Al contrario, las tarifas de larga utilización tienen mayor coste de la potencia pero la energía es más barata, por lo que son recomendables para instalaciones con muchas horas de funcionamiento a lo largo del mes.

A partir de la siguiente ecuación se puede determinar el umbral (horas de funcionamiento) desde el cual resulta más económica la contratación de la tarifa de media utilización que la de corta, para un determinado nivel de tensión **t**.

$$a_{12} = \frac{Cp_{2,t} - Cp_{1,t}}{Ce_{1,t} - Ce_{2,t}}$$

Siendo:

Cp: coste de la potencia contratada (€/kW)

Ce: coste de la energía consumida (€/kWh)

Análogamente, el umbral a partir del cual resulta más económica la tarifa de larga utilización se obtiene a partir de la siguiente ecuación:

$$a_{23} = \frac{Cp_{3,t} - Cp_{2,t}}{Ce_{2,t} - Ce_{3,t}}$$

Las horas mensuales de funcionamiento a plena carga, **a**, se pueden determinar como cociente entre la energía consumida a lo largo de un mes y la potencia contratada.

La tarifa más recomendable en función de las horas mensuales de utilización a plena carga sería, pues, la que se indica en la tabla 3:

Tabla 3. Elección de tarifa más económica según las horas de funcionamiento

Valor de a (horas mensuales de funcionamiento a plena carga)	Tarifa más económica	
a < a12	1.t	corta utilización
a12 < a < a23	2.t	media utilización
a > a23	3.t	larga utilización

t: segundo dígito de la tarifa, según la tensión de suministro

A título orientativo se exponen en la tabla 4 los valores de los umbrales entre corta, media y larga utilización para los distintos escalones de tensión, correspondientes a la tarifa del segundo semestre del año 2007.

Tabla 4. Umbrales de utilización

t	Tensión de suministro	Umbral corta-media utilización	Umbral media-larga utilización
1	No superior a 36 kV	371,12	649,76
2	Mayor de 36 kV y no superior a 72,5 kV	362,09	663,28
3	Mayor de 72,5 kV y no superior a 145 kV	362,89	631,42
4	Mayor de 145 kV	372,11	646,65

5.2 Contratar la potencia realmente utilizada

Según la estructura binomia de tarifas eléctricas vigente en España^x, el término de facturación de potencia será el producto de la potencia a facturar por el precio del término de potencia. Conviene distinguir entre potencia contratada y potencia facturada, ya que ésta no coincide en todos los casos con la potencia contratada.

Cuando la potencia registrada por los máxímetros se encuentra en valores próximos a la contratada ($0,85 P_c < P_{max} < 1,05 P_c$), la potencia facturada será igual a la registrada.

Si la potencia registrada supera en más de un 5% a la potencia contratada ($P_{max} > 1,05 P_c$), la potencia facturada se calculará mediante la siguiente expresión:

$$P_f = P_{max} + 2 (P_{max} - 1,05 P_c)$$

No es aconsejable contratar una potencia inferior a la que previsiblemente se va a demandar, pues en ese caso la potencia facturada va a ser considerablemente mayor que la contratada, aunque el valor registrado por el máxímetro responda a un tiempo muy corto de demanda.

Ejemplo 1:

Una comunidad de regantes acogida a la tarifa general 2.1, con un término de potencia de 4,786429 €/kW·mes^{xi}.

Potencia contratada: 1.000 kW

Potencia registrada: 1.200 kW

Potencia facturada:

$$1.200 + 2 (1.200 - 1,05 \cdot 1.000) = 1.500 \text{ kW}$$

Término de potencia:

$$1.500 \text{ kW} * 4,786429 \text{ €/kW·mes} = 7.179,64 \text{ €/mes}$$

Si la comunidad de regantes hubiera contratado una potencia de 1.200, el término de potencia sería $1.200 * 4,786429 \text{ €/kW·mes} = 5.743,71 \text{ €/mes}$. La comunidad de regantes está pagando 1.435,93 €/mes

más de lo que pagaría con una potencia contratada acorde a la demanda, lo que representa un 25% más en término de potencia.

Si la potencia registrada por el maxímetro es inferior al 85% de la contratada ($P_{max} < 0,85 P_c$), la potencia facturada será el 85% de la contratada:

$$P_f = 0,85 P_c$$

Es decir, si la comunidad de regantes contrata una potencia muy elevada, deberá pagar un exceso de potencia a pesar de que la demanda sea muy baja.

Ejemplo 2:

Potencia contratada: 1.000 kW

Potencia registrada: 500 kW

Potencia facturada: 850 kW

Término de potencia:

$$850 \text{ kW} * 4,786429 \text{ €/kW}\cdot\text{mes} = 4.068,46 \text{ €/mes}$$

Si la comunidad de regantes hubiera contratado una potencia de 500 kW, el término de potencia sería 2.393,2145 €/mes. El exceso de potencia contratada supone un incremento de costes de 1.675,25015 €/mes. La comunidad de regantes está pagando, impuestos aparte, un 70% más de potencia que si hubiera contratado la necesaria.

5.3 Ajustar el consumo energético a la discriminación horaria

En la estructura de tarifas se contempla el complemento (recargo o descuento) sobre la tarifa básica como consecuencia de la discriminación horaria y se establecen períodos punta, llano y valle que dependen de la estación y de la zona geográfica de suministro. El precio de la energía es diferente en los distintos períodos, de forma que para calcular el complemento se aplica un coeficiente al coste de la energía consumida en cada uno de los períodos horarios establecidos. Estos coeficientes varían según el tipo de discriminación horaria elegido, pudiendo llegar a un 100% de recargo en horas punta y a un 43% de bonificación en horas valle.

En la medida de lo posible conviene adaptar el consumo energético a los períodos horarios del tipo de discriminación elegido, centrando el consumo energético en horas valle o llano y evitando el consumo en horas punta, de forma que el complemento por discriminación horaria sea negativo (descuento), o en caso de ser positivo (recargo), que sea lo más bajo posible.

Esta medida no siempre es factible. Cuando se eleva agua hasta un embalse desde el cual se va a distribuir por gravedad a la red de riego, sin ninguna duda se puede elevar en horas valle, y en caso de necesitar elevar durante más tiempo, se recurriría a horas llano, y sólo en casos extremos se consumiría energía en horas punta. En cambio, si se trata de estaciones de bombeo que suministran el caudal directamente a la red de riego, es difícil aplicar esta medida de ahorro. El consumo de energía se producirá a las horas de demanda de riego. En este caso se puede incentivar el riego nocturno mediante la facturación de la energía, imputando menores costes energéticos a los comuneros que se acojan a los turnos que correspondan a horas valle e incrementando los de aquéllos que riegan en horas punta.

Ejemplo:

Una estación elevadora que consta de dos bombas trabaja con una eficiencia bastante alta. El consumo de energía del último año fue de 542.443 kWh, de los cuales 38.885 kWh se consumieron en horas punta. Esta estación eleva agua de pozos a un embalse, por lo que el consumo se puede desplazar a horas valle. Teniendo en cuenta que la tarifa contratada en esta estación es la R.1 (riegos agrícolas) con discriminación horaria tipo 4, el ahorro que supone el desplazamiento de las horas de consumo es de 4.784,92 € al año.

Consumo energético anual en horas punta (kWh)	38.885
Coste económico bruto en horas punta (€/año)*	6.692,19
Coste económico bruto en horas valle (€/año)	1.907,27
Ahorro económico bruto (€/año)	4.784,92

* Calculado a partir del término de potencia de la tarifa R.1 vigente desde julio de 2007*

6 Valoración de las medidas de ahorro y eficiencia energética

En general, las medidas de ahorro energético llevan consigo un ahorro económico, un coste de inversión y una variación de los costes de mantenimiento anuales. Todos estos factores han de ser tenidos en cuenta a la hora de realizar la valoración económica de las medidas de mejora de la eficiencia y estimar su rentabilidad.

El ahorro económico bruto producido por una medida de ahorro energético se calcula como el producto del ahorro energético (diferencia entre el consumo anual de energía en la situación inicial y el consumo anual tras la mejora) por el coste de la energía (término de energía) según la tarifa contratada.

$$AEB = AEn \cdot Te$$

Siendo:

AEB: el ahorro económico bruto (€/año)

AEn: el ahorro energético (kWh/año)

Te: el término de energía de la tarifa contratada (€/kWh)

El ahorro económico anual (AEA) se calcula como el ahorro económico bruto menos el incremento en los costes anuales de mantenimiento.

$$AEA = AEB - \Delta \text{costes mantenimiento}$$

El rendimiento bruto de la inversión se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$RBI = \frac{(I - AEA \cdot Vu)}{I} \cdot 100$$

Siendo:

RBI: rendimiento bruto de la inversión

I: coste de la inversión (€)

AEA: ahorro energético anual (€/año)

Vu: vida útil de la mejora (años)

El plazo de amortización de la inversión se obtiene como el cociente entre el coste de inversión y el ahorro económico anual:

$$PA = \frac{I}{AEA}$$

Donde

PA: es el plazo de amortización (años)

I: es el coste de la inversión (€)

AEA: es el ahorro económico anual

Existen medidas correctoras que no requieren coste de inversión, como pueden ser el desplazamiento de consumo a horas más baratas (medida que no ahorra energía pero sí reduce costes), la regulación de válvulas para adaptar el punto de funcionamiento de una bomba al régimen de máximo rendimiento, la sectorización cuando ya existen las tuberías y válvulas necesarias y sólo es preciso abrir y cerrar las adecuadas, etc.

Otras medidas requieren inversiones: instalación de nuevos equipos, sustitución o modificación de los ya existentes, instalación de tramos de tubería o válvulas para dividir en sectores, etc. En general, estas medidas permiten mejoras importantes en la eficiencia que se traducen en ahorros de energía y, por consiguiente, ahorros económicos que hacen que en poco tiempo se amortice la inversión.

7 Auditorías energéticas en comunidades de regantes

Una de las medidas introducidas por el Plan de Acción 2008-2012 en Agricultura de Regadío, como se ha señalado en la introducción, consiste en promover mejoras energéticas en comunidades de regantes. La medida consiste en realizar auditorías energéticas con el objetivo de determinar los puntos críticos de consumo y las medidas de ahorro energético que se pueden llevar a cabo en las comunidades de regantes, y a partir de los resultados, establecer líneas de ayudas que apoyen la sustitución de equipos.

La tabla 5 recoge las cifras de inversión, ahorro de energía y emisiones evitadas con las medidas establecidas en el Plan de Acción 2008-2012 en Agricultura de Regadío.

Tabla 5. Inversión prevista para distintas medidas de ahorro energético en agricultura de regadío (Fuente: IDAE)

Medida	Inversión (Miles €)	Apoyo público (Miles €)	Ahorro Energía 2008-2012 (ktep)	Emisiones CO ₂ evitadas 2008-2012 (ktCO ₂)
Impulso para la migración de sistemas de riego por aspersión a sistemas de riego por goteo	190.800	954	87	352
Plan de actuaciones en mejoras energéticas en comunidades de regantes	10.608	2.122	146	590
Total Regadío	201.408	3.076	233	942

El objetivo general de una auditoría energética de una comunidad de regantes es evaluar el consumo energético de la misma y proponer medidas que supongan un incremento de la eficiencia energética y, por tanto, un ahorro energético y económico para la comunidad de regantes. Este objetivo general se desglosa en los siguientes objetivos específicos:

- 1 Evaluar el funcionamiento de los equipos consumidores de energía.
- 2 Evaluar el aprovechamiento energético del diseño y manejo del sistema.
- 3 Calificar energéticamente la comunidad de regantes.

4 Proponer mejoras del sistema desde el punto de vista del aprovechamiento energético y económico.

5 Valorar las mejoras propuestas.

La auditoría energética debe ser una herramienta específica enmarcada dentro de un programa de ahorro energético llevado a cabo por la comunidad de regantes. Para ello, se debe programar un plan de ahorro energético de forma que, una vez planificadas las actuaciones y realizada la auditoría, se decida cuál va a ser el plan de actuaciones a seguir, realizando un seguimiento de las medidas y mejoras propuestas en la auditoría.

En la publicación de esta misma serie, Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío, ya se apuntaba la posibilidad de hacer obligatorias las auditorías energéticas en comunidades de regantes. Los resultados de las auditorías o la evolución de éstos en años sucesivos en una misma comunidad de regantes permitirían establecer criterios a la hora de conceder ayudas, subvenciones o determinados beneficios a las mismas.

El grupo de investigación Agua y Energía para una Agricultura Sostenible de la Universidad Miguel Hernández, que forma parte del grupo de trabajo de ahorro y eficiencia energética en regadíos promovido por el IDAE, ha elaborado un protocolo de auditoría energética en comunidades de regantes^{xii}. El contenido de dicho protocolo se resumen en:

- Datos generales (descripción de la comunidad de regantes, datos de la empresa auditora) y de funcionamiento interno (datos administrativos, gestión económica)
- Datos de suministro hídrico, datos de suministro energético (energía eléctrica, combustibles)
- Datos de consumo energético (consumo eléctrico, consumo de combustibles, consumos equivalentes)
- Descripción de la infraestructura y el funcionamiento de la comunidad de regantes (descripción de la infraestructura, del funcionamiento de la red, equipos consumidores de energía, consumo energético de los bombeos, eficiencia energética de los bombeos, balance energético)
- Evaluación y calificación energética (indicadores generales e individuales de uso de la energía, evaluación de la gestión energética, calificación energética)

- Propuesta de mejoras y valoración (mejoras en el diseño y manejo de la red, en los equipos, en las condiciones de compra de la energía, resumen de mejoras propuestas y valoración)

- Recomendaciones

- Resumen y conclusiones

Con este protocolo se pretende que la auditoría energética sirva en primer lugar para analizar la eficiencia en el uso de la energía por parte de la comunidad de regantes, teniendo en cuenta tanto el diseño y manejo de la red de distribución como la eficiencia de las estaciones de bombeo. Este análisis permite identificar los puntos críticos de consumo energético con el objetivo de proponer mejoras tanto en la gestión de la red como en los equipos consumidores de energía. Por último se hace una valoración de las mejoras propuestas, tanto en el ahorro energético que se va a conseguir con ellas como en el ahorro económico, teniendo en cuenta, como se describe en el apartado 6 de esta publicación, el coste de inversión que supone cada una de estas mejoras, y el ahorro que genera.

Este protocolo ha sido validado en dos comunidades de regantes. En ambos casos se han encontrado posibilidades de ahorro energético a través de diversas medidas correctoras, siendo la mayoría de ellas de fácil realización y alta rentabilidad, con un plazo de amortización inferior a un año.

FENACORE, que participa en el grupo de trabajo de ahorro y eficiencia energética en regadíos, va a incorporar próximamente este protocolo en sus actividades de difusión y formación.

El citado protocolo será objeto de la siguiente publicación de esta serie. Es, además, el modelo de informe de una aplicación informática denominada “Auditorías energéticas en comunidades de regantes”. Esta aplicación informática, que funciona en un entorno de base de datos, permite mecanizar y acumular las distintas auditorías que realizan las empresas, al objeto de poder aplicar los conocimientos aprendidos en esta materia a lo largo del tiempo.

8 Recomendaciones para incrementar el ahorro y la eficiencia energética

Las comunidades de regantes juegan un papel importante en lo que se refiere al ahorro energético en agricultura de regadío, puesto que gestionan una parte importante del consumo energético del sector.

Existen medidas de ahorro energético que se pueden implantar con un coste de inversión reducido, por lo que se amortizan en un plazo muy breve, dando lugar a importantes ahorros energéticos y económicos. Otras en cambio requieren unas inversiones económicas mayores; hay sin embargo que estudiar el ahorro energético que producen frente a la inversión efectuada con el fin de calcular el plazo de amortización, índice que nos indica la rentabilidad o no del cambio.

A continuación se detallan una serie de recomendaciones que se pueden realizar en las instalaciones de las comunidades de regantes con el fin de incrementar la eficiencia energética; incremento que llevará asociado un ahorro económico cuya rentabilidad habrá que estudiar en cada caso en función de la inversión.

- La sectorización de la red de distribución en función de la cota y/o sistemas de riego abastecidos, incrementa la eficiencia de la energía consumida. Este incremento de la eficiencia energética supone un ahorro económico directo en la facturación de la energía.
- La automatización de las estaciones de bombeo a través de la regulación mano-caudalimétrica se ajusta a la curva de consigna dinámica de la red y es la que mejor regula el consumo energético de la estación de bombeo.
- El diseño y/o montaje de bombas de pequeña potencia que entran en cascada según la demanda requerida en cada momento hace que los equipos se ajusten al máximo a los requerimientos de la comunidad lo que implicará que la estación funcione de forma eficiente.
- El uso de arrancadores estáticos en los motores y la instalación de baterías de condensadores para compensar la energía reactiva minimiza los golpes y vibraciones en las bombas y motores, incrementa la vida y la eficiencia de los equipos, y evita el recargo en la facturación de la energía.

– Una gestión adecuada en la contratación y uso de las tarifas más adecuadas a las necesidades reales de cada comunidad de regantes puede suponer un gran ahorro económico para ésta. Así, la selección de la tarifa se deberá realizar en función del número de horas y periodos horarios de utilización de la instalación a plena carga. El ajuste de la potencia contratada se deberá realizar conforme a la realmente utilizada para que no existan penalizaciones económicas en la facturación.

Bibliografía

- i MAPA. “*Plan Nacional de Regadíos*”. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 1996.
- ii REAL DECRETO LEGISLATIVO 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- iii MORENO, M.A. “*Análisis hidráulico y energético de redes de riego a la demanda*”. Tesis Doctoral. Centro Regional de Estudios del Agua. Universidad de Castilla-La Mancha. 2005.
- iv PLANELLS, P., CARRIÓN, P.A., ORTEGA, J.F., MORENO, M.A. y TARJUELO, J.M. “*Pumping selection and regulation for water distribution networks*”. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 131(3):273-281. 2005.
- v PELAYO MERINO, J., CÓRCOLES TENDERO, J.I., MORENO HIDALGO, M.A. y CARRIÓN PÉREZ, P. “*Modelo de análisis de la eficiencia energética en estaciones de bombeo (MAEEB)*”. Comunicación al IV Congreso Nacional y I Congreso Ibérico de Agroingeniería. Albacete, septiembre 2007.
- vi ALFARO ECHARRI, A. “*Ahorro y eficiencia energética en agricultura de regadío*”. XXV Congreso Nacional de Riegos. Pamplona, 15 al 17 de mayo de 2007. C-14. 2007.
- vii Center for Irrigation Technology. 2005. Agricultural Pumping Efficiency Program. California State University, Fresno. USA.
- viii REAL DECRETO 809/2006, de 30 de junio, por el que se revisa la tarifa eléctrica a partir del 1 de julio de 2006.
- ix REAL DECRETO-LEY 9/2006, de 15 de septiembre, por el que se adoptan medidas urgentes para paliar los efectos producidos por la sequía en las poblaciones y en las explotaciones agrarias de regadío en determinadas cuencas hidrográficas.
- x ORDEN de 12 de enero de 1995 por la que se establecen las tarifas eléctricas.
- xi REAL DECRETO 871/2007, de 29 de junio, por el que se ajustan las tarifas eléctricas a partir del 1 de julio de 2007.

- xii RUIZ CANALES, A., ABADÍA SÁNCHEZ, R., ROCAMORA OSORIO, M.C., CÁMARA ZAPATA, J.M., PUERTO MOLINA, H., ANDREU RODRÍGUEZ, J., VERA MORALES, J. y MELIAN NAVARRO, A. *“Auditorías energéticas en Comunidades de Regantes. Mejora de la eficiencia energética para una agricultura sostenible”*. Comunicación al IV Congreso Nacional y I Congreso Ibérico de Agroingeniería. Albacete, septiembre 2007.

Títulos publicados de la serie
*Ahorro y Eficiencia Energética
en la Agricultura:*

Nº Especial: *Consumos Energéticos en las Operaciones Agrícolas en España.* 2005

Tríptico promocional: *Medidas de Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura.* 2005

Nº 1: *Ahorro de Combustible en el Tractor Agrícola.* 2005

Nº 2: *Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío.* 2005

Nº 3: *Ahorro y Eficiencia Energética en Instalaciones Ganaderas.* 2005

Nº 4: *Ahorro, Eficiencia Energética y Sistemas de Laboreo Agrícola.* 2006

Nº 5: *Ahorro, Eficiencia Energética y Estructura de la Explotación Agrícola.* 2006

Nº 6: *Ahorro, Eficiencia Energética y Fertilización Nitrogenada.* 2007

Nº 7: *Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos.* 2008

Nº 8: *Protocolo de Auditoría Energética en Invernaderos. Auditoría energética de un invernadero para cultivo de flor cortada en Mendigorriá.* 2008

Nº 9: *Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes.* 2008

IDAE Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía

c/ Madera, 8 - 28004 Madrid
Tel.: 91 456 49 00. Fax: 91 523 04 14
comunicacion@idae.es
www.idae.es



P.V.P.: 8 € (IVA incluido)