



Título del Trabajo Fin de Máster:

***SOBRE LA NECESIDAD DE AUDITAR
ENERGÉTICAMENTE REDES DE
RIEGO***

Intensificación:

HIDRÁULICA URBANA

Autor:

SANCHIS GUI LLÉN, JORGE VICENTE

Director/es:

DR. CABRERA MARCET, ENRIQUE

Fecha: **ABRIL, 2013**



Título del Trabajo Fin de Máster:

SOBRE LA NECESIDAD DE AUDITAR ENERGÉTICAMENTE REDES DE RIEGO

Autor: **SANCHIS GUILLÉN, JORGE VICENTE**

Tipo	A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/>	Lugar de Realización	VALENCIA
Director	DR.ENRIQUE CABRERA MARCET	Fecha de Lectura	ABRIL, 2013
Codirector1	<NOMBRE Y APELLIDOS>		
Codirector2	<NOMBRE Y APELLIDOS>		
Tutor	<NOMBRE Y APELLIDOS>		

Resumen:

El presente trabajo surge debido a una serie de acontecimientos ligados, que se han producido en el mundo pero particularizando los mismos para el caso de España. A continuación se trata de ordenar los hechos y las repercusiones que desencadenan éstos.

En primer lugar, la población ha crecido en las últimas décadas, ello obliga a la necesidad de producir un superior número de alimentos, provocando una mayor presión sobre los recursos hídricos, debido al aumento de consumo de agua aparejado, aunado a la escasez del recurso en nuestro territorio. Incremento insostenible para cubrir tales necesidades, con lo que la agricultura, tratando de buscar siempre la viabilidad ambiental tanto como la económica, dirige sus estrategias. Consciente de que está condicionada por los escasos recursos hídricos, además ante la obligación de controlar y disminuir las contaminaciones que se producen con su actividad, pero por otro lado velando por la económica de las explotaciones, ante esta tesitura se opta por transformar el riego tradicional (por inundación) a un riego a presión (goteo o aspersión), lo que conlleva una ventaja inminente, como es el ahorro de agua, queda claro que desde un punto de vista hídrico este nuevo sistema es más eficiente. Pero existe un inconveniente, gasta mucha energía, ello se debe a que el agua es captada en ocasiones desde grandes profundidades, añadiendo a esto su transporte, normalmente son largas distancias, y si es condicionante una desfavorable topografía, donde hay que salvar desniveles importantes, para llegar a todos los puntos de consumo garantizando una presión mínima, el montante energético es considerable.

Al principio el regante no veía tal gasto repercutido en su factura, ya que este consumo energético ha estado subvencionado, a través de unas tarifas preferentes para el regadío, pero es en el año 2009, cuando se libera el precio de la energía, y el regante pierde esta ayuda, como consecuencia se dispara el precio de la factura eléctrica. Hecho que compromete seriamente la explotación de los terrenos de cultivo, ya que, el gasto energético supone para el agricultor más del 35% de la producción total, reduciendo los márgenes comerciales a límites históricos (FENACORE, 2012).

Ante esta problemática, donde se tienen sistemas que demandan mucha energía, hay que evaluar si la energía gastada se hace de forma eficiente, hecho que en la mayoría de casos no es así, con lo que se tiene un margen de mejora notable. Situación que no ha pasado por alto la Administración, ya que, a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), que es una entidad pública empresarial adscrita a la Secretaría General de Energía del Ministerio de Industria,

Turismo y Comercio, publica un protocolo de Auditoría energética en las comunidades de regantes, el mismo es aplicado y extendido a lo largo del territorio español, siendo tomado como modelo en el caso de la Comunidad Valenciana, que destinó ayudas a través de la Asociación Valenciana de la Energía (AVEN), dentro del marco del Plan de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética 2008-2012 (PAE4+). Subvenciones destinadas a comunidades de regantes para que realizaran auditorías energéticas, siguiendo el documento publicado por el IDAE. Documento que tiene limitaciones importantes que se irán desgranando a lo largo del presente trabajo.

Una vez analizado el contexto del asunto, este estudio pretende contextualizar los hechos que se han ido comentando. Comenzando tras hacerse esta pregunta, ¿Qué ha llevado a realizar el cambio en el tipo de riego? Profundizar en la nueva perspectiva, mayor gasto energético, tras este hecho ¿Qué ha supuesto para los agentes implicados? Estos son los regantes agrupados en comunidades que gestionan el agua de riego, y que pierden sus tarifas preferentes tras liberarse el precio de la energía. Por otro lado analizar la problemática, primero observando los movimientos que se han hecho por parte de la Administración, fijando el objetivo en el protocolo del IDAE, ya que ha cobrado un auge importante en España, el cual propone una auditoría completa, aunque su aplicación cuenta con una serie de limitaciones, que se analizan y se argumentan en páginas sucesivas, concluyendo con una valoración del protocolo, para intentar ver plasmada toda la información expuesta, se realiza un caso de estudio, siguiendo la auditoría energética, propuesta por el IDAE, adelantando ya que el trabajo realizado es muy mejorable, por esta razón se le da un foque alternativo al asunto.

Este nuevo enfoque parte de un primer diagnóstico preliminar, el cual se describe con posterioridad tanto material y datos necesarios para llevarlo a cabo, como su fundamento y etapas a seguir en su desarrollo. Tras la aplicación del mismo se valora el sistema, y si éste es ineficiente, se entra a realizar una auditoría hídrica primero, abordando la parte energética después, en base a los resultados obtenidos, determinar los puntos débiles de la instalación, por donde se pierde la energía.

ABSTRACT:

This paper arises from a series of related events that have occurred in the world but particularly the same for the case of Spain. Then it deals with the events and repercussions that trigger them.

Firstly, the population has grown in recent decades; it calls for the need to produce a greater variety of food, causing increased pressure on water resources due to increased water consumption, coupled with the scarcity of this resource in our territory. It is unsustainable to cover the increase of these needs, so agriculture, always endeavoring to attain environmental sustainability as well as economic, directs these strategies. We need to be aware that it is conditioned by the scarcity of water resources, in addition to the obligation to monitor and reduce pollution that occurs with these activities, but on the other hand ensuring the economic farm, before this situation is chosen to transform the traditional irrigation (flooding) to a pressurized irrigation (drip or spray), which entails an imminent advantage, such as water reservation, it is clear that from a water viewpoint this new system is more efficient. But there is a energy intensive downside, this is because the water is collected occasionally from great depths, adding to this transport, they are usually long distances, and if it conditions are unfavorable due to topography, where you have to contend with significant slopes to reach all consumer points guaranteeing a minimum pressure, the energy amount needed is considerable.

At first such spending impact on irrigation was not for seen, because this energy has been subsidized through preferential tariffs for irrigation, but in 2009, when releasing the energy price and

the irrigator lost this support, therefore the price has fired electricity bills. This was a serious exploitation of agricultural land, and these energy costs for the farmer represents over 35% of total production, reducing profit margins to historical limits (FENACORE, 2012).

Faced with this problem, where you have systems that require a lot of energy, we must assess whether the energy expended is used efficiently, a fact that in most cases it does not, so you have room for significant improvement. This situation has not been overlooked by the Administration, because, through the Institute for Diversification and Saving of Energy (IDEA), a public company under the General Secretariat of Energy, Ministry of Industry, Tourism and Trade published an energy audit protocol FOR irrigation communities, the same is applied and spread throughout the Spanish territory, being taken as a model in the case of Valencia, which grants allocated through the Valencian Association of Energy (AVEN), within the framework of the Action Plan of the Strategy of Energy Saving and Efficiency 2008-2012 (PAE4 +). Grants will be available for irrigation communities to undertake energy audits, according to the document published by the IDEA. Document that has important limitations that will be reeling over this work.

After analyzing the context of the case, this study aims to contextualize the facts that have been commented on. Starting from this question, what has led to the change in the type of irrigation? Depending the new perspective, increased energy expenditure, and following these facts has led to questions regarding the stakeholders. These irrigators are grouped into communities that manage irrigation water, and lose their preferential rates after freeing the price of energy. On the other hand, when we analyze the problem, first observing the movements that have been made by the Directors, setting a target in the IDEA protocol because it has become a major boom in Spain which offers a full audit, although implementation has a number of limitations, which are analyzed on successive pages, concluding with an assessment of the protocol, to try to see all the present information reflected, we performed a case study, following the energy audit, proposed by the IDEA, seeing that the work is much improved, therefore giving us an alternative approach to the issue.

This new approach is based on a preliminary diagnosis, which is subsequently with a lot of material and data necessary to carry it out, as its foundation and steps to follow in its development. After the application of the system is evaluated, and if it is inefficient, it enters its first performance as a water audit, addressing the energy later, based on the results, determining the weaknesses of the installation, where you lose energy.

RESUM:

El present treball sorgeix a causa d'una sèrie d'esdeveniments lligats, que s'han produït en el món però particularitzant els mateixos per al cas d'Espanya. A continuació es tracta d'ordenar els fets i les repercussions que desencadenen aquests.

En primer lloc, la població ha crescut en les últimes dècades, això obliga a la necessitat de produir un superior nombre d'aliments, provocant una major pressió sobre els recursos hídrics, a causa del augment de consum d'aigua aparellat, unit a l'escassetat del recurs en el nostre territori. Increment insostenible per cobrir aquestes necessitats, de manera que l'agricultura, intentant buscar sempre la viabilitat ambiental tant com l'econòmica, dirigeix les seues estratègies. Conscient que està condicionada pels escassos recursos hídrics, a més davant l'obligació de controlar i disminuir les contaminacions que es produeixen amb la seua activitat, però d'altra banda vetllant per l'econòmica de les explotacions, davant aquesta tessitura s'opta per transformar el reg tradicional (per inundació) a un reg a pressió (degoteig o aspersió), el que comporta un avantatge imminent,

com és l'estalvi d'aigua, queda clar que des d'un punt de vista hídric aquest nou sistema és més eficient. Però hi ha un inconvenient, gasta molta energia, això es deu al fet que l'aigua és captada en ocasions des de grans profunditats, afegint a això el seu transport, normalment són llargues distàncies, i si és condicionant una desfavorable topografia, on cal salvar desnivells importants, per arribar a tots els punts de consum garantint una pressió mínima, el muntant energètic és considerable.

Al principi el regant no veia tal despesa repercutida en la seua factura, ja que aquest consum energètic ha estat subvencionat, a través d'unes tarifes preferents per al regadiu, però és l'any 2009, quan s'allibera el preu de l'energia, i el regant perd aquesta ajuda, com a conseqüència es dispara el preu de la factura elèctrica. Fet que compromet seriosament l'explotació dels terrenys de cultiu, ja que, la despesa energètica suposa per a l'agricultor més del 35% de la producció total, reduint els marges comercials a límits històrics (FENACORE, 2012).

Davant d'aquesta problemàtica, on tenen sistemes que demanen molta energia, cal avaluar si l'energia gastada es fa de forma eficient, fet que en la majoria de casos no és així, amb el que té un marge de millora notable. Situació que no ha passat per alt l'Administració, ja que, a través de l'Institut per a la Diversificació i Estalvi de l'Energia (IDAE), que és una entitat pública empresarial adscrita a la Secretaria General d'Energia del Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç, publica un protocol d'Auditoria energètica en les comunitats de regants, el mateix és aplicat i estès al llarg del territori espanyol, sent pres com a model en el cas de la Comunitat Valenciana, que va destinar ajudes a través de l'Associació Valenciana de l'Energia (AVEN), dins del marc del Pla d'Acció de l'Estratègia d'Estalvi i Eficiència Energètica 2008-2012 (PAE4+). Subvencions destinades a comunitats de regants perquè realitzessin auditories energètiques, seguint el document publicat per l'IDAE. Document que té limitacions importants que s'aniran desgranant al llarg del present treball.

Un cop analitzat el context de l'assumpte, aquest estudi pretén contextualitzar els fets que s'han anat comentant. Començant després de fer aquesta pregunta, Què ha portat a realitzar el canvi en el tipus de reg? Aprofundir en la nova perspectiva, més despesa energètica, després d'aquest fet ¿Què ha suposat per als agents implicats? Aquests són els regants agrupats en comunitats que gestionen l'aigua de reg, i que perden les seues tarifes preferents després alliberar-se el preu de l'energia. D'altra banda analitzar la problemàtica, primer observant els moviments que s'han fet per part de l'Administració, fixant l'objectiu en el protocol de l'IDAE, ja que ha cobrat un auge important a Espanya, el qual proposa una auditoria completa, encara que la seua aplicació compta amb una sèrie de limitacions, que s'analitzen i s'argumenten en pàgines successives, conclouent amb una valoració del protocol, per intentar veure plasmada tota la informació exposada, es realitza un cas d'estudi, seguint l'auditoria energètica, proposada per l'IDAE, avançant ja que el treball realitzat és molt millorable, per aquesta raó se li dona un enfocament alternatiu a l'assumpte.

Aquest nou enfocament parteix d'un primer diagnòstic preliminar, el qual es descriu amb posterioritat tant material i dades necessàries per fer-ho, com el seu fonament i etapes a seguir en el seu desenvolupament. Després de l'aplicació del mateix es valora el sistema, i si aquest és ineficient, s'entra a realitzar una auditoria hídrica primer, abordant la part energètica després, en base als resultats obtinguts, determinar els punts febles de la instal·lació, per on es perd l'energia.

Palabras clave:

Agua/ Energía/ Eficiencia/ Riego/ Auditoria

Key words:

Water/ Energie/ Efficiency/ Irrigation/ Audit

Paraules claus:

Aigua/ Energia/ Eficiència/ Reg/ Auditoria

Formato de etiquetas para los CDs

La Información a incluir en el CD es la siguiente:

Título

Autor

Director/es

Color de la etiqueta TFM tipo A: verde



Color de la etiqueta TFM tipo B: azul



Instrucciones

En _____ puede encontrarse la aplicación [ApliSoftPromotion](#) en formato zip y los modelos de los diferentes tipos de CD:

Tipo A: mihma_CD_Tipo_A [APLI - CD LABEL - Ref 10603].lab

Tipo B: mihma_CD_Tipo_B [APLI - CD LABEL - Ref 10603].lab

Con la aplicación [ApliSoftPromotion](#) pueden abrirse los citados archivos e incluir los datos para después poder imprimir las etiquetas y pegarlas a los 2 CDs que hay que entregar.

ÍNDICE

1. RESUMEN GENERAL.....	9
2. LA TRANSFORMACIÓN DEL REGADÍO.....	12
3. LIBERACIÓN DEL PRECIO DE LA ENERGÍA.....	17
3.1 ANTECEDENTES.....	18
3.2 ESTRUCTURA DE LAS NUEVAS TARIFAS.....	18
3.3 LA ESCALADA DE PRECIOS.....	20
3.4 REPERCUSIÓN EN EL REGANTE.....	21
3.5 CONCLUSIÓN.....	23
4. ESTADO DE LA CUESTIÓN EN ESPAÑA EL PROTOCOLO DEL IDAE.....	25
4.1 ANTECEDENTES.....	26
4.2 VALORACIÓN DEL PROTOCOLO DEL IDAE.....	28
4.3 ANÁLISIS DE LOS DATOS SOLICITADOS POR EL PROTOCOLO DEL IDAE....	30
4.4 APLICACIÓN DEL PROTOCOLO DEL IDAE: CASO DE ESTUDIO.....	44
5. UN ENFOQUE ALTERNATIVO.....	49
5.1 ANTECEDENTES.....	50
5.2 REQUISITOS BÁSICOS PARA PODER REALIZAR EL PRIMER DIAGNÓSTICO....	51
5.3 PRIMER DIAGNÓSTICO.....	54
5.4 AUDITORÍA ENERGÉTICA.....	57
5.5 CONCLUSIÓN.....	62
6. CONCLUSIONES.....	64
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. TERRENO CON GRANDES PENDIENTES.....	13
FIGURA 2. COMPARATIVA DE UN RIEGO CONVENCIONAL Y UN RIEGO POR GOTEO.....	14
FIGURA 3. GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA TARIFA DE TRES PERÍODOS.....	19
FIGURA 4. GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN HORARIA DE LA TARIFA DE SEIS PERÍODOS.....	20
FIGURA 5. GRÁFICO DEL AUMENTO EN EL PRECIO DE LA POTENCIA.....	21
FIGURA 6. PORTADA DE LAS PUBLICACIONES DEL IDAE.....	27
FIGURA 7. PORTADA DEL PROTOCOLO DE AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL IDAE.....	27
FIGURA 8. ESQUEMA DE LOS REQUISITOS PREVIOS A UNA AUDITORÍA ENERGÉTICA.....	28
FIGURA 9. EJEMPLO DE RED DE RIEGO INTRODUCIDO EN EL SOFTWARE EPANET, PARA SU POSTERIOR ANÁLISIS.....	32
FIGURA 10. ESQUEMA DE LA RED QUE SE UTILIZA PARA LA AUDITORÍA.....	44
FIGURA 11. EXTERIOR DE UN POZO DE RIEGO.....	50
FIGURA 12. EQUIPOS DE BOMBEO DE UNA INSTALACIÓN.....	50
FIGURA 13. EMBALSE DE RIEGO.....	50
FIGURA 14. CASETA DE CONTADORES DE RIEGO.....	52
FIGURA 15. MANÓMETRO.....	52
FIGURA 16. EXTRACTO DE FACTURA MENSUAL PERTENECIENTE A UNA COMUNIDAD DE REGANTES.....	52
FIGURA 17. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA HIDRÁULICA.....	53
FIGURA 18. TERRENO MONTAÑOSO DISPUESTO EN BANCALES.....	58
FIGURA 19. TERRENO LLANO DONDE LOS CULTIVOS SE HALLAN EN UN VALLE.....	59
FIGURA 20. INDICADORES DE LA INFORMACIÓN DEL CONTEXTO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. EVOLUCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA Y DE ENERGÍA EN EL RIEGO EN ESPAÑA.....	14
TABLA 2. MEDIDAS DE AHORRO PROPUESTAS EN LA AUDITORÍA ENERGÉTICA, A LAS INSTALACIONES DE UNA COMUNIDAD DE REGANTES DE LA CV.....	41
TABLA 3. MEDIDAS DE MEJORA EN LOS EQUIPOS, PROPUESTAS EN LA AUDITORÍA ENERGÉTICA, A LAS INSTALACIONES DE UNA COMUNIDAD DE REGANTES DE LA CV.....	42
TABLA 4. EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL BOMBEO PARA LA RED CASO DE ESTUDIO.....	45
TABLA 5. PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE LA ENERGÍA INICIAL DEL AGUA	46
TABLA 6. PARÁMETROS PARA EL CÁLCULO DE LA ENERGÍA DEMANDADA POR EL SISTEMA.....	46

Capítulo 1

Resumen general

1. Resumen general

El presente trabajo surge debido a una serie de acontecimientos ligados, que se han producido en el mundo pero particularizando los mismos para el caso de España. A continuación se trata de ordenar los hechos y las repercusiones que desencadenan éstos.

En primer lugar, la población ha crecido en las últimas décadas, ello obliga a la necesidad de producir un superior número de alimentos, provocando una mayor presión sobre los recursos hídricos, debido al aumento de consumo de agua aparejado, aunado a la escasez del recurso en nuestro territorio. Incremento insostenible para cubrir tales necesidades, con lo que la agricultura, tratando de buscar siempre la viabilidad ambiental tanto como la económica, dirige sus estrategias. Pero esta viabilidad ambiental pasa por controlar y limitar el consumo de agua, así como, por la obligación de vigilar y disminuir las contaminaciones que se producen por el desarrollo de la actividad. Actividad que no tiene ningún sentido sino es rentable económicamente.

Esta tesitura ha conducido a transformar el riego tradicional (por inundación) a un riego a presión (goteo o aspersión), lo que conlleva una ventaja inminente, el ahorro de agua. Queda claro que desde un punto de vista hídrico que este nuevo sistema es más eficiente. Pero existe un inconveniente, gasta mucha energía, ello se debe a que el agua es captada en ocasiones desde grandes profundidades, añadiendo a esto su transporte, normalmente son largas distancias, y si es condicionante una desfavorable topografía, donde hay que salvar desniveles importantes, para llegar a todos los puntos de consumo garantizando una presión mínima, el montante energético es considerable.

Al principio el regante no veía tal gasto repercutido en su factura, ya que este consumo energético ha estado subvencionado, a través de unas tarifas preferentes para el regadío, pero es en el año 2009, cuando se libera el precio de la energía, y el regante pierde esta ayuda, como consecuencia se dispara el precio de la factura eléctrica. Hecho que compromete seriamente la explotación de los terrenos de cultivo, ya que, el gasto energético supone para el agricultor más del 35% de la producción total, reduciendo los márgenes comerciales a límites históricos (FENACORE, 2012).

Ante esta problemática, donde se tienen sistemas que demandan mucha energía, hay que evaluar si la energía gastada se hace de forma eficiente, hecho que en la mayoría de casos no es así, con lo que se tiene un margen de mejora notable. Situación que no ha pasado por alto la Administración, ya que, a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), que es una entidad pública empresarial adscrita a la Secretaría General de Energía del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, publica un protocolo de Auditoría energética en las comunidades de regantes, el mismo es aplicado y extendido a lo largo del territorio español, siendo tomado como modelo en el caso de la Comunidad Valenciana, que destinó ayudas a través de la Asociación Valenciana de la Energía (AVEN), dentro del marco del Plan de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética 2008-2012 (PAE4+). Subvenciones destinadas a comunidades de regantes para que realizaran auditorías energéticas, siguiendo el documento publicado por el IDAE. Documento que tiene limitaciones importantes que se irán desgranando a lo largo del presente trabajo.

Una vez analizado el contexto del asunto, este estudio pretende contextualizar los hechos que se han ido comentando. Comenzando tras hacerse esta pregunta, ¿Qué ha llevado a realizar el cambio en el tipo de riego? Profundizar en la nueva perspectiva, mayor gasto energético, tras

este hecho ¿Qué ha supuesto para los agentes implicados? Estos son los regantes agrupados en comunidades que gestionan el agua de riego, y que pierden sus tarifas preferentes tras liberarse el precio de la energía. Por otro lado analizar la problemática, primero observando los movimientos que se han hecho por parte de la Administración, fijando el objetivo en el protocolo del IDAE, ya que ha cobrado un auge importante en España, el cual propone una auditoría completa, aunque su aplicación cuenta con una serie de limitaciones, que se analizan y se argumentan en páginas sucesivas, concluyendo con una valoración del protocolo, para intentar ver plasmada toda la información expuesta, se realiza un caso de estudio, siguiendo la auditoría energética, propuesta por el IDAE, adelantando ya que el trabajo realizado es muy mejorable, por esta razón se le da un foque alternativo al asunto.

Este nuevo enfoque parte de un primer diagnóstico preliminar, el cual se describe con posterioridad tanto material y datos necesarios para llevarlo a cabo, como su fundamento y etapas a seguir en su desarrollo. Tras la aplicación del mismo se valora el sistema, y si éste es ineficiente, se entra a realizar una auditoría hídrica primero, abordando la parte energética después, en base a los resultados obtenidos, determinar los puntos débiles de la instalación, por donde se pierde la energía.

Capítulo 2

La transformación del regadío

2. La transformación del regadío

Una vez explicado el contexto de partida, el presente trabajo surge debido a la gran demanda de agua y de energía asociada, que solicita el regadío, sabiendo de la escasez del recurso y de la creciente concienciación pública.

Las mismas razones explican hoy, que la irrigación, actividad responsable de tres cuartas partes del consumo de agua dulce, se enfrente al reto más difícil de su historia: producir cada día una cantidad mayor y mejor de alimentos con una cantidad menor de agua. Uno de los referentes mundiales del riego es sin duda España. Su reciente transformación histórica, desde 1950, ha estado motivada precisamente por los cambios en nuestra visión social sobre el agua (López Estebaranz, 2007).

Los nuevos regadíos se han implantado en terrenos generalmente menos adecuados productivamente, situados a mayores cotas y distancias del punto de captación, generalmente en terrenos con pendiente y con un uso cada vez más intensivo de las aguas subterráneas, como se observa en la siguiente imagen.



Figura 1. Terreno con grandes pendientes

La tecnología del riego ha requerido en la mayoría de los casos importantes aportes de energía para la elevación, transporte y distribución del agua (Corominas, 2009), este hecho ligado al aumento de las explotaciones agrícolas, ha propiciado que sea necesario aumentar la demanda de agua, algo que es insostenible con los métodos tradicionales de riego (por gravedad), lo que impulsó al cambio, transformando el riego por gravedad a presión (generalmente por goteo). En la figura número dos se muestran dos terrenos con diferentes tipos de riego, a la izquierda

2. La transformación del regadío

inundación y a la derecha goteo.



Figura 2. A la izquierda un riego convencional y a la derecha un riego por goteo.

Los apoyos públicos al regadío en los últimos 15 años se han dedicado en su mayor parte a la modernización de regadíos, con la consiguiente mejora de la eficiencia hídrica, lo que reduce la vulnerabilidad ante los años de escasez de aguas, pero comporta también la progresiva distribución del agua de riego a presión, a través de conducciones cerradas, y la implantación de sistemas de riego por aspersión o localizados, con aumento del consumo energético (Corominas, 2009).

Como ventaja, se obtiene una mejora de la eficiencia, ya que, se riegan más cultivos con menos agua, de hecho se ha aumentado en 2.5 veces la superficie de riego, pero el consumo de agua sólo se ha duplicado. Como se refleja en la tabla 1 adjunta.

EVOLUCION DEL CONSUMO DE ENERGIA PARA RIEGO EN ESPAÑA				
AÑO	SUPERF. (MILES HA)	USO DE AGUA (HM3.)	CONSUMO DE AGUA (HM3)	CONSUMO DE ENERGIA (GWH)
1900	1000	9000	5400	0
1930	1350	12150	7594	182
1940	1500	12750	8288	191
1950	1500	12375	8353	309
1970	2200	17600	12320	1056
1980	2700	20925	14648	2093
1990	3200	24000	17400	3480
2000	3410	23870	18499	4893
2007	3760	24440	20163	5866
2007/ 1950	2,5	2,0	2,4	19,0

Tabla 1.- Evolución del consumo de agua y de energía en el riego en España (Corominas, 2009).

2. La transformación del regadío

Lo que llama la atención de la tabla 1, es el gasto energético, se ha multiplicado por 19, ya que, el riego por gravedad no lleva aparejado ningún consumo energético, en cambio, el riego localizado sí, por una parte debido al bombeo, y por la otra transportar el agua a cabeza de parcela con una presión. El uso que se da de la energía se divide entre el suministro y la distribución, donde el bombeo de agua subterránea representa el 30% del total de consumo de energía, mientras el 70% restante está ligado a la distribución del agua a presión por la red de riego.

El gasto energético desde hace unos años, debido a la liberación del precio de la energía, asunto clave que en el posterior apartado se profundiza, además de ello, aunado al aumento del IVA, ha cobrado una relevancia tal, que se ha convertido casi en una obsesión la forma de reducirlo. En ocasiones, hasta se compromete la sostenibilidad económica de la explotación agronómica.

Hay dos caminos para ahorrar energía, el primero de los cuales pasa obviamente por disminuir el consumo de agua, si gastas menos agua gastas menos energía naturalmente. El segundo va enlazado con la optimización del diseño y manejo de la red de riego desde el punto de vista energético. En consecuencia, las estrategias deben ir dirigidas a no usar más agua de la estrictamente necesaria y evitar las pérdidas de agua.

El margen de mejora es muy amplio, recientes estudios así lo constatan, como ejemplos, se menciona el realizado en los pozos de riego en California (*Characterization of pumps for irrigation in central California: Potential energy savings. Journal of Irrigation and Drainage ASCE*, Septiembre de 2012), pone de manifiesto que es posible que en la inmensa mayoría de bombeos la capacidad de mejora sea notable. De hecho, en media, el rendimiento real se sitúa en torno al 50%. La mejora posible es, pues, de no menos de un 25%. Pero no solo en Estados Unidos. La misma Unión Europea publicó el pasado 25 de junio de 2012 el REGLAMENTO nº 547/2012 por el que se aplica la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para las bombas hidráulicas, determina que los sistemas de bombeo tienen un potencial total de mejora rentable del rendimiento energético de entre el 20 y el 30%, además de reducir las emisiones de CO₂, el consumo de electricidad en la fase de funcionamiento puede mejorarse de forma significativa.

Recientemente se publica la DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012, que reza por afrontar los nuevos retos sabiendo de la creciente dependencia de las importaciones de energía y a la escasez de recursos energéticos, así como a la necesidad de limitar el cambio climático y superar la crisis económica, para ello insta al cambio a una economía más eficiente en el consumo de energía, donde se debe acelerar la difusión de soluciones tecnológicas innovadoras y mejorar la competitividad de la industria de la Unión, impulsando el crecimiento económico y creando empleos de alta calidad en varios sectores relacionados con la eficiencia energética. Para este fin se destinarán 26.000 millones de euros para el conjunto de España, a través de los fondos estructurales para un período de 7 años (2014-2020), de esta cifra el 20% del FEDER se va a dedicar a proyectos de eficiencia energética y energías renovables.

Tras lo expuesto con anterioridad, queda de manifiesto la necesidad de realizar auditorías hídricas, que ayuden a las comunidades de regantes a ser eficientes, pero antes de hacer un análisis exhaustivo del sistema, lo cual en ocasiones es contraproducente, lo que aquí se

2. La transformación del regadío

propone es realizar un primer diagnóstico de la red, de forma rápida para determinar el margen de mejora que se puede conseguir. Si es conveniente se entra en profundidad, tras observar un margen de mejora razonable además de analizar si los beneficios a alcanzar superan los costes. Determinando las acciones y procesos dirigidos a optimizar la red pero siempre desde un enfoque global, hidráulico-energético.

Capítulo 3

La liberación del precio de la energía

3. La liberación del precio de la energía

3.1 Antecedentes

Este apartado cobra relevancia debido a la transformación de los terrenos pasan de seco a regadío, este hecho lleva aparejado un aumento de energía en las instalaciones de riego para el funcionamiento de los equipos de bombeo, suceso que repercute en la problemática del regante, debido a la retirada de subvención por parte del Gobierno de España, en los últimos años.

Para introducir el tema, hay que situarse en el tiempo. Las tarifas eléctricas de alta tensión desaparecieron el 1 de julio de 2008, y las tarifas de baja tensión el 1 de julio de 2009, por lo que ya no existe la posibilidad de seguir contratando a tarifa con la empresa distribuidora, tal como se hacía históricamente. Todos los consumidores están obligados a buscar un contrato de suministro en el mercado libre, hecho que repercute de forma negativa en el regante, como se argumenta en líneas posteriores.

La liberalización persigue una mayor eficiencia en las inversiones y la operación de los sistemas eléctricos, con el objetivo de reducir los costes. El resultado final debe ser la reducción del precio que los usuarios finales pagan por la electricidad y el incremento en la calidad y fiabilidad del suministro.

Esta reestructuración del sector eléctrico ha significado el paso de una estructura vertical, donde todas las actividades estaban agrupadas, a otra organización donde generación, transporte, distribución y comercialización operan independientemente. La generación y la comercialización de electricidad se realizan en competencia en el nuevo mercado eléctrico, mientras que el transporte y la distribución se mantienen como actividades en monopolio reguladas por el Gobierno.

En el marco legal actual del sector eléctrico español todos los consumidores pueden elegir libremente su suministrador de electricidad (negociando su contrato con una empresa comercializadora de energía) o comprar directamente la energía en el mercado de producción. En cualquier caso es obligatorio, el pago adicional al de la energía comprada en el mercado horario de producción, de un peaje o tarifa de acceso a las redes eléctricas de las empresas de transporte y distribución, regulado por el Gobierno (Yusta, 2011).

Tras el cambio tarifario, el escenario al que se enfrentan las comunidades de regantes es distinto, por ello se trata de explicar en líneas sucesivas, como se presentan las nuevas tarifas eléctricas, tratando de arrojar luz a la incertidumbre creada en el momento.

3.2 Estructura de las nuevas tarifas

Las tarifas mantienen la estructura binómica, por un lado está el término de potencia, el cual se sigue regulando por el Ministerio de Industria, se publica en los BOE y se actualiza semestralmente. Por el otro lado el término de energía, que se negocia en mercado libre, también con una vigencia de aproximadamente seis meses.

3. La liberación del precio de la energía

El término de potencia es un gasto fijo, generalmente en las comunidades de regantes se factura en función de la superficie de cada regante. El término de energía es un gasto variable, y se factura en función del consumo de agua, tiene más peso dentro del importe total de la factura alrededor del 85% (Ederra et al., 2010). Este valor va destinado a las compañías comercializadoras. El coste energético variará sustancialmente si el consumo de energía se realiza en los periodos más baratos (normalmente noches y fines de semana), que es lo que se contempla en la componente de discriminación horaria. La componente reactiva, también denominada energía reactiva, factor de potencia o coseno de φ (aunque no es lo mismo), es un coste derivado del transporte de la energía por la red eléctrica. La energía reactiva no es útil y es generada por los campos magnéticos de las bobinas de los motores. Las compañías distribuidoras penalizan por la energía reactiva que produzca una instalación.

El coste del término de potencia y de la energía, así como el de la penalización por energía reactiva, está gravado por el impuesto sobre la electricidad y el resultado, junto con el alquiler del equipo de medida (contador) está gravado por el IVA. (SIAR, 2009).

Pero esta nueva situación obliga a las comunidades de regantes a elegir la contratación en función de la potencia que se vaya a contratar. Así para potencias inferiores a 450 kW se deberá contratar la tarifa 3.1A y para potencias superiores a 450 kW se deberá contratar la tarifa 6. Además, ambos tipos de tarifa se diferencian en el número de periodos de discriminación horaria que establecen y en los precios de energía y contratación de potencia establecidos para cada uno de estos periodos (Fig. 3 y 4).

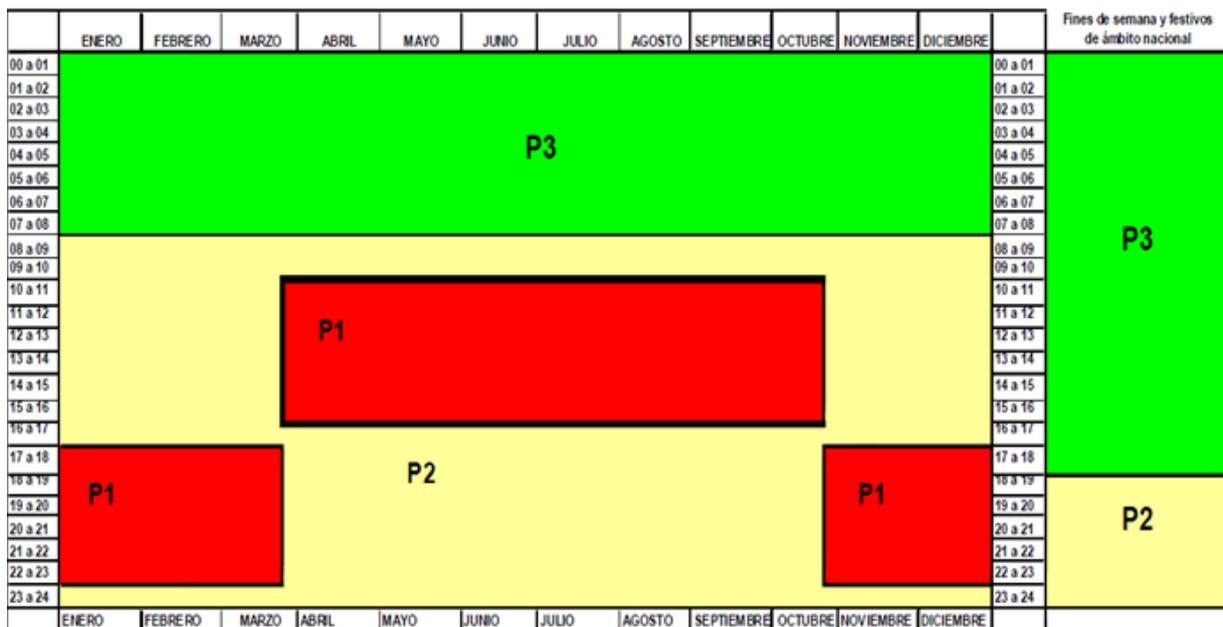


Figura 3. Distribución horaria de la tarifa de tres periodos (ORDEN ITC/2794/2007).

3. La liberación del precio de la energía

		TEMPORADA ALTA		T.MEDIA	TEMPORADA BAJA		T.M.	T.ALTA		T.BAJA	T.MEDIA	T.BAJA	T.MEDIA	T.ALTA		
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE		
00 a 01	Se incluirán en el periodo 6 todas las horas de sábados, domingos y festivos nacionales														00 a 01	
01 a 02	P6														01 a 02	
02 a 03	P6														02 a 03	
03 a 04	P6														03 a 04	
04 a 05	P6														04 a 05	
05 a 06	P6														05 a 06	
06 a 07	P6														06 a 07	
07 a 08	P6														07 a 08	
08 a 09	P2	P4	P5	P5	P4	P2	P4	P5	P4	P2	P1	P2	P1	P2	08 a 09	
09 a 10	P1	P4	P5	P5	P3	P1	P4	P5	P4	P1	P2	P1	P2	P1	09 a 10	
10 a 11	P1	P4	P5	P5	P3	P1	P4	P5	P4	P1	P2	P1	P2	P1	10 a 11	
11 a 12	P1	P4	P5	P5	P3	P1	P4	P5	P4	P1	P2	P1	P2	P1	11 a 12	
12 a 13	P1	P4	P5	P5	P3	P1	P4	P5	P4	P1	P2	P1	P2	P1	12 a 13	
13 a 14	P2	P4	P5	P5	P3	P1	P4	P5	P4	P1	P2	P1	P2	P1	13 a 14	
14 a 15	P2	P4	P5	P5	P3	P1	P4	P5	P4	P1	P2	P1	P2	P1	14 a 15	
15 a 16	P2	P4	P5	P5	P3	P1	P4	P5	P4	P1	P2	P1	P2	P1	15 a 16	
16 a 17	P2	P4	P5	P5	P3	P1	P4	P5	P4	P1	P2	P1	P2	P1	16 a 17	
17 a 18	P2	P4	P5	P5	P3	P1	P4	P5	P4	P1	P2	P1	P2	P1	17 a 18	
18 a 19	P2	P4	P5	P5	P3	P1	P4	P5	P4	P1	P2	P1	P2	P1	18 a 19	
19 a 20	P2	P4	P5	P5	P3	P1	P4	P5	P4	P1	P2	P1	P2	P1	19 a 20	
20 a 21	P2	P4	P5	P5	P3	P1	P4	P5	P4	P1	P2	P1	P2	P1	20 a 21	
21 a 22	P2	P4	P5	P5	P3	P1	P4	P5	P4	P1	P2	P1	P2	P1	21 a 22	
22 a 23	P2	P4	P5	P5	P3	P1	P4	P5	P4	P1	P2	P1	P2	P1	22 a 23	
23 a 24	P2	P4	P5	P5	P3	P1	P4	P5	P4	P1	P2	P1	P2	P1	23 a 24	
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	1 al 15	16 al 30	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE		

Figura 4. Distribución horaria de la tarifa de seis periodos (ORDEN ITC/2794/2007).

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 (IDAE, 2008).

La contratación en el libre mercado ha supuesto un desembolso mayor para las entidades gestoras del riego, en el siguiente apartado se explica, en primer lugar como se ha disparado el precio de la energía, tras la supresión de las subvenciones al regadío, y los ajustes que tienen que hacerse para tratar de consumir la energía, siempre que sea posible aprovechando las horas valle, donde el precio energético es menor. Además de ello en las tarifas generales, los términos de potencia son más elevados.

3.3 La escalada de precios

Como se ha comentado con anterioridad en julio de 2008, se cambian las tarifas, y es en este momento cuando se produjo el gran salto, el precio se multiplicó por 3.5, y cada seis meses no han parado de producirse incrementos, (Ederra et al., 2010). En la figura 5 se recoge esta apreciación, donde en tan sólo dos años el incremento fue del 567%.

3. La liberación del precio de la energía

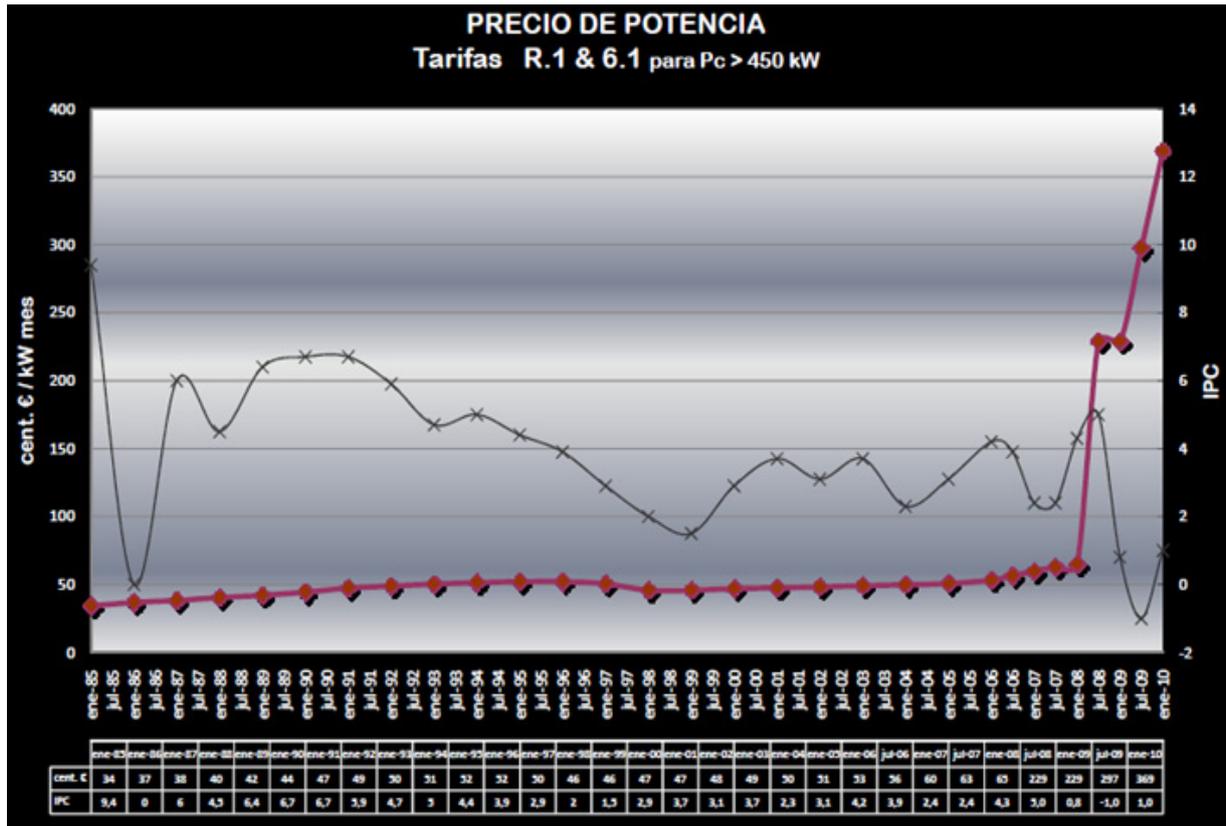


Figura 5. Aumento precio de la potencia, (Fuente SAR de Navarra).

Respecto al precio de la energía, según datos presentados por FENACORE, en julio de 2009 el precio de la electricidad se encareció un 30% adicional, al que hay que sumar otro 20 % más desde enero de 2010. En agregación, está la subida del IVA del pasado verano (2012). El consumo de electricidad representa más del 35% de los costes de producción del sector y el 1,2% del consumo de energía eléctrica del país.

La entrada en el libre mercado, ha repercutido negativamente en el comunero, que no tiene elección y se ve abocado a una situación complicada, como se expone en líneas sucesivas.

3.4 Repercusión en el regante

Para incentivar el cambio de las tarifas especiales de riego al mercado libre, se estableció un periodo de transición en el cual las tarifas especiales de riego pasaban directamente a la tarifa general 3.02, y cada mes que trascurriese sin realizar el contrato al mercado libre, se cargaba un 5% sobre el precio base de la energía y el término de potencia (a su vez gravado por el IVA), este hecho propició varios problemas en las comunidades de regantes, a continuación se enumeran:

- En primer lugar el cambio debía ser inmediato para no tener recargo en la factura, pero las comunidades no lo hicieron, ya que, esperaban una moratoria que parara la entrada en el libre mercado. La consecuencia de estos retrasos debido a la falta de información que

3. La liberación del precio de la energía

se vivió en el momento, propició que muchos montantes fuesen desorbitados.

- Se produjo una confusión en los calendarios y no adecuación de los bombeos a los nuevos calendarios y a sus modificaciones, repercutiendo en un aumento del precio de la factura (Ederra et al., 2010).

- La necesidad de contratar la potencia máxima, aunque sea por lapsos pequeños de tiempo, provoca que el término fijo de la factura, con estos nuevos precios, se dispare, independientemente de si se consume o no.

- Malas negociaciones en el libre mercado. Los agentes de decisión de las comunidades de regantes desconocen el mercado. No se presta atención al período P6, que es el que tiene más peso en el precio final de la factura.

- Las empresas suministradoras presentan ofertas difíciles de interpretar y también difícil de comparar debido a sus diferentes formatos (con IVA, sin él, variabilidad a lo largo de los seis períodos), todo esto aunado a las grandes penalizaciones en los términos de potencia.

La tarifa especial para el sector mantenía los costes energéticos en niveles razonables, cuestión básica para garantizar la viabilidad de las inversiones en modernización y reestructuración de los regadíos. Todos los agentes del sector coinciden en afirmar que los supuestos beneficios de la liberalización del mercado de la electricidad (vía reducción de precios) no han llegado al campo. Aunque el cambio de tarifas eléctricas, junto con la situación de las oscilaciones de precio en los mercados internacionales de los productos agrarios, si que está afectando a la economía del agricultor de regadío (SIAR, 2009).

Es muy importante destacar que la contratación de potencia en cada periodo tarifario debe ajustarse a las necesidades de riego, considerando la potencia de los equipos instalados y su simultaneidad en el manejo, para así minimizar el coste fijo de la factura.

Las actuales tarifas de riego mantienen el suplemento por energía reactiva, pero desaparecen las bonificaciones que existían anteriormente con las antiguas tarifas de riego, de forma que con las nuevas tarifas sólo puede existir recargo, pero nunca bonificación o descuento.

Desde la administración se trata de ayudar en la gestión eficiente, a las entidades de riego a la hora de estudiar la tarifa eléctrica más ajustada a la potencia demandada y consumo real (IDAE, 2008).

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.

3.5 Conclusión

Tras exponer los hechos, que han llevado al regante a la situación actual, donde pierde sus derechos preferentes y debe contratar la energía en el mercado libre, así como lo que le ha supuesto al mismo, cabe extraer una serie de conclusiones.

En primer lugar, al cambiar el panorama y verse obligado a acogerse a las tarifas del mercado, que anteriormente se han comentado. 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.

Decir que 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 rieguen en horas punta.

Como recomendaciones para llevar a cabo una adecuada contratación del suministro eléctrico pueden destacarse:

- Contratar, para cada periodo tarifario, la potencia que realmente se va a utilizar de forma simultánea y no la potencia total instalada, de forma que mensualmente se podrá reducir la cuota fija que se paga por contratación de potencia. No obstante, no puede perderse de vista la penalización que supone absorber más potencia que la contratada en cada periodo, especialmente en la tarifa de seis periodos.
- Ajustar en todo lo posible el funcionamiento de la instalación de riego a los periodos tarifarios de menor coste de la energía.
- Reducir la energía reactiva producida por la instalación incorporando la correspondiente batería de condensadores en aquellas líneas eléctricas que alimentan a los grupos de impulsión, y realizar su adecuado mantenimiento.

La solución planteada recientemente (Marzo de 2013) por la Federación Nacional de Comunidades de Regantes (FENACORE), resulta interesante al igual que abre una puerta al problema, la misma insiste en la puesta en marcha de fórmulas que permitan asumir los costes energéticos de acuerdo a la potencia real registrada y no por la máxima teórica contratada, para no tener que pagar por un servicio que no se utiliza fuera de la campaña de riego.

También se ha propuesto como alternativa despenalizar el uso de las tarifas de temporada o poder firmar más de un contrato por año: uno anual con una mínima potencia para

3. La liberación del precio de la energía

el suministro básico del mantenimiento de los equipos y otro de temporada para los meses de máximo consumo (meses de riego).

Dado que las medidas solicitadas para hacer más llevaderos los gastos energéticos no terminan de encontrar una respuesta por parte del Ejecutivo, los regantes han optado por agruparse en una central de compras que permitirá ahorrar entre un 10% y un 14% anual en electricidad.

Esta medida hará posible que, en principio, la más de una treintena de comunidades de regantes adheridas hasta la fecha adquirirán a un precio más competitivo un volumen de 100 gigavatios hora (GWh) al año, con el que podrán suavizar el incremento de los costes energéticos.

Capítulo 4

El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

4.1 Antecedentes

En los últimos años en España, ha crecido la concienciación del uso racional del agua en materia agrícola y de la energía, cuyo gasto va ligado. Pero más si cabe tras la liberalización del mercado, con la consabida finalización de las ayudas al regadío, ha provocado que el tema de la eficiencia energética sea de una importancia vital. Controlar este gasto permite facilitar la competitividad de las explotaciones agrarias, por ello se han afanado a tratar de paliar el problema los servicios de asesoramiento y ayuda al regante.

Concretando en la situación actual, decir que el regadío es el segundo consumidor de electricidad por detrás de Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF), datos del año 2009 suministrados por FENACORE. Otro dato de interés es que el gasto eléctrico representa ya el 35% de los costes del regadío.

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente a través de la Sociedad Estatal de Infraestructuras Agrarias (SEIASA), tiene entre sus fines conseguir el objetivo fundamental: “minimizar costes a las Comunidades de Regantes”, a través de negociaciones con las comercializadoras energéticas del mercado. Por otra parte desarrolla y colabora en varios proyectos de I+D+i relacionados con su objeto social con el fin de obtener avances tecnológicos aplicables a los nuevos proyectos de infraestructuras y a la mejora de la explotación de las infraestructuras modernizadas.

El Consejo de Ministros aprueba el 20 de julio de 2007 el Plan de Acción, para el periodo 2008-2012, de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012. Para llevar a cabo este plan, cuenta principalmente con su organismo adscrito IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), que pretende mediante un conjunto de actuaciones encaminadas a la diversificación energética a través de fuentes renovables conseguir un ahorro de energía. Estas medidas están agrupadas en el Plan de Energías Renovables 2005-2010 y 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 (IDAE, 2008).

El instituto aparte de las medidas citadas anteriormente, ha llevado a cabo una serie de publicaciones, como se muestra en la imagen (figura 6), dirigidas a los agricultores y técnicos para el ahorro y la eficiencia energética en el manejo de las explotaciones agropecuarias. Se destaca y se analiza críticamente con posterioridad en el presente trabajo, el protocolo de auditoría energética en comunidades de regantes, ya que, el mismo es objeto de análisis en éste estudio.

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE



Figura 6. Publicaciones del IDAE

IDAE pretende que este protocolo de auditoría energética sea una herramienta útil para valorar y reducir, en su caso, el consumo energético y económico de las explotaciones agrícolas en regadíos. En la imagen inferior se muestra la portada del protocolo.



Figura 7. Portada del Protocolo de Auditoría Energética del IDAE

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

Se centra en las comunidades de regantes, ya que son las entidades que van a gestionar los abastecimientos de agua, su tarea es distribuir este bien de forma coherente y eficiente, debido al valor intrínseco que posee, considerando además su gran escasez, sin olvidar que es un patrimonio público. Su formación es esencial, y controlar como reparten el agua es vital, para premiar o penalizar en su defecto a estas comunidades de regantes.

El protocolo ha cobrado gran importancia en el territorio español, ya que, al contar con el apoyo del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, su repercusión se extiende a nivel nacional, varias Comunidades Autónomas han subvencionado la realización de auditorías energéticas en instalaciones de riego. Se pone como ejemplo la Comunidad Valenciana, que a través de la Agencia Valenciana de la Energía (AVEN), destinó ayudas en noviembre de 2011 a las comunidades de regantes, para realizar auditorías completas en las instalaciones de riego, siguiendo el protocolo publicado por el instituto IDAE.

4.2 Valoración del protocolo IDAE

Tras analizarse en profundidad el protocolo de auditoría energética en comunidades de regantes, realizado por el IDAE, y teniendo en consideración la gran repercusión que está teniendo, ya que, a nivel nacional, su seguimiento es notable. El presente estudio, trata de realizar una crítica sobre el mismo.

En primer lugar el protocolo trata de diagnosticar los puntos débiles de menor eficiencia de la comunidad de regantes y proponer así soluciones de mejora energética de la misma, sin embargo antes de centrarse en puntos concretos, el problema es global y hay que resolverlo primero desde un punto de vista hidráulico. La auditoría energética requiere de un balance de agua previo y del modelo matemático de la red, así se muestra en la figura número 8.

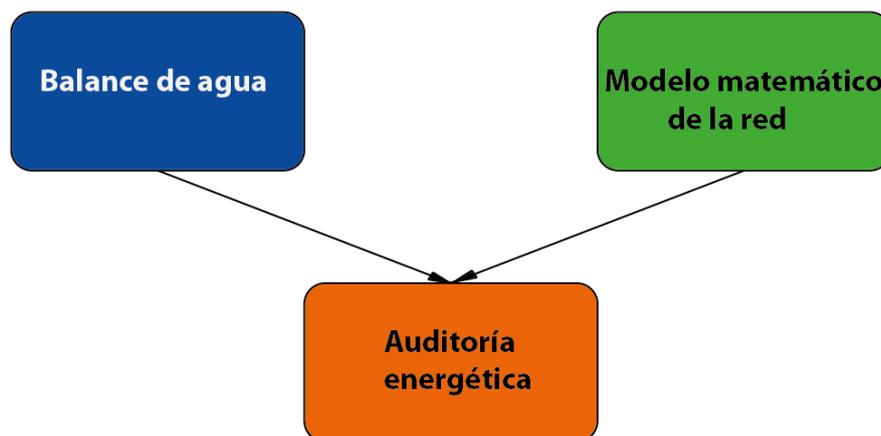


Figura 8. Requisitos previos a una auditoría energética

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

El protocolo se centra en el ahorro energético, sobre todo de la eficiencia energética de los bombeos, pero los bombeos sólo representan el 30% del consumo de energía, el 70% está asociado a la distribución del agua por las redes presurizadas (Pardo et al., 2013), por ello la importancia vital de tener el modelo matemático de la red. Al centrarse solamente en la eficiencia energética de los bombeos, obviando la parte hidráulica, puede darse el caso que un bombeo esté trabajando perfectamente y con una eficiencia energética muy buena, pero en cambio, esté dando más presión de la estrictamente necesaria, con lo cual en conjunto se está trabajando ineficientemente, esta es una carencia muy significativa del protocolo, ya que, agua y energía van ligadas, no se pueden desacoplar. Si se trata de optimizar el sistema, se debe analizar en su conjunto, no centrarse en la parte energética sin contemplar la hidráulica.

A lo largo de la auditoría se recaba información detallada, tanto de la infraestructura como del funcionamiento de las comunidades de regantes, pero posteriormente esa información no es utilizada para analizar, si hidráulicamente se está siendo eficiente. Es necesario como se ha comentado con anterioridad, tener el modelo de la red para poder contemplar las posibilidades de mejora del sistema.

El protocolo establece un balance energético, a partir de la diferencia entre la energía inicial con la que el agua entra al sector hidráulico independiente o a toda la comunidad de regantes y la energía que demanda el sistema de riego abastecido por dichos recursos para toda la comunidad de regantes. La energía demandada por el sistema, según el protocolo, está ligada a la superficie, lo cual es una inexactitud, porque admite un riego uniforme en toda la superficie considerada, en ocasiones no es así, como es el caso de la existencia de parcelas abandonadas, por lo tanto no reciben riego, también que la superficie esté ocupada por distintos tipos de cultivos, provoca un cambio en la demanda de agua, ya no es uniforme. Por todo ello, la energía demandada, coincidiendo con la energía inicial, debe medirse volumétricamente y la misma tiene que ir ligada a los consumos de las parcelas de riego. Por otro lado el balance no discrimina la energía útil que se entrega a los usuarios, ni tampoco la salida de energía a través de las fugas.

Las pérdidas de carga en el transporte desde el punto de captación a la comunidad de regantes y el punto de descarga en la parcela de riego, se estiman en 10 metros, no se puede aplicar un valor genérico, ya que, va a variar de forma significativa de una red a otra. La pérdida de energía está asociada a dos términos diferentes, el primero de ellos, es el agua perdida en fugas y el segundo energía disipada en la fricción, debido al caudal adicional necesitado para compensar las fugas, a la vez que entregar las demandas (Cabrera et al., 2010). En estas pérdidas intervienen distintos elementos que el protocolo ni siquiera cita, tales como, tuberías, válvulas de control e hidrantes, además de estos elementos, también se debe tener en cuenta el tipo de riego, esto es, nivel de flexibilidad del mismo, puede ser un riego a la demanda, totalmente flexible, lo cual provoca un aumento de estas pérdidas, al haber un mayor caudal circulante en la red, o por el contrario un riego por turnos, totalmente estricto, que provoca una mayor uniformidad en las presiones y caudales, reduciendo así las pérdidas.

El protocolo es demasiado largo y tortuoso, se pide información en exceso, la mayor parte de ella irrelevante, posteriormente se detalla, asimismo muchos de los datos e indicadores recogidos, no se procesan, ni se utilizan, lo cual alarga el desarrollo innecesariamente. Es esencial que los indicadores informen sobre cómo la energía es usada a lo largo del proceso de distribución, ya que, es el objetivo final de la auditoría energética. En el protocolo del IDAE falta

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

la comparación de los indicadores, con algo general, para saber la situación real del sistema.

Por todo ello se propone en vez de una auditoría completa, exhaustiva y desacoplada la parte energética de la hidráulica, un primer diagnóstico para ver la eficiencia de la instalación, mucho más simple y rápido. Este análisis tiene varias ventajas, destacando su sencillez y rapidez, además si la instalación es eficiente, se habrá acabado el proceso, en cambio, si es ineficiente, ya se entra a realizar un análisis coste-beneficio, si merece la pena se realiza una auditoría hídrica completa, determinando las posibles causas, pero analizando el sistema como un todo, funcionamiento hidráulico que lleva ligado el término energético.

4.3 Análisis de los datos solicitados por el protocolo del IDAE

En el apartado anterior, se citaban y argumentaban los excesos de datos por un lado, y por el otro las carencias, en cuanto a la falta de comparación de la información obtenida, además de que se parte con un planteamiento inadecuado del problema a tratar, como se ha razonado previamente.

En lo sucesivo se sigue paso a paso el protocolo, analizando los datos pretendidos para llevar a cabo la auditoría energética.

En cuanto a los **datos generales** que solicita el protocolo elaborado por el IDAE, es suficiente con recoger el primer año de funcionamiento de la instalación, es útil tener este dato, para saber el período de renovación de tuberías y equipos, así como, número total de usuarios y parcelas.

Muchos de los datos que se piden son innecesarios, como el tipo de suministro, sólo interesa el destinado al riego. En lugar de pedir el tamaño medio de la explotación y la superficie media anual de riego, es mejor saber el tamaño de las parcelas y conocer la superficie total de riego (ha), es irrelevante para el fin de la auditoría energética tener los datos de volúmenes de concesión, así como volúmenes suministrados en los últimos 5 años.

En lo que respecta a los **datos de funcionamiento interno**, sólo interesa el gasto anual de la energía tanto si es eléctrica como si se utilizan otras energías. El protocolo solicita que se muestren los gastos por agua comprada, energía, personal, mantenimiento, financieros, amortizaciones, y se desglose en tanto por ciento, al igual que para los ingresos, pero cabe decir que este no es el objeto de estudio de una auditoría energética, la cual sólo le interesa como se gasta la energía a través de la red, en ningún caso valorar la gestión de la comunidad de regantes.

Analizando los **datos de suministro hídrico**, el protocolo comienza con **datos generales**, de los cuales son importantes la superficie regada (ha), el volumen de agua que entra al sistema (m³), aunque otro dato útil y que se pasa por alto es el volumen de agua que leen los contadores (m³). Los registros solicitados tanto de superficie regable, como los volúmenes desglosados según el fin, regadío, u otros usos, son superfluos. Tras recoger estos datos en una tabla, el protocolo realiza un cálculo que es la eficiencia de distribución (%) = (Volumen

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

total agua suministrada/ Volumen de agua que entra al sistema)·100, el volumen total de agua suministrada debe ser aquella registrada por los contadores en los hidrantes.

Posteriormente se piden **datos por sectores hidráulicos independientes**, sector hidráulico independiente es aquel en el que el volumen total de agua en los puntos de suministro, que se aporta posteriormente en la superficie regable del sector, es un dato conocido y, por otro lado, que los bombeos existentes sólo distribuyen agua en la superficie del sector. Los datos solicitados son: nombre del sector, superficie regada (ha) superficie del sector regable (ha) que es un dato sobrante como se ha comentado con anterioridad. En lo referente al volumen de entrada (m^3) y volumen suministrado (m^3), estos datos tienen relevancia para analizar las fugas, aunque el protocolo los solicita, no los analiza con posterioridad, siendo una carencia significativa.

El protocolo continúa con **datos individuales por bombeo**, en este apartado se recogen datos tales como, el nombre del bombeo, superficie regada (ha): sólo en el caso de que el uso sea el regadío y la superficie regada dependa exclusivamente del bombeo, volumen bombeado (m^3), altura del bombeo suministrada (m). En este apartado faltan datos importantes como son la curva de la bomba, los rendimientos de la bomba y motor eléctrico.

Seguidamente se requieren **datos energéticos generales**, se divide en energía eléctrica y combustibles, de los cuales sólo interesa el consumo en (kWh/año), son irrelevantes para la auditoría tanto las potencias contratadas, contratables, equipo alimentado, potencia del equipo, las horas de funcionamiento. Las tarifas son datos pedidos, pero prescindibles. La tarifa es un factor cambiante en el tiempo y depende de la gestión que se haga de la red, no del funcionamiento hidráulico, igualmente no se dispone del modelo, que va a permitir ver como se usa el agua en el tiempo, dando idea, de las tarifas más convenientes para la instalación.

El siguiente apartado requiere de los **datos de consumo energético**, únicamente interesa el total de la factura en kWh gastados en un año, son irrelevantes la discriminación mensual, potencia activa, reactiva, $\cos \varphi$, energía activa (kWh) y la potencia del máxímetro (kW). Para el consumo de combustible ocurre lo mismo que en el caso del eléctrico.

La descripción de la infraestructura y el funcionamiento de la comunidad de regantes, empieza con la descripción de la infraestructura, puntos de captación de agua de la comunidad de regantes, los separa en pozos y tomas superficiales, de ellos sólo interesa para la auditoría el volumen anual (m^3), en el caso de las tomas superficiales conocer la cota del punto de toma (m), así como, en pozos la cota de salida (m), son sobrantes los niveles estáticos y dinámicos, procedencia, etc. En cuanto a la altura manométrica y el caudal medio, basta con pedirla en el apartado de bombeos.

Los bombeos pueden ser de inyección directa a red, hay que identificarlo con el número de sector, cota bombeo (m), caudal medio (m^3/h), altura manométrica (m), volumen actual (m^3). En los de elevaciones a cota constante se añade a los datos la cota nivel aspiración (m) y la cota nivel impulsión (m). En lo referente a las balsas de almacenamiento y/o regulación, recoger los datos de características constructivas, cota solera (m), cota coronación (m), volumen total (m^3).

A continuación se intenta describir la **red de tuberías a presión**, el formato tabla que

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

presenta el protocolo, no es el más apropiado, ya que, es difícil imaginarse la red, además no se mencionan todas las tuberías, sino tan sólo los diámetros máximos y mínimos para cada sector, la longitud total, por último, la presión de consigna en las válvulas reductoras. La información es incompleta y no muestra el funcionamiento de la red. Lo correcto es representar todas las tuberías sobre un plano, con sus respectivos diámetros, material, longitudes, rugosidades, también las válvulas reductoras, junto con su presión de consigna establecida en ellas. El objetivo de la auditoría es introducir el modelo de la red en un *software* (p. e. *EPANET 2.0*), tratando de acercar lo máximo posible el modelo a la realidad, optimizando de forma global, como se citó en el presente trabajo previamente, en varias ocasiones, en la figura que se muestra a continuación, se observa parte de una red modelada con el *software*.

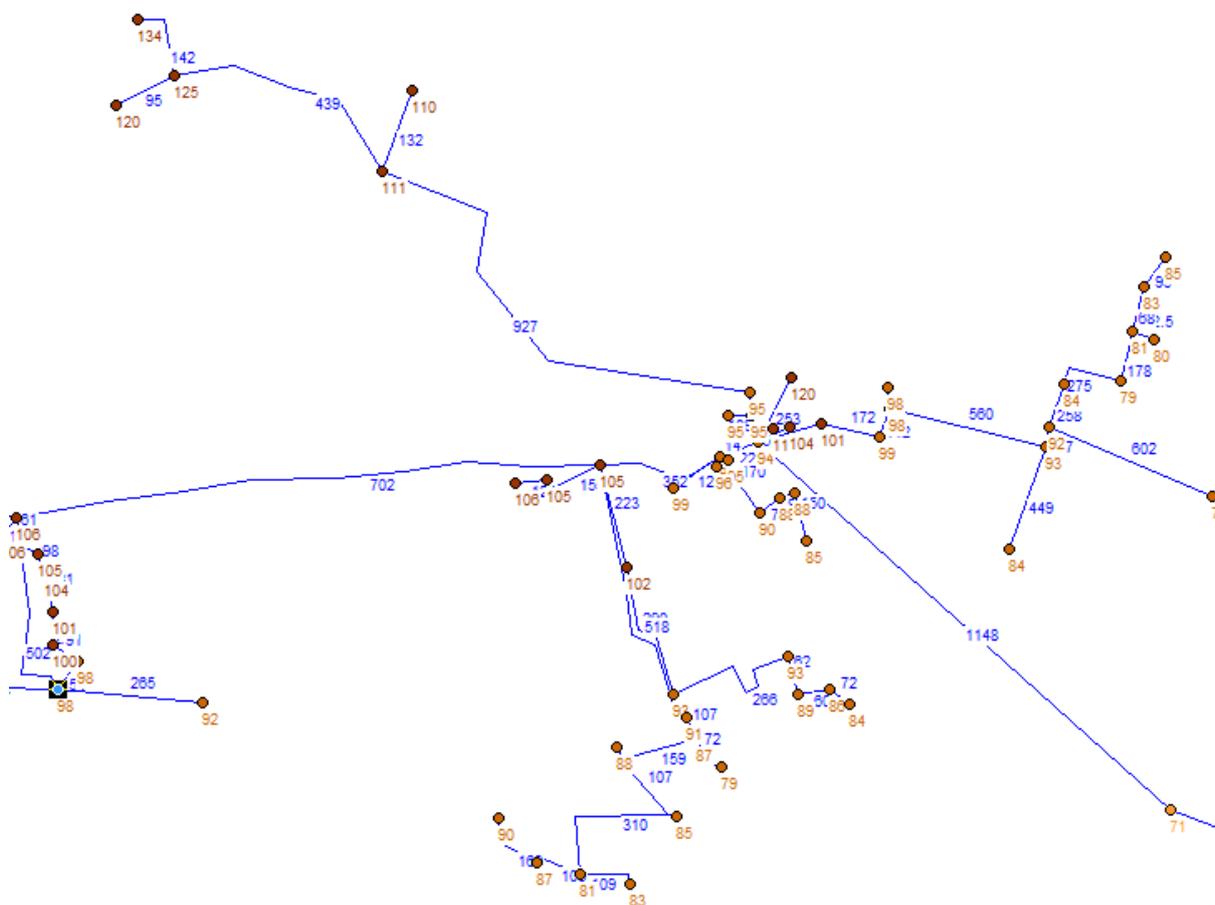


Figura 9. Ejemplo de red de riego introducido en el *software Epanet*, para su posterior análisis.

En cuanto a las **características de la zona regable**, se debe definir la superficie de las parcelas que se riegan, no de las que se podrían regar, se indica el número de hidrantes y los cultivos por sectores.

Características de la red de distribución por gravedad, siguiendo el protocolo, se describirán las características de los canales de distribución en lámina libre, indicando sus características constructivas, elementos de maniobra, capacidad y longitud de los mismos. No interesa la red de distribución por gravedad, lo que atañe al estudio energético son redes a presión.

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

El siguiente paso es dibujar un **diagrama de flujo de la red de distribución**, lo que se pretende en el protocolo es realizar un croquis de toda la infraestructura ubicando los puntos de suministro, pozos, balsas de almacenamiento, bombeos, filtrados, etc. También realizar un croquis de la red de tuberías a presión, mediante trazo continuo, en donde se muestren las tuberías principales que interconecten los puntos de suministro con los embalses, bombeos y zona regable, indicando el sentido de circulación del agua así como las cotas de las distintas zonas. En dicho croquis también se indicará mediante trazo discontinuo la red de canales y acequias principales de distribución, como se ha comentado con anterioridad no es objeto de estudio.

Un croquis es insuficiente, hay que reflejar la red completa en un plano, indicando las cotas de los puntos de suministro y de consumo, más las características citadas anteriormente de la red de tuberías.

La **descripción del funcionamiento de la red de distribución**, se explica la forma de trabajar de la comunidad de regantes, siguiendo el recorrido del agua desde los puntos de captación hasta los puntos de consumo. Para ello se debe incluir los siguientes apartados (según IDAE):

- Régimen de captación de agua a la comunidad de regantes: caudal, frecuencia, etc.
- Horarios de funcionamiento de los pozos y bombeos.
- Trasiego de aguas desde los puntos de captación a los puntos de almacenamiento.
- Mezclas de aguas y justificación de las mismas, en su caso.
- Organización del reparto de agua a los usuarios de riego a presión.
- Presión mínima de diseño en las tomas de riego a presión.
- Jornadas de riego y duración de los turnos en caso de que los hubiera.
- Gestión de las peticiones de riego a manta.
- Facturación del agua a los regantes.
- Cupos de agua.
- Cualquier otra característica no incluida en las anteriores que refleje el funcionamiento de la comunidad de regantes.

De todos los apartados citados tan sólo son importantes para la auditoría, la **organización del reparto de agua**, que permita conocer el tipo de riego, bien a la demanda, o por turnos más o menos rígidos. También el apartado de la **presión mínima de diseño** en las tomas de riego a presión, este dato como se ha desarrollado anteriormente, es un error del protocolo, ya que, fija esta presión mínima, sin considerar la establecida por la propia comunidad de riego, con lo cual

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

reduce las posibilidades, aparte de no discriminar entre los diferentes casos.

La **descripción de los equipos consumidores de energía**, es un apartado redundante porque la información importante está recogida en apartados anteriores correspondientes a datos del suministro hídrico. El protocolo vuelve a describir los bombeos en pozos, inyección directa a red, elevaciones a cota constante, más grupos electrógenos, demanda parte de los datos ya solicitados previamente, lo cual sólo sirve para retardar el proceso, además de incluir nuevos datos más precisos pero totalmente superfluos, en cuanto al fin perseguido por la auditoría energética.

El siguiente punto en el protocolo, trata de los consumos energéticos medidos en los equipos, empieza describiendo los **medios materiales empleados para la medida de parámetros eléctricos e hidráulicos**, para la medida de parámetros eléctricos se utilizarán analizadores de redes eléctricas, así como para la medida de los parámetros hidráulicos se utilizarán sondas de presión y caudalímetros, se debe indicar una serie de características, que nos son relevantes para el desarrollo de la auditoría, y que complican el proceso innecesariamente. Lo mismo sucede para el almacenamiento de datos, que se utilizarán equipos registradores de datos (“*datalogger*”).

La descripción de los **medios humanos empleados para la realización de la auditoría**: perfil técnico, labor realizada, horas. Queda exento de lo que es propiamente una auditoría energética, ya que, este tema forma parte de cómo se gestiona la comunidad de regantes, el presente estudio no se ocupa de ello.

La medición del **consumo energético** en los bombeos en pozos se realiza según el IDAE, durante al menos una semana de funcionamiento normal, a intervalos de 5 minutos. Es necesario que la semana elegida sea representativa del funcionamiento del equipo a lo largo del año. En caso necesario se debe alargar el periodo de toma de datos.

No es requerido realizar tales mediciones, basta con conocer de forma anual el gasto en kWh facturados por el bombeo en cuestión y el volumen impulsado (m³). Los términos de potencia activa, reactiva, cos ϕ , etc. No son relevantes para el estudio, y alargan el proceso contraproducentemente. Lo mismo se pide para inyección directa a red, bombeo a cota constante, servicios y bombeos no gestionados por la comunidad de regantes.

A continuación, se trata de estimar la **eficiencia energética de los bombeos**, que formen parte de la comunidad de regantes, separa por un lado los grupos electrógenos y por el otro la energía procedente de la red eléctrica. Además de recoger los datos en una tabla para cada sector hidráulico independiente y otra para el conjunto total de la instalación.

La eficiencia energética de los bombeos se determina a partir de la siguiente expresión:

$$EE_i = \frac{Ns}{Na} * 100$$

Donde:

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

EEi representa la eficiencia energética del bombeo i, N_a es la potencia absorbida y representa la potencia activa media medida con el analizador de redes durante el periodo de medida, y N_s es la potencia suministrada y representa la potencia media teórica que el bombeo suministra en cada momento, la cual se obtiene a partir de la ecuación siguiente:

$$N_s (kW) = \frac{\gamma \cdot Q \cdot Hm}{75} \cdot 0,736$$

Donde:

γ : es el peso específico del agua (1 Kg/l)

Q: es el caudal medido suministrado en litros por segundo

Hm: es la altura manométrica suministrada por el bombeo en mca, y se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$\text{*Bombeos: } Hm = H_i + h_i + H_a \pm h_a = P_s - P_e$$

$$\text{*Pozos: } Hm = P_{sp} + N_{dm} + h_{ts}$$

Donde:

- H_i : es la altura geométrica de la impulsión (cota final impulsión – cota bomba)
- h_i : es la pérdida de carga total de la tubería de impulsión (mca)
- H_a : es la altura geométrica de la aspiración (cota lámina aspiración – cota bomba)
- h_a : es la pérdida de carga total de la tubería de aspiración (mca)
- P_s : es la presión media a la salida del bombeo medida a la altura del eje de la bomba (mca)
- P_e : es la presión media a la entrada del bombeo medida a la altura del eje de la bomba (mca)
- P_{sp} : es la presión media a la salida del pozo medida junto a la ventosa de salida (mca)
- N_{dm} : es el nivel dinámico medio del agua (m)
- h_{ts} : es la pérdida de carga de la tubería de salida de longitud igual a la profundidad de la bomba (mca)

La potencia suministrada, y por tanto la altura manométrica, se deben calcular para cada dato de presión y caudal almacenado durante el periodo de medición, calculando la media de todas las potencias calculadas en cada instante.

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

La eficiencia energética media se debe calcular para cada bombeo y para el conjunto de los bombeos de toda la comunidad de regantes.

La eficiencia energética general se obtendrá a partir de la siguiente expresión:

$$EEB = \frac{1}{kWh_T} \cdot kWh_i \cdot EE_i$$

Donde:

EEB representa la Eficiencia Energética de los bombeos del sector hidráulico o toda la comunidad de regantes, **kWh_i** son los kilovatios hora anuales consumidos por el bombeo **i**, **EE_i** es la eficiencia energética del bombeo **i** y **kWh_T** son los kilovatios hora anuales consumidos por todos los bombeos.

Se hará lo mismo para **bombeos no gestionados por la comunidad de regantes**.

Respecto a la **eficiencia de suministro energético**, se plante un balance energético del agua bombeada. Para calcular el balance energético del agua bombeada se debe calcular la energía inicial con la que el agua entra al sector hidráulico independiente o a toda la comunidad de regantes y la energía que demanda el sistema de riego abastecido por dichos recursos, estableciendo la diferencia entre ambas energías:

Balance de energía:

$$EI - ED = \pm \Delta E = \quad m$$

- Si ΔE es positivo: no es necesario el aporte de energía adicional mediante los bombeos.

- Si ΔE es negativo: es necesario el aporte de energía adicional mediante bombeos.

EI es la energía de posición inicial con la que el agua es captada, y se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$EI = \frac{\sum V_i \cdot (z_i + \frac{P_i}{\gamma})}{V_T}$$

Donde:

- EI: energía inicial del agua en los puntos de captación de agua (m)

- V_i: volumen de agua aportado en el punto de captación **i** (m³)

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

- z_i : cota del punto de captación i de agua (m)
- P_i/γ : presión del agua en el punto de captación i (m)
- V_T : volumen de agua que entra al sistema aportado por todos los puntos de captación (m^3)

ED es la energía demandada por los sistemas de riego a presión abastecidos por el volumen V_T , y se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$ED = \sum \frac{S_j}{S_T} \cdot \left(z_j + \frac{P_{dj}}{\gamma} \right)$$

Donde:

- ED: energía demandada por los sistemas de riego abastecidos (m)
- S_j : superficie demandante de agua que se encuentra a la cota media j (ha)
- S_T : superficie total de la zona de riego a presión (ha)
- z_j : cota media j de la zona de demanda de agua (m)
- P_{dj}/γ : presión de diseño demandada por el sistema de riego que se encuentra a la cota media j (m)

La superficie s_j corresponde a la superficie comprendida entre dos curvas de nivel consecutivas y los límites de la zona de riego. Se deben contabilizar las curvas de nivel con diferencias de cota de 5 m.

La energía demanda por el sistema se obtiene según superficie, en lugar de volumen, como ocurre con la energía inicial del sistema. Surge una imprecisión en el balance, porque se está suponiendo un riego uniforme en toda la superficie considerada, algo que en la mayoría de los casos no se va a cumplir, debido al abandono de superficies aunado a la diferencia de necesidades hídricas de los diversos cultivos.

Concluyendo, no se dispone del **balance de agua**, y sin el mismo no se puede realizar el volumen control, que muestre cuánta agua se introduce y qué cantidad de ésta es útil, esto es, aprovechada por los usuarios. Principio fundamental de la auditoría hídrica, no se puede evaluar ninguna instalación sin disponer del balance de agua previo (Cabrera et al., 2010).

Las carencias del protocolo son evidentes, no se conoce el agua que se pierde a través de las **fugas**, este volumen en los primeros años de la instalación no va a ser relevante, pero a medida que pasen los años, se va a ir incrementando, siendo clave para determinar el período de renovación de tuberías. Las **pérdidas por fricción** tampoco se pueden contabilizar, ni evaluar.

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

La presión de diseño demandada por el sistema de riego debe incluir, además de la presión necesaria en cabeza de parcela para satisfacer las necesidades de presión del sistema de riego en parcela, las pérdidas de carga en el transporte desde el punto de captación a la comunidad de regantes y el punto de descarga en la parcela de riego, que se estiman en 10 m. Según el sistema de riego abastecido, la presión necesaria en cabeza de parcela será la siguiente:

- Riego por goteo: 30 m
- Riego por aspersión: 45 m

Por tanto:

- $P_d/\gamma =$ en sistemas de riego por goteo: $30+10= 40$ m
- $P_d/\gamma =$ en sistemas de riego por aspersión: $45+10= 55$ m

La diferencia entre la energía del agua en los puntos de captación y la energía demandada por el sistema de riego abastecido nos dará un incremento de energía ($\pm\Delta E$), que en caso de ser positivo indicaría que no es necesario el aporte extra de energía y en caso de ser negativo indicaría que se debe aportar energía mediante los bombeos.

Puntualizar que una presión de diseño de 30 m para el riego por goteo, es demasiado basta con 20 m, este hecho se debe adecuar a cada caso en concreto, además, reiterando lo expuesto en líneas precedentes, el fijar unas **pérdidas de carga** de 10 m, carece de sentido, ya que, no se tienen en cuenta los factores que afectan a este término y que son de suma importancia, tales como la longitud de las tuberías desde el punto de captación hasta el consumo, no es lo mismo tener el hidrante a unos pocos metros del punto de cabecera de la red, que por el contrario, se deba transportar el agua varios kilómetros hasta la parcela (punto de consumo). El modo de riego (a la demanda o por turnos), influye directamente sobre este término, en ningún momento relaciona las pérdidas a los parámetros de la red tales como, diámetros, caudales, longitudes.

Se habla del índice de carga energética del sector hidráulico o de toda la comunidad de regantes, empleando para su resolución la siguiente ecuación:

$$ICE = \frac{\sum V_k \cdot H_{mk}}{V_T}$$

Donde:

- ICE: índice de carga energética del sector hidráulico o de toda la comunidad de regantes (m)
- V_k : volumen de agua bombeado por el bombeo k (m^3)
- V_T : volumen total de agua que entra al sector hidráulico o toda la comunidad

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

de regantes (m^3)

- H_{mk} : altura manométrica media medida en el bombeo k (m)

Para calcular la Eficiencia de Suministro Energético se aplica la siguiente ecuación:

$$ESE (\%) = \frac{|\Delta E|}{ICE} \cdot 100$$

ESE representa el cociente entre la energía necesaria a aportar al sistema y la energía real aportada. En caso de que el ΔE fuese positivo, es decir se dispone de energía suficiente para atender las necesidades del riego, pero se bombea agua, con lo que el ICE es mayor de 0, ESE sería nulo, esto no es correcto, ya que se está dividiendo dos valores positivos, su resultado no puede ser cero, lo que se está haciendo es suministrar al sistema energía cuando éste no la necesita, en definitiva se está siendo ineficiente. En caso de que el ICE fuera nulo, ESE sería del 100%, este hecho hay que puntualizarlo, cuando no hay bombeo, todo el sistema es alimentado por gravedad, con lo que puede darse el caso de tener un exceso de energía, en ocasiones ésta se puede aprovechar, mediante la instalación de bombas que trabajen como turbinas (Cabrera et al., 2010), esta posibilidad no se contempla en el protocolo.

Una auditoría debe tener en cuenta todos los aportes de agua, en definitiva energía al sistema, en el protocolo sólo se considera los bombeos, no se puede obviar la gravitacional, en muchos casos importante e incluso la única. Para llevar a cabo una optimización hay que analizar la entrada y posterior reparto de la energía en el sistema, el camino a seguir es el de una recuperación total de la energía.

Todos los pasos que se han ido siguiendo en el protocolo, tienen como fin **la evaluación y calificación energética** de la instalación estudiada. El evaluar cómo trabaja la comunidad de regantes no es el objeto de estudio de una auditoría energética, no se trata de juzgar si la gestión de los recursos que hace la comunidad de regantes, es correcta o no. Como se ha comentado previamente, se debe analizar cómo se gasta la energía a lo largo del proceso, para ello establecer un volumen control, que revele, la cantidad de energía que entra al sistema, seguidamente observar donde se gasta esta energía, y ver qué parte es útil, se aprovecha por los cultivos (Cabrera et al., 2010).

Indicadores generales de uso de la energía, se empieza citando los indicadores descriptivos, los cuales se obtienen para cada Sector Hidráulico Independiente (SHI) y para toda la Comunidad de Regantes (CCRR). De todos los expuestos, sólo son necesarios la superficie regada (ha), el volumen de agua suministrada a los usuarios (m^3), suministro de agua de riego por unidad de área regada (m^3/ha), que no regable, y energía consumida (kWh), redundantes son las potencias solicitadas tales como, la contratada, la absorbida, la consumida, etc.

En lo que respecta a los **indicadores de rendimiento**, son innecesarios prácticamente todos, se calcula el rendimiento de potencia, factor de potencia, potencia contratada por unidad de área regable, y regada, al margen del fin de la auditoría quedan los costes energéticos. Sólo es considerable la energía consumida por volumen de riego que entra al sistema (kWh/m^3).

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

Los siguientes indicadores son los de eficiencia, forman parte de ellos, el **ICE**, **EEB**, **ESE**, se han comentado con anterioridad. Los que no se han descrito hasta el momento, son el **IDE**, que es el índice de dependencia energética, representa el porcentaje de agua que es bombeada frente al total de agua que entra a la comunidad de regantes. Un indicador general es el **EEG**, eficiencia energética general de la CCRR, representa la eficiencia energética general de la red de distribución de toda la comunidad de regantes, ya que supone el producto de la eficiencia del suministro energético por la eficiencia con la que los bombeos proporcionan la energía ($EEG = EEB \cdot ESE$).

Los **indicadores de potencia** no son relevantes para la auditoría, en lo que respecta a **los de energía**, únicamente es necesario considerar el volumen bombeado (m^3), el consumo de energía activa (kWh) y la energía unitaria (kWh/m^3), aunque el protocolo sólo recoge los datos durante el período considerado (una semana), la duración ideal para auditar es anual.

La **calificación de la gestión energética**, no atañe a la auditoría energética, por las razones expuestas previamente.

El siguiente paso es dar una **calificación energética de la comunidad de regantes**, basándose en una serie de parámetros. En función de la eficiencia energética general, según los **grupos de consumo energético**, se habla de EPH, energía activa consumida por hectárea regada (kWh/ha año), tal y como se trata en el protocolo, la información no es relevante, además ésta es incompleta, se desconoce la topografía de la red, factor clave y esencial para poder comparar, del mismo modo es necesario un dato de referencia para contrastar los resultados obtenidos.

Prosiguiendo con la **calificación energética de la eficiencia de los bombeos**, basada en la eficiencia energética del bombeo, la calificación energética individual de cada bombeo sirve para conocer en qué bombeo se debe actuar para proponer las medidas correctoras oportunas. El objetivo alcanzable es trabajar con eficiencias energéticas de bombeos del orden del 60%.

Para acabar se recoge una **propuesta de mejoras y valoración**, en diversos campos que seguidamente se manifiestan.

Mejoras en el diseño y manejo de la red, se debe hacer una descripción de la mejora propuesta en el diseño y manejo, indicando los equipos a los que afecta la mejora del diseño y los procesos afectados tras introducir la mejora del manejo, su consumo actual así como el consumo tras la mejora, calculando el ahorro energético que supone la implantación de la misma. Se consignarán las mejoras en una tabla resumen, como ejemplo se extraen las siguientes tablas correspondientes a la auditoría energética de una comunidad de regantes perteneciente a la Comunidad Valenciana (Datos facilitados por AVEN) que atañen a la mejora en el manejo y diseño de la red, se propone un ahorro en el consumo de agua del 12.4% , recogiendo el ahorro energético y económico que lleva asociado.

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

MEDIDA DE AHORRO	OPTIMIZACIÓN DEL CONSUMO HÍDRICO
% DE AHORRO ENERGÉTICO	12,4%
AHORRO ENERGÉTICO ANUAL	920.000kWh
COSTE MEDIO ENERGIA	0,09€/kWh
AHORRO ECONÓMICO ANUAL	82.800€
INVERSIÓN NECESARIA	0,00€

Tabla 2. Medidas de ahorro propuestas en la auditoría energética, a las instalaciones de una comunidad de regantes de la Comunidad Valenciana, diciembre del 2011.

En la siguiente tabla se muestra las medidas de ahorro propuestas en la misma auditoría, que implican la sustitución de dos bombas debido a su bajo rendimiento.

MEDIDA DE AHORRO	SUSTITUCION BOMBA POZO Nº7	SUSTITUCION BOMBA POZO Nº13
RENDIMIENTO ACTUAL	49%	49%
CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL	375.000kWh	575.000kWh
RENDIMIENTO PROPUESTO	70%	70%
CONSUMO ENERGÉTICO MEJORADO	262.000	400.000
% DE AHORRO ENERGÉTICO	30%	30%
AHORRO ENERGÉTICO ANUAL	113.000kWh	175.000kWh
COSTE MEDIO ENERGIA	0,09€/kWh	0,09€/kWh
AHORRO ECONÓMICO ANUAL	10.170€	15.750€
INVERSIÓN NECESARIA	25.000,00€	34.000,00€
PERIODO RETORNO SIMPLE DE LA INVERSIÓN	2,46 años	2,16 años

Tabla 3. Medidas de mejora en los equipos, propuestas en la auditoría energética, a las instalaciones de una comunidad de regantes de la Comunidad Valenciana, diciembre del 2011.

Respecto a estas mejoras, decir que el protocolo va desencaminado, en cuanto a la forma de actuar, sólo habla de actuar sobre la potencia de los equipos. En la red existen más elementos que la hacen ineficiente, tales como las pérdidas por fricción, son variables, aunque el protocolo IDAE las considera fijas, además las fugas de las cuales no se hace mención.

Para empezar hablar de mejoras, se debe constatar que el volumen de agua aportado se ajusta a las necesidades hídricas de los cultivos. Normalmente se gasta más agua de la necesaria en el laboreo, se debe comenzar estableciendo, cuánta agua hace falta para cubrir las exigencias de los cultivos, y no aportar más agua de la necesaria, reduciendo el volumen a su vez se reduce la energía gastada, mejorando la eficiencia de la instalación.

La puesta en marcha de esta medida requiere que los regantes tomen conciencia del coste energético, económico y ambiental que supone un consumo de agua por encima de las necesidades mínimas de los cultivos.

Entre las acciones posibles para esta toma de conciencia, las siguientes están dando buenos resultados en varias comunidades de regantes con esta problemática:

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

- Bonificación económica, en la factura correspondiente al agua consumida, a los regantes que se ajusten a los suministros hídricos específicos recomendados desde la Comunidad de Regantes en cada periodo de lectura.
- Organización de jornadas explicativas con expertos en la optimización de los recursos hídricos, que cuenten con la participación de comunidades que hayan puesto en marcha medidas de este tipo.

La **valoración de las mejoras del diseño y manejo de la red**, el protocolo da un enfoque económico, se habla de disminución de los costes energéticos, aumento de los costes de mantenimiento, ahorro económico, inversión, amortización, todo ello se escapa de lo que es realmente una auditoría energética. En adición al seguir el protocolo, sólo se extrae información, en cuanto a rendimientos de los bombeos, ello permite detectar los equipos con rendimientos bajos, actuando en su reparación o sustitución, también es posible en ocasiones, obtener una mejora si se cambia la contratación de las tarifas eléctricas. En cambio, no se puede evaluar, si las fugas son considerables, para plantearse el hecho de ir sustituyendo tuberías, como se ha ido confirmando a lo largo del presente trabajo, el protocolo ni siquiera menciona las pérdidas por fricción que se dan en las conducciones, en las válvulas e hidrantes. Por otro lado, al disponer de varios indicadores que no están contrastados, ni tampoco se dan valores para poder compararse con otras instalaciones de características similares, se desconoce el margen de mejora, para intentar actuar en consecuencia.

Con lo cual los objetivos llevados a cabo para mejorar la eficiencia, son parciales, quedando lejos la optimización conjunta de la red, meta fundamental de una auditoría hídrica.

Respecto a la **mejoras en la contratación de la electricidad**, se debe hacer una descripción de la mejora propuesta de cada contrato, indicando si se establece algún cambio, el progreso que se obtiene tras el mismo. Citar la tarifa actual y la tarifa tras la mejora, el coste actual y el coste tras la mejora, calculando el ahorro económico anual que supone la implantación de la misma. Se consignarán las mejoras en una tabla resumen.

Como se ha comentado a lo largo del presente documento analizar las tarifas eléctricas, no es competencia de la auditoría, las tarifas van cambiando con el tiempo, y forman parte de la gestión de la comunidad de regantes, lo cual no es objeto de estudio.

Se incluirán las **recomendaciones** sobre las mejoras que deberían llevarse a cabo en el diseño, manejo, equipos y contratación, priorizando la implantación de las mismas en función de la dificultad de implantación, así como de su repercusión energética y económica. Asimismo, también se darán las recomendaciones oportunas sobre el funcionamiento de los bombeos que no estén gestionados por la comunidad de regantes.

Para finalizar, se resumirá el contenido de la auditoría y sus principales **conclusiones**, incluyendo aquellos aspectos relevantes que caractericen a la comunidad de regantes desde el punto de vista energético. Se hará especial mención a la situación de la comunidad de regantes respecto a los siguientes aspectos:

– Dependencia energética

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

- Calificación energética general
- Eficiencia energética de los bombeos gestionados y no gestionados por la comunidad de regantes
- Eficiencia de suministro energético
- Grado de utilización de la potencia contratada respecto a la contratable
- Valoración de la gestión de la energía
- Puntos críticos de consumo energético detectados
- Resumen de las medidas correctoras propuestas
- Ahorros energéticos y económicos (absolutos y en porcentaje) conseguidos con las mejoras propuestas
- Principales recomendaciones de adopción de medidas correctoras

Resumiendo tras analizar el protocolo del IDAE, cabe decir que no es una auditoría, por los motivos que seguidamente se argumentan.

En primer lugar no arroja luz a la hora de identificar los puntos débiles de la instalación, no permite diagnosticar el margen de mejora que tiene la red estudiada. Hace una aproximación con el balance energético que propone, pero no controla el gasto energético en la totalidad.

Deja fuera la parte hidráulica, por ejemplo pasa sin analizar si los diámetros instalados son apropiados para el tipo de riego, ni si quiera plantea un cambio en el mismo, hecho que puede mejorar la eficiencia energética. Reiterando lo expuesto en este trabajo, cuando se estudia una red de agua, se parte de que es ésta misma la que lleva la energía, con lo que se empieza el proceso modelando su evolución en la red, y controlando mediante un balance, qué se mete, qué se saca provechosamente, y qué se pierde y dónde, en definitiva una auditoría hídrica. No se pueden desacoplar los problemas, se está errando cuando se analiza rompiendo este binomio de agua-energía como hace la auditoría del IDAE.

4.4 Aplicación del protocolo del IDAE: Caso de estudio

Todo lo expuesto con anterioridad sirve para hacerse una idea del asunto, pero es en este apartado donde se trata de ver de forma numérica mediante un caso práctico de una red de riego real, perteneciente a un municipio de la Comunidad Valenciana, la teoría de la cuestión.

La instalación que va a servir de modelo matemático de la red, se muestra un esquema completo de la misma en la figura número veinte, está basada en una red real, la cual es alimentada desde un embalse, el tipo de riego es por turnos, se riega durante ocho horas, en cuatro turnos de dos horas cada uno. Sólo hay un bombeo, formado por cinco bombas que trabajan en paralelo, aunque normalmente funcionan cuatro de ellas simultáneamente.

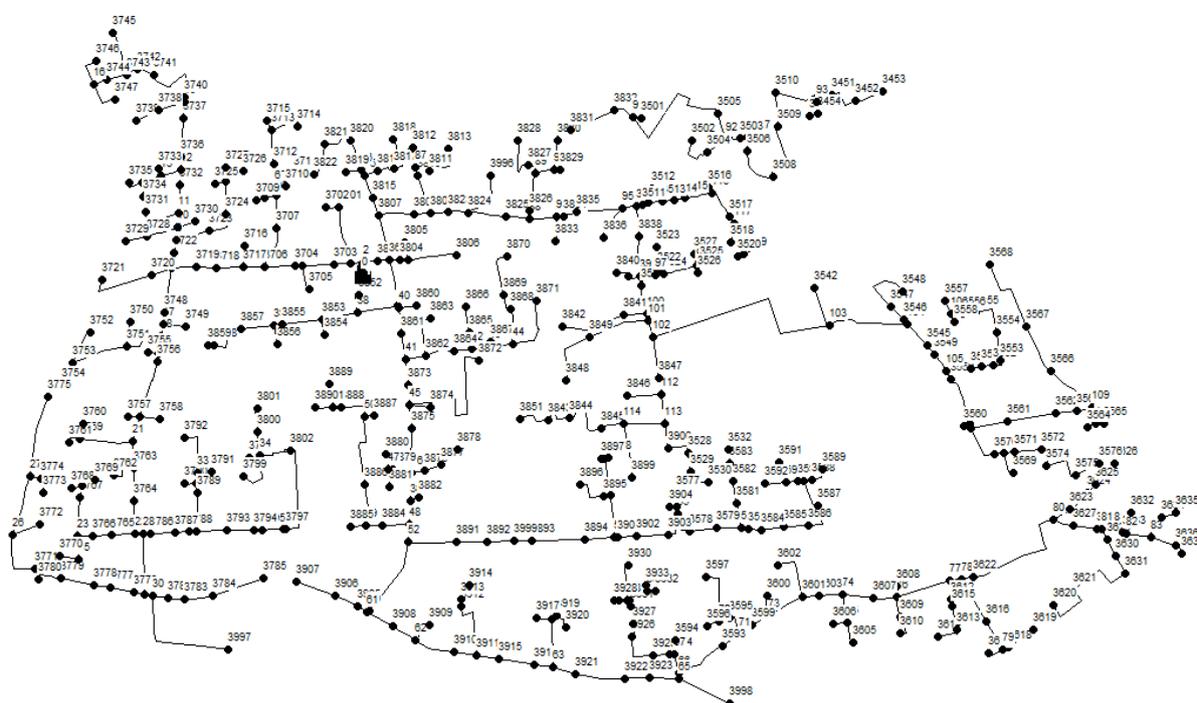


Figura 10. Esquema de la red que se utiliza para la auditoría

A continuación se procede a realizar la auditoría según el IDAE, que la divide en dos departamentos, eficiencia energética de los bombeos por un lado, y por el otro eficiencia de suministro energético, sobre ellos se han comentado sus fundamentos, así como sus carencias, a continuación, hay que constatarlo mediante los cálculos pertinentes.

El primer paso es realizar la eficiencia energética de los bombeos de la instalación, en este caso sólo hay un bombeo, el cual se evalúa su eficiencia energética siguiendo el protocolo del IDAE.

1. Eficiencia energética de los bombeos

Todas las bombas son iguales, trabajan en paralelo y tienen tres rodetes, pueden trabajar

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

simultáneamente hasta cinco bombas, aunque la situación más frecuente es que lo hagan cuatro.

Los resultados obtenidos se muestran a continuación en formato tabla.

Q _{medio} (LPS)	H _m (mca)	N _s (kW)	N _a (kW)	EE (%)	Energía anual consumida (kWh)	EE*Eac
673,4	59,9	395,63	536,10	74	732098	540288

Tabla 4. Eficiencia energética del bombeo

Siendo:

- Q medio: es el caudal medido suministrado en litros por segundo
- H_m: es la altura manométrica suministrada por el bombeo en mca
- N_s: potencia suministrada en kW
- N_a: potencia absorbida en kW
- EE(%): eficiencia energética del bombeo
- Eac: energía anual consumida en kWh

La eficiencia energética de todos los bombeos EEB es del 74%, es la misma que la EE, ya que hay sólo un bombeo.

2. Eficiencia del suministro energético

El protocolo prosigue con la eficiencia del suministro energético, que partía con el balance de energía previo.

$$- EI - ED = \pm \Delta E = m$$

Para comenzar a calcular el balance energético, se debe conocer la energía que posee el agua en el punto de captación, en este caso en el embalse únicamente.

La siguiente expresión muestra como se debe calcular la energía inicial del agua en el punto de partida, en este caso es el embalse.

$$EI = \frac{\sum V_i \cdot (z_i + \frac{P_i}{\gamma})}{V_T}$$

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

En la tabla de debajo, se recogen los parámetros útiles para llevar a cabo el fin.

V_i (m ³)	z_i (m)	P_i/γ (m)	$V_i \cdot (z_i + P_i/\gamma)$	EI (m)
2332019	16,5	0	38431673	16,5

Tabla 5. Parámetros para el cálculo de la energía inicial del agua

Siendo:

- EI (m): Energía Inicial del agua, representa la energía contenida en el agua aportada a la red de riego. La energía que posee el agua según la cota a la que se toma y según la presión manométrica que posee en dicho punto.

Depende de los siguientes parámetros:

- z_i (m) Cota del punto de toma
- P_i/γ (m) Presión manométrica del agua en el punto de toma

Como se capta desde un embalse en lámina libre, el agua no tiene una presión inicial, y a demás como toda el agua se toma desde un único punto los volúmenes inicial y final coinciden, siendo la energía inicial la que posee el agua debido a su cota, en este caso 16,5 m.

Procediendo al cálculo de la energía demandada por el sistema de riego, se obtiene de la siguiente expresión.

$$ED = \sum \frac{S_j}{S_T} \cdot \left(z_j + \frac{P_{dj}}{\gamma} \right)$$

Para la red estudiada, como desde un punto se abastece a toda la superficie de riego, no es necesario dividir el terreno. En la tabla se recogen los datos para la instalación a estudiar.

z_j (m)	P_{dj}/γ (m)	ED (m)
24,3	40	64,3

Tabla 6. Parámetros para el cálculo de la energía demandada por el sistema

ED, representa la energía mínima necesaria que debe contener el agua de la red de riego para satisfacer las necesidades actuales de los cultivos.

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

Siendo:

- z_j , es la cota media de la zona de riego

- $P_{dj}/\gamma(m)$, la presión mínima de diseño para goteo, según el IDAE, la compone por 30 metros para cumplir la presión mínima y 10 metros de pérdidas.

El balance de energía ($\pm\Delta E$), resulta ser:

$$EI - ED = \pm\Delta E = \quad m, \text{ para el caso de estudio } 16,5 - 64,3 = -47,8 \text{ m}$$

Al salir un resultado negativo, se debe aportar energía mediante bombeo, la energía disponible en el punto inicial no es suficiente para cubrir la demandada por todo el sistema.

Una vez que se dispone del balance, se procede al cálculo del índice de carga energética conocido como ICE. Se refleja en esta expresión.

$$ICE = \frac{\sum V_k \cdot H_{mk}}{V_T}$$

Para el caso de estudio los volúmenes V_k y V_T son el mismo, ya que toda el agua que entra a la comunidad de regantes es bombeada, además desde un único punto. Siendo la altura manométrica media del bombeo de 59,9 metros, que en este caso coincide con el ICE.

Siendo la eficiencia del suministro energético ESE, el cociente entre el balance energético y el índice de carga energética (ICE).

$$ESE (\%) = \frac{|\Delta E|}{ICE} \cdot 100$$

Para la instalación el resultado del ESE sería el siguiente, $(47.8/59.9) \cdot 100 = 80 \%$

Todos estos cálculos tienen como objetivo la evaluación y calificación energética de la red, para ello el protocolo recoge una serie de indicadores, citados y explicados en apartados anteriores. Los indicadores de energía están desacoplados de la solución, su análisis y su comparación con un dato de referencia, va a dar una primera idea del margen de mejora, algo que el protocolo no contempla, por ello no es una auditoría propiamente dicha, porque no hace referencia alguna a los usos finales de la energía, no cuantifica la energía perdida en la fricción de los elementos que participan, como son las tuberías, válvulas e hidrantes, tampoco qué parte de la energía introducida es útil, y si esta cantidad es adecuada tras compararla con la total inicial, es necesario contextualizar cada caso en particular, es decir, establecer el funcionamiento de la instalación, algo impensable si no se dispone del modelo matemático de la red.

4. El estado de la cuestión en España. El protocolo del IDAE

Pero llevar a cabo una auditoría completa, primero hídrica y luego energética, donde los medios y el tiempo a emplear son importantes, y pueden darse casos donde no sea necesario hacer mejoras, porque se está trabajando adecuadamente, con lo que el margen de mejora no es considerable.

Lo que se plantea en la siguiente etapa del presente trabajo, es un enfoque alternativo al problema, donde es necesario realizar una autoevaluación previa de la instalación, analizando el sistema con un primer análisis, que determine la eficiencia del mismo.

Capítulo 5

Un enfoque alternativo

5. Un enfoque alternativo

5.1 Antecedentes

Como se ha introducido anteriormente, el objeto de estudio es realizar un primer diagnóstico, a nivel de eficiencia energética, en una red de riego a presión. En los apartados posteriores, se describen las pautas a seguir para ir completando este análisis, y llegar a concluir si la red está trabajando de forma correcta, o por el contrario tiene un margen de mejora notable. Dentro de este margen de mejora, se hará una posterior deliberación de las posibles causas, del deficitario funcionamiento de la instalación, en las imágenes inferiores se muestran un pozo, unos equipos de bombeo y un embalse de riego.



Figura 11. Situada a la izquierda, se muestra el exterior de un pozo de riego.

Figura 12. Situada en la parte superior derecha, se muestra los equipos de bombeo de una instalación.

Figura 13. Posicionada en la parte inferior derecha, donde se muestra un embalse de riego.

Para situar esta primera evaluación, es necesario definir el marco en el que se trabaja, es decir, el volumen de control sobre el que se realiza la auditoría energética. Por lo general, el punto de partida será la captación (río, acuífero o embalse según el caso) y el límite final, el punto de entrega del agua (hidrante). En el siguiente apartado, se ven los requisitos básicos para llevar a cabo el primer diagnóstico.

En el paso sucesivo hay que seleccionar los indicadores básicos que permitan, a partir de los datos, valorar cuán eficiente es el transporte de agua que se analiza, desde la óptica energética.

Con ello se procede a la realización de un diagnóstico del sistema, a partir de los datos de partida, de valores guía de los indicadores y de un balance energético preliminar, que sirva para efectuar una primera estimación de la eficiencia del sistema.

Concluyendo con un estudio coste-beneficio, para determinar si se actúa para paliar el derroche energético, o por el contrario, la inversión a realizar no va a suponer una mejora sustancial.

Respecto a lo expuesto anteriormente hay que tener claro las siguientes premisas. La auditoría energética no intenta evaluar si la gestión de la red es óptima, pero si llevar a cabo un análisis del consumo de la energía. Para llevar a cabo este análisis es necesario tener un control de la energía que se introduce al sistema, y de aquella que llega a ser útil, es decir, aprovechada por los usuarios. La energía de entrada al sistema puede ser potencial, la cual depende de la altura en cabecera del depósito o embalse, también puede ser mediante bombeo, las bombas introducen trabajo al sistema. La salida puede ser bien como energía útil, entregada a los cultivos, energía perdida en fugas y disipada en la fricción. La auditoría energética debe identificar y cuantificar todos aquellos elementos que suministran energía o que la saquen de la red de riego (Pardo et al., 2013).

Para llevar a cabo la auditoría se deben seguir dos consignas claras. La primera calcular la auditoría hídrica, no es más que establecer un volumen control, fácil misión si se tienen contadores, tanto a la entrada como en los hidrantes de riego. La segunda tener un modelo hidráulico calibrado de la red, que permita acercarse al funcionamiento real de la instalación, teniendo en cuenta las fugas, y modelándolas dependientes de la presión. Una vez se ha completado estas etapas, el balance energético cuantifica la cantidad de energía utilizada en la entrega del agua, en la red de riego.

5.2 Requisitos básicos para poder realizar el primer diagnóstico

1. Identificar los datos necesarios

Es necesario determinar el volumen de agua consumido en la instalación, para ello se necesita disponer de caudalímetros a la entrada de la red y en todos los hidrantes, para poder conocer el consumo por parcelas. Primer paso para saber si hay fugas, y discriminar las aparentes (errores de medición de los contadores) de las reales. También disponer de manómetros en los puntos críticos de la red (salida de bomba, hidrantes más desfavorables), en las figuras inferiores se muestran, una caseta de contadores (parte izquierda) y un manómetro (parte derecha).

5. Un enfoque alternativo



Figura 14. Colocada a la izquierda, muestra una caseta de contadores de riego
 Figura 15. Situada en la parte derecha muestra un manómetro

Como segundo paso se requiere de los recibos de la instalación (en la imagen, a continuación, se muestra el extracto de una factura mensual), para poder determinar la potencia consumida en kWh, sumando cada mes, obteniendo de este modo, los kWh gastados a lo largo del año.

EUROS		
ENERGIA		
Potencia contratada	PP 238 kW x 2,309065 €/kW	548,61
	PLL 426 kW x 1,421471 €/kW	605,55
	PV 339 kW x 0,325959 €/kW	110,50
Total Importes potencia		1.264,66
Energía consumida	P 2.514 kWh x 0,114046 €/kWh	286,71
	LL 58.427 kWh x 0,099957 €/kWh	5.840,19
	V 61.817 kWh x 0,069989 €/kWh	4.326,51
Total Energía 122.758 kWh		10.453,41
TOTAL ENERGIA		11.718,07
SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS		
Alquiler equipos de medida	1 mes x 29 €/mes	29,00
TOTAL SERVICIOS Y OTROS CONCEPTOS		29,00
Importe total		11.747,07
IVA	18% s/11.747,07	2.114,47
TOTAL IMPORTE FACTURA		13.861,54

Figura 16. Extracto de una factura mensual que pertenece a una comunidad de regantes

2. Tipología de la parcela

Se precisa tener un conocimiento de la tipología de la parcela, saber las cotas, así como, la distribución de las tuberías sobre el plano, con sus respectivos diámetros, longitudes y material, para determinar las pérdidas de carga debidas a la fricción, así como, la presencia de

válvulas, ya que, producen pérdidas localizadas. Conocer las demandas por parcelas, a través de contadores y superficie de las mismas.

3. Modelo matemático de la red

Se debe hacer un desglose del gasto total de energía (pérdidas en los bombeos, energía útil entregada en los hidrantes, energía de fricción disipada en las tuberías o en las válvulas,...) (Pardo et al., 2013). Expresarla con indicadores, lo que permite conocer la capacidad de ahorro. Esta fase exige disponer del modelo matemático de la red.

4. Bombeo

Si existe bombeo, es necesario disponer de las curvas reales H-Q de las bombas, como ejemplo se muestra la figura número 16, éstas ayudan a conocer su funcionamiento, para ello se requiere una instrumentación adecuada.

Si el agua es captada desde un pozo, hay que saber la altura del bombeo.

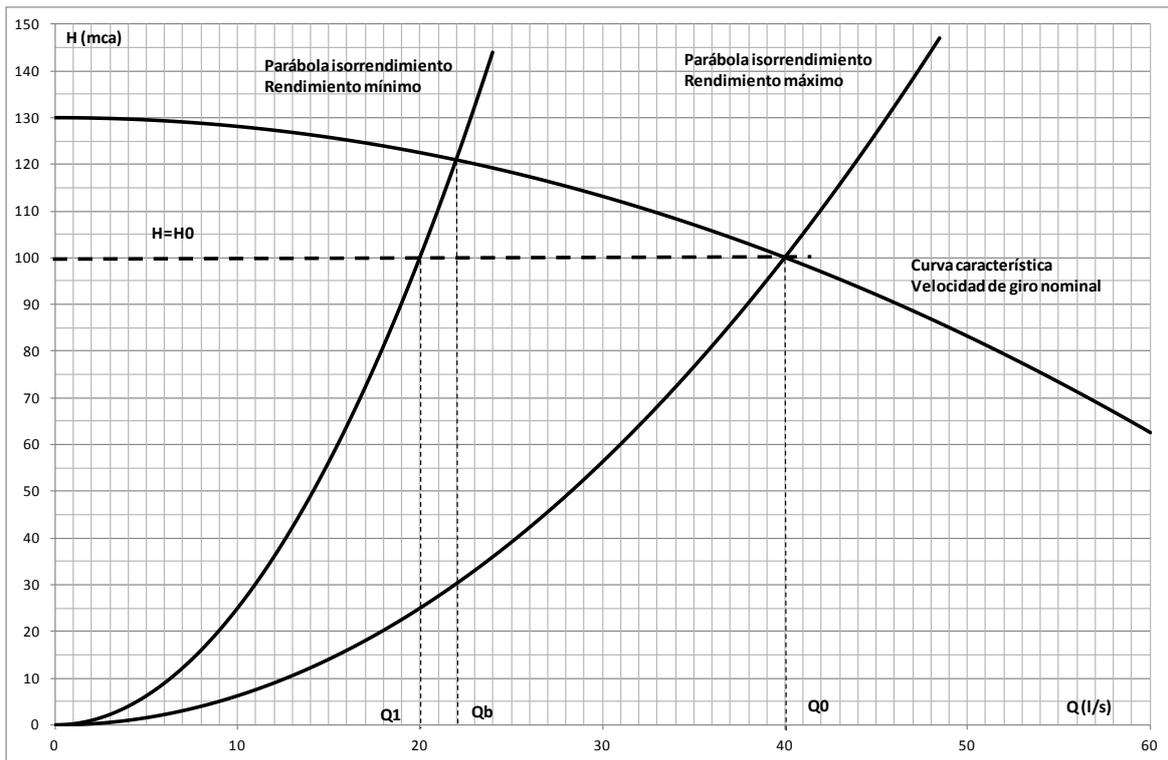


Figura 17. Curvas características de una bomba hidráulica

5. Un enfoque alternativo

5.3 Primer diagnóstico

Una vez se han especificado los requisitos básicos para llevar a cabo el primer diagnóstico de la red a analizar, se trata de ordenar las ideas para desempeñar la estimación y la capacidad de mejora del sistema, tratando de llegar a una buena aproximación del sistema.

Lo primero de todo es definir el **marco de trabajo**, esto es, fijar el volumen de control sobre el que se realiza la auditoría energética. Por lo general, el punto de partida será la captación (río, acuífero o depósito según el caso) y el límite final, el punto de entrega del agua (hidrante). Para el caso de estudio, considerando el mismo que se ha tomado como ejemplo para la auditoría del IDAE, el punto de partida es el embalse desde donde se bombea el agua, y el punto de entrega son los respectivos hidrantes de la red de riego.

Para realizar el diagnóstico, una vez concretado el marco. En general y para la unidad temporal natural (un año), importa conocer tanto la **procedencia de la energía** (natural, otorgada al agua por su cota de procedencia, o suministrada por una bomba) como las **aportaciones totales** de cada una de ellas (en kWh), para el caso de estudio toda el agua se aporta mediante bombeo. Asimismo, como se ha comentado en el apartado anterior, es necesario conocer el **agua inyectada al sistema, el agua consumida, la presión mínima necesaria y las principales características físicas y topográficas del sistema** (longitudes y desniveles).

El siguiente paso es la selección de indicadores básicos que permitan, a partir de los datos, valorar cuán eficiente es el transporte de agua que se analiza, desde la óptica energética.

El indicador es la herramienta clave, va mostrar de una forma clara y precisa, si la red de riego a estudiar, está trabajando dentro de unos límites adecuados, o en su defecto tiene un margen de mejora amplio. Este indicador relaciona la energía consumida por volumen de agua, inyectado o consumido por el sistema (Moreno et al., 2010; Rodríguez et al., 2011), sus unidades son kWh/m³. Se obtiene a partir, de los recibos mensuales tanto de la luz (kWh) como del agua consumida (m³), sumados mensualmente a lo largo del mismo año, se tiene un total de kWh anuales por un lado y por el otro el volumen de agua consumido a lo largo del año, expresado en m³, seguidamente se hace el cociente entre los kWh/m³ anuales, esta división da como resultado el indicador en el cual se fundamenta el primer diagnóstico.

A continuación se argumenta como se obtiene el indicador estudiado. Primero a través de la fórmula que permite deducir la potencia en bombas.

$$P = \frac{\gamma * Q * H}{\eta} = kWh$$

Siendo:

- P, la potencia aportada por el equipo de bombeo.
- γ , el peso específico del agua.
- Q, el caudal en m³/h.

- H, la altura del bombeo en mca.
- η , la multiplicación del rendimiento de la bomba por el rendimiento del motor eléctrico.

Sustituyendo en la fórmula por unos valores que faciliten el cálculo, para un caudal de 1 m³/s, una altura de bombeo de 100 m, y unos rendimientos razonables de 0.75 y 0.9 para la bomba y el motor eléctrico respectivamente. Se obtiene el siguiente resultado.

$$P = \frac{9.81 * 1 * 100}{0.675} = 1453 \text{ kW}$$

Por otro lado por cada hora de bombeo, se obtiene un volumen de 3600 m³

Obteniendo como resultado final el indicador en kWh/m³:

$$1453 \text{ kW} / 3600 \text{ m}^3 \approx 0.4 \text{ kWh/m}^3$$

El coeficiente obtenido, será el indicador a aplicar en el caso de la red de riego real a estudiar.

Si el diagnóstico realizado concluye que el transporte de agua es energéticamente eficiente, no es necesario realizar la auditoría. Si no lo es, hay que averiguar por qué, dónde se pierde la energía y cómo evitarlo. Para ello es imprescindible, en primer lugar, efectuar una auditoría hídrica del sistema pues no conviene olvidar que el agua es el medio portador de la energía (las fugas suponen, por ello, no sólo una pérdida de agua, también de energía). Realizada la auditoría hídrica, se aborda la energética. Debe identificarse el destino de la energía que ingresa en el volumen de control que limita el sistema, un dato del problema. Debe ser igual a la suma de la energía entregada a los usuarios (con el agua consumida) más las pérdidas (ineficiencias de las bombas y demás elementos, fricción en las tuberías, disipación en válvulas e hidrantes). Establecer un balance energético preciso es el objetivo la siguiente etapa.

Caso de estudio

Una vez aclarado como se procede para calcular el primer diagnóstico, se va a aplicar el mismo a una red de riego. Esta red es la que ha sido anteriormente utilizada en el caso de estudio del protocolo IDAE.

El ejemplo es una instalación real, que ha sido facilitada por AVEN, las características principales se han señalado anteriormente.

Respecto de los requisitos básicos para llevar a cabo el primer diagnóstico, se tienen contadores en cada hidrante, pero no se dispone del volumen que se introduce al sistema, con lo cual no se puede realizar el balance hídrico del proceso, para determinar las fugas. Si que se poseen los recibos de agua y luz, del año 2011, con lo que se puede obtener el gasto energético por volumen de agua bombeado. También se dispone del modelo matemático de la red, con sus

5. Un enfoque alternativo

respectivas cotas, de los puntos de consumo, diámetros y longitudes de las tuberías, así como de las curvas de las bombas.

Para saber en que margen se mueve la mejora de la instalación, se utiliza el concepto de energía mínima útil ($E_{\text{min, útil}}$), que es la energía resultante en la entrega de caudal a cada nudo desde la altura mínima requerida (h_{Min}), ésta se expresa en mca, y es resultado de la expresión siguiente:

$$h_{\text{Min}} = \Delta z + h_r + \frac{P_{\text{Min}}}{\gamma}$$

Siendo:

- Δz , la diferencia de cotas entre el nudo más desfavorable y la entrada de agua a la red, ya sea, cota del embalse, depósito o pozo.
- h_r , la pérdida de carga en la conducción debido a la fricción.
- P_{Min}/γ , la presión mínima requerida en el punto más desfavorable de la instalación.

Sobre la expresión expuesta con anterioridad, hay que explicar los siguientes argumentos. En primer lugar, la diferencia de cotas entre el nudo más desfavorable y la entrada de agua a la red, es algo impuesto por el sistema, por tanto, es invariable. En cambio la pérdida de carga se puede modificar, es dependiente del tipo de riego y del diseño de la red, si el riego es programado, no hay puntas tan grandes como si es a la demanda, los caudales circulantes serán menores y la fricción en las tuberías también lo será, además se fuerza a que la instalación trabaje en el punto óptimo, consiguiendo buenos rendimientos del equipo de bombeo. En lo referente al último sumando el de la presión mínima requerida, es un valor fijo e inamovible.

Por lo tanto, procediendo con el cálculo para la red de riego tomada como ejemplo, y disponiendo de la factura eléctrica para el año 2011, que se obtiene tras sumar mes a mes, ésta alcanza los 732 098 kWh y el consumo de agua correspondiente al mismo año es de 2 332 019 m³, tras dividir los kWh entre el volumen registrado en los contadores se obtiene **0.31 kWh/m³**. Dato que hay contextualizar para poder compararlo con el óptimo para la red de riego objeto de estudio.

Para ello hay que calcular la energía mínima útil, mediante el modelo matemático de la red, en primer lugar se localiza cual es el nudo más desfavorable de la instalación, es aquel que tiene una menor presión, situado de los más alejados al punto de suministro y posee una de las cotas más elevadas, su dato de presión mínima es de 33,23 m, tiene una cota de 35,23 m, siendo la cota de partida, es decir del embalse de 16,48 m, con lo que la diferencia de alturas es de 35,23 - 16,48 m = 18,75 m, que corresponde con la Δz perteneciente al término de energía mínima útil, las pérdidas de carga hasta alcanzar este punto son de 7,88 m, las mismas se obtienen tras ir sumando las pérdidas unitarias que genera cada una de las tuberías que conectan el embalse con el nudo más desfavorable, la presión mínima de funcionamiento establecida para el goteo es de 20 mca, por lo tanto, la expresión que establece la energía mínima queda del siguiente modo.

$$- h_{\text{Min}} = (35,23 - 16,48) \text{ m} + 7,88 \text{ m} + 20 \text{ m} = 46,63 \text{ m}$$

Sabiendo que por cada 100 m se consumen 0.4 kW/m³ y como en este caso se tiene que vencer un desnivel de 46,63 m, operando se obtiene.

$$- 46,63 \text{ m}/100 \text{ m} \cdot 0,4 \text{ kWh/m}^3 = 0,19 \text{ kWh/m}^3$$

Si se comparan los indicadores, los 0,31 que es el precio energético real que se está pagando por bombear un metro cúbico de agua, frente a los 0,19, que marca el calculado para la energía mínima disponible, y el cual fija la forma eficiente de trabajar el sistema, se llega a la conclusión que se dispone de un margen de mejora considerable, por lo tanto hay que profundizar en el estudio de la red para ver donde se está perdiendo esa energía, para este fin se introducen los fundamentos en los que se basan la auditoría energética, en el apartado sucesivo.

5.4 Auditoría energética

Para hacer un estudio más detallado de como la energía se gasta en la red de riego se debe llevar a cabo un balance de energía, donde la energía introducida va ser igual a la energía útil más la energía perdida, es decir, realizar una auditoría energética, en la que se tenga control y se pueda cuantificar cuales son los usos finales de la energía.

$$\begin{aligned} \text{Energía introducida} &= E_N \text{ (energía aportada por el embalse)} + E_p \text{ (energía bombeada)} \\ &= E_U \text{ (usuarios)} + E_L \text{ (fugas)} + E_F \text{ (fricción tuberías)} + E_V \text{ (fricción válvulas)} + E_H \text{ (fricción} \\ \text{hidrantes)} &= E_{\text{salida}} + E_{\text{disipada}} = E_{\text{útil}} + E_{\text{desaprovechada}} \end{aligned}$$

Como se observa en el balance, se introduce energía al sistema por medio del embalse, es una energía que se obtiene de forma natural, la otra forma de introducir energía es mediante bombeos. Por otro lado esta energía introducida al sistema, parte de ella, interesa que sea la máxima, va a ser captada por los usuarios, llamándola energía útil. El resto de energía va a salir del sistema, tiene varias vías de salida, como son las fugas, la energía perdida en la fricción, ésta a su vez se divide en tres, perdida en las tuberías, válvulas e hidrantes. Hay que tener en cuenta que en las redes de riego el número de válvulas es elevado, representa por tanto una cantidad importante de energía perdida, así como, las pérdidas en los hidrantes (Pardo et al., 2013).

Ahora que ya se conocen los puntos donde se pierde la energía en el proceso de distribución del agua, hay que dirigir los esfuerzos en mitigar ese gasto estéril. La forma de resolver la ecuación expuesta anteriormente, pasa por tener previamente un *software* para modelar la red de riego, que permita calcular los valores tales como: rango de caudales, altura piezométrica, pérdidas por fricción de cada elemento y para cada tiempo.

La clave para llevar a cabo la auditoría como se ha citado a lo largo del presente trabajo, es disponer de un modelo matemático calibrado de la red y un balance de agua previo. Normalmente el balance de agua es mensual, trimestral o anual, coincidiendo con los períodos

5. Un enfoque alternativo

de las lecturas de los contadores. Hay que tener en cuenta las fugas aparentes, y que éstas son dependientes de la presión, cada nudo fuga siguiendo un coeficiente de emisor. Se debe poseer datos anuales tanto del volumen inyectado como del consumido (Cabrera et al., 2010).

La auditoría se ha de servir como es lógico, de unas herramientas que le permitan evaluar la red a estudiar, en este caso de riego. Para este fin es necesario la utilización de unos indicadores, que posteriormente se citan y se argumenta el fundamento de cada uno de ellos, para un mejor entendimiento de los mismos, es necesario comentar previamente dos términos.

El primero de ellos es el concepto de **energía mínima útil** (E_{min} , útil), anteriormente explicado, es la energía resultante en la entrega de caudal a cada nudo desde la altura mínima requerida (h_{Min}). Otro término que junto con la energía mínima requerida, va aportar un mejor entendimiento de los indicadores, es el de la **energía mínima teórica** requerida, siendo ésta la necesaria para una red localizada en un terreno llano, sin fugas y sin pérdidas por fricción, sería el caso ideal (Cabrera et al., 2010).

Aunque es cierto que todos los indicadores aportan mucha información al sistema, cabe decir, que es muy importante aquellos que sitúan a la red dentro de un contexto propio. Esto es, cada sistema es diferente desde un punto de vista energético. La red puede ser llana o estar en un terreno montañoso, y puede requerir o no de bombeos intermedios. Por otro lado, no es lo mismo captar el agua en superficie en el punto más alto, que cogerla de un pozo donde hay que suministrar mucha energía hasta alcanzar los puntos de consumo, como ejemplos ilustrativos se tiene las siguientes imágenes.



Figura 18. Terreno montañoso dispuesto en bancales



Figura 19. Terreno llano donde los cultivos se hallan en un valle

Los dos términos que van a dar testimonio del contexto de trabajo, se explican seguidamente. C_1 , muestra la proporción de energía entregada al sistema de forma natural (sin bombeos), rango de 0 a 1. Es 1 cuando toda el agua inyectada es de forma gravitacional. Otro parámetro que ayuda a comprender la situación del sistema, es C_2 , tiene en cuenta como se demanda desde un punto de vista energético, es el ratio entre la energía mínima útil definida en cada nudo respecto de la altura mínima requerida ($h_{\min} = z_i + P_{\min} / \gamma$) y una energía mínima teórica requerida (terreno llano, sin fugas, y sin pérdidas). Con una red llana, ideal, todos los nudos localizados al nivel máximo de altura, el mejor valor posible $C_2 = 1$ (Cabrera et al., 2010).

A parte del contexto en el que se encuentra la red, que se ha expuesto anteriormente, existen indicadores que permiten precisar y conocer en mayor profundidad el estado de la instalación, muestran cómo se gasta la energía a lo largo del proceso de distribución, para poder comparar con sistemas similares.

Los indicadores que evalúan el desempeño caracterizan todo el balance de energía, permiten la evaluación de la eficiencia energética, así como, la influencia de las pérdidas de energía en el período de renovación de las tuberías, a través de un análisis coste-beneficio (Cabrera et al., 2010). Las tuberías van envejeciendo con el paso del tiempo, sobre todo, debido a los cambios de la presión, su variación modifica el comportamiento de los materiales a medida que el tiempo pasa. Además de la pérdida de agua, en sistemas de riego a presión lleva asociado una pérdida de energía.

En lo que respecta a los indicadores de eficiencia. I_1 , es el ratio entre la energía real que entra al sistema y el mínimo de energía útil, lo que expresa el exceso de energía suministrada. I_2 , el indicador del desempeño más relevante, indica si la red está correctamente gestionada, mide la eficiencia energética de la red $I_2 = E_{\text{útil}} / E_{\text{introducida}}$, que fracción de la energía introducida es útil. El indicador I_3 , mide que parte de la energía introducida se va con la fricción (energía

5. Un enfoque alternativo

disipada), $I_3 = E_F / E$ introducida, depende de la longitud de la red, y/o de los diámetros. En su caso I_4 , mide la energía perdida debido a las fugas, relacionada con los asuntos de operación y gestión. I_5 , es el ratio entre la energía entregada a los usuarios y el mínimo de energía útil requerida.

Un nuevo indicador (a parte de los *WDS urban*), es introducido en la auditoría energética de redes de riego, ya que la cantidad de energía disipada por la fricción es mayor que en las redes urbanas. Este indicador desagrega la energía disipada debido a la fricción en tres términos, energía perdida en las tuberías, en válvulas y en hidrantes de riego, reflejando qué parte de la energía perdida en la fricción es debido a estos elementos respecto de la energía total perdida en la red. I_6 , se divide en pérdidas en tuberías (I_{61}), válvulas (I_{62}) e hidrantes (I_{63}), su cálculo es la suma de los tres componentes, $I_6 = I_{61} + I_{62} + I_{63}$. I_6 , va desde 0 a 1, valores cercanos a 0 muestran que la red está sobre dimensionada (bajas pérdidas por fricción) y valores próximos a 1, indican una red sin pérdidas. Este indicador va a complementar a I_3 e I_4 , proporcionando un análisis más detallado de la red (Pardo et al., 2013). En la figura número 19, se muestran todos los indicadores con sus respectivas fórmulas.

Para cualquier red de riego, la suma total de eficiencia energética, energía disipada y energía perdida en fugas, toma un valor cercano y superior a 1, con lo que $I_2 + I_3 + I_4 = 1 + X$, siendo X la energía perdida por fricción del caudal de agua fugada, con valores iguales (sin fugas) o cercanos a 0, y un límite superior a la unidad.

C_1 Energy nature	C_2 Network energy requirement	I_1 Excess of supplied energy
$C_1 = \frac{E_N(t)}{E_{Input}(t)}$	$C_2 = \frac{E_{\min,useful}}{E_{\min,flat}}$	$I_1 = \frac{E_{input}(t_p)}{E_{\min,useful}}$
I_2 Network energy efficiency	I_3 Energy dissipation	I_4 Leakage energy
$I_2 = \frac{E_U(t_p)}{E_{Input}(t_p)}$	$I_3 = \frac{E_{Dissipated}(t_p)}{E_{Input}(t_p)}$	$I_4 = \frac{E_L(t_p) + E_F(t_p) - E'_F(t_p)}{E_{Input}(t_p)}$
I_5 Standards compliance	I_6 Characterization energy losses	I_{61} Energy losses in pipes
$I_5 = \frac{E_U(t_p)}{E_{\min,useful}}$	$I_6 = \frac{E_{Dissipated}(t_p)}{E_{Wasted}(t_p)}$	$I_{61} = \frac{E_F(t_p)}{E_{Wasted}(t_p)}$
I_{62} Energy losses in valves	I_{63} Energy losses in hydrants	
$I_{62} = \frac{E_V(t_p)}{E_{Wasted}(t_p)}$	$I_{63} = \frac{E_H(t_p)}{E_{Wasted}(t_p)}$	

Figura 20. Indicadores de la información del contexto y eficiencia energética. (Pardo et al., 2013)

Una vez que se han expuesto los indicadores que van a dar la información necesaria para realizar la auditoría, mostrando los puntos débiles de la instalación, cabe exponer como actuar para mejorar la eficiencia energética de la red.

Tras obtener los resultados para cada uno de los indicadores, existen varias estrategias para mejorar el rendimiento de éstos.

En primer lugar I_1 , que enseña cual es la energía de entrada a la red, con respecto de la energía mínima necesaria. Las estrategias para mejorarlo podrían incluir un rediseño de la red variando los diámetros y de esta manera bajar las perdidas por fricción o instalando bombas de velocidad variable para un mejor ajuste de los requerimientos de presión. En lo referente a I_5 muestra el exceso de presión (energía) respecto del mínimo útil. Se puede mejorar con elementos de regulación, como válvulas o bombas de velocidad variable. I_1 e I_5 , revelan si con la sectorización de la instalación se podría reducir el gasto energético (reagrupando hidrantes).

5. Un enfoque alternativo

Respecto I_2 , su mejora pasa por reducir la energía desperdiciada, aquella que no llega al cultivo, las acciones dirigidas a una mejora de la gestión de la red, tales como trabajar con rendimientos de bombeos lo más alto posibles, valorar el hecho de introducir bombas de velocidad variable, tener un control activo de fugas, etc.

El indicador I_3 , indica la cantidad de energía que se disipa, valores normales son entorno a 0.33 son típicos para una red de riego, se puede influir mediante el tipo de riego, contra más rígido sea, se contribuye a unos caudales circulantes menores, reduciendo la energía perdida mediante la fricción.

En cuanto a I_4 , revela la cantidad de energía que escapa a través de las fugas, un control activo es vital para reducir este indicador.

El nuevo indicador introducido I_6 , como se ha citado en párrafos anteriores, divide la energía perdida debido a la fricción, en los elementos tales como tuberías, válvulas de control e hidrantes (Pardo et al., 2013), estos componentes tienen gran importancia en la red de riego, ya que están muy presentes, y dividir su gasto de forma individual, va a concretar donde se produce el mayor consumo energético, esto ayudará a focalizar esfuerzos, con el fin de reducirlo.

Como se observa la realización de una auditoría energética es compleja, al igual que se debe emplear una cantidad de tiempo importante, para llevarla a cabo, siendo objeto del presente estudio introducir los conceptos de la misma, pero no realizar una auditoría energética completa, en cambio, a continuación si que se analizan las alternativas y procesos de mejora del sistema.

5.5 Conclusión

Una vez concluida la auditoría, y tras observar los indicadores, que dan una visión global de la situación de la red, y explicar en que influyen cada uno de ellos, es necesario **analizar los resultados**. Hay una serie de posibilidades que hay contemplar, tales como que las bombas funcionen fuera de su punto de trabajo (problema energético), que las fugas sean elevadas (problema hídrico y energético) o que la energía entregada a los usuarios pueda reducirse (se excede el mínimo impuesto). En esta etapa se efectuará una primera estimación de qué energía perdida es más fácil recuperar. Para ello se establecerán indicadores comparativos de eficiencia. Por ejemplo, dependiendo de la potencia de una bomba, qué rendimiento mínimo es aceptable, cuáles son las pérdidas unitarias admisibles por fricción, qué nivel de fugas es razonable,... Estos valores permitirán efectuar una primera valoración de las actuaciones a estudiar más a fondo (análisis coste – beneficio) en la siguiente fase.

En muchas ocasiones se puede reducir el consumo de energía mejorando la operación del sistema. Ello pasa, por ejemplo cambiando el tipo de riego, de un sistema a la demanda a uno donde se riegue por turnos o incluso, reordenar estos turnos en función de las cotas de los hidrantes y de factores agronómicos (tipo de cultivo, suelo). Otra posibilidad anteriormente mencionada, es ajustar la presión mediante bombas de velocidad variable, lo cual siempre es

una mejora energética. Incluso ajustarla con válvulas reductoras de presión, pues aunque es una medida que no reduce directamente el gasto energético, como las fugas se reducen, hay un ahorro indirecto. Operar las bombas para que funcionen en sus puntos de mayor rendimiento. Es un cuerpo de doctrina bien fundamentado que permite identificar el modo de operación más eficiente con el objetivo final de reducir bien la energía, bien el precio final que se paga por ella (muy sensible a cómo se gasta en el tiempo la energía).

Pero estas soluciones no son automáticas, conviene identificar y desarrollar estrategias para operar de modo más eficiente estos sistemas. Desde simples acciones lógicas (mejor programación de riegos) hasta sofisticadas herramientas, los modelos de optimización, que identifican la mejor combinación de las actuaciones (arranques y paradas de bombas, regulación de la red, minimización de las fugas, etc.). Analizar, también, los modelos de contratación de la energía, relacionándolos con el ahorro final de la factura energética. Un análisis económico de la factura energética puede aconsejar aumentar el consumo energético (kWh), haciéndolo, eso sí, a horas en que el kWh es más barato. Contemplar, en estos casos, cómo alteraría el orden establecido la inclusión de los costes ambientales (que siempre favorecerán las soluciones de menor consumo energético).

Todo ello debe concluir con un **estudio coste-beneficio**, que permita dirimir las alternativas a adoptar, siempre tras el análisis exhaustivo, fijando un orden de prioridades de las inversiones a realizar (cambios de bombas, mejorar la regulación instalando variadores de frecuencia, cambio de tuberías, reparación de fugas, instalación de PATs, -Pumps as Turbines-, en sustitución de VRP, ...). Determinar, a partir de los precios vigentes, el periodo de amortización de cada inversión.

Capítulo 6

Conclusiones

Tras analizarse en profundidad la problemática que envuelve al binomio agua-energía en las actuales redes de riego a presión, el presente trabajo trata de destacar las principales conclusiones que se extraen.

En los últimos años para llevar a cabo la transformación del regadío se han materializado numerosas infraestructuras. Sin embargo, en su diseño y construcción no se ha prestado la debida atención a la eficiencia, tanto desde la óptica hídrica como desde la energética. Pero como atrás han quedado años de abundancia, en los que la energía no se veía como un factor limitante, ahora hay que revertir la situación. La eficiencia, tal cual se desprende del contenido de numerosas directivas, es en Europa un objetivo prioritario. También los Fondos Sociales Estructurales se han adecuado a los nuevos tiempos. Con ellos no se promoverán nuevas obras, antes bien se financiarán mejoras en las ya existentes.

El problema no se ha pasado por alto en España, sobre todo, teniendo en cuenta la escasez y la estacionalidad del recurso, acrecentándose el problema desde la zona de Levante hacia el sur del territorio. Cuestión que cobra más auge si cabe tras la liberación del precio de la energía en los últimos años, con la supresión de las ayudas al regadío, anteriormente citado. Desde el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), se ha elaborado un protocolo de auditoría energética en comunidades de regantes, el cual ha cobrado gran relevancia en el territorio español, además de destinarse ayudas subvencionadas, como es el caso de AVEN en la Comunidad Valenciana, dinero entregado a las comunidades de regantes para que llevarsen a cabo la auditoría propuesta por el IDAE.

El presente trabajo ha tratado de analizar el protocolo del IDAE, llegando a la conclusión de que más que una auditoría energética como tal, es una primera aproximación, que estima los puntos de mayor derroche energético. Es insuficiente si se pretende llevar a cabo un análisis global de la instalación, reiterando lo argumentado a lo largo del trabajo, no tiene en cuenta la hidráulica, error grave, ya que, es el agua la que lleva la energía, haciendo imprescindible su control y evolución a lo largo de la red de riego.

El objetivo fundamental del presente trabajo ha sido plantear una nueva propuesta, que marque la pauta a seguir, pero estableciendo unos pasos claros.

Antes de realizar una auditoría completa, con el consabido tiempo y esfuerzo por parte de todos los agentes implicados, tanto técnicos como gestores de la comunidad de regantes, y en algunos casos incluso no será necesario, ya que, los márgenes de mejora no van a suponer grandes cambios, se trata de llevar a cabo un primer diagnóstico.

Este primer diagnóstico, se realizará de forma sencilla y rápida, definiendo un volumen de control desde los puntos de captación hasta los de consumo. Son necesarios los datos expuestos en el apartado 5.2 (Requisitos básicos para poder realizar el primer diagnóstico), se obtendrán unos indicadores básicos que van a permitir tener una visión general del conjunto, actuando en consecuencia tras observar el margen de mejora. Si la instalación está trabajando bien, se acaba el proceso, en cambio, si el la diferencia es considerable se prosigue, realizando una auditoría completa.

En la segunda etapa, se debe empezar con una auditoría hídrica, ya que el agua es la que lleva la energía. Las fugas suponen una pérdida de energía importante, cada vez son

6. Conclusiones

mayores a medida que envejecen los materiales en la instalación. Se tiene que seguir con la auditoría energética, ver cómo se utiliza la energía, y conocer los puntos donde se pierde, es decir controlar sus usos finales. En esta etapa la herramienta fundamental es disponer de un modelo hidráulico calibrado.

Una vez que ha finalizado la auditoría hidráulica-energética, hay que analizar los resultados obtenidos, cuales son los factores en los que se puede influir y cuales vienen impuestos, tales como la topografía de la red, habrán casos donde será imposible entregar simultáneamente la presión mínima en todos los puntos de la instalación.

Llega un momento en el que habrá que priorizar en las medidas a adoptar, tanto en la inversión, como puede ser el caso de instalar variadores de frecuencia en las bombas, control y reparación de las fugas, como en la gestión, puede ser el caso de tratar de igualar los caudales en los diferentes turnos de riego.

El siguiente paso es tratar de mejorar la eficiencia energética mediante inversiones, para ello, se debe programar un plan de actuaciones, para decidir que cambiar en la instalación, es necesario realizar un análisis coste-beneficio del abanico de posibilidades, para reducir la energía malgastada. Citando algunas alternativas, tales como, mejorar el rendimiento de las bombas, instalación de variadores de frecuencia, realizar estudios en los casos donde se desperdicie energía de forma crónica, para poder montar bombas que trabajen como turbinas, recuperando así la energía. Establecer el periodo de reparación o en su defecto renovación de tuberías. Llevar a cabo un estudio de amortización de la inversión a realizar.

Un tema que no forma parte de la auditoría pero que se menciona porque atañe a la gestión, es el análisis de las tarifas eléctricas. 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, (IDAE, 2008).

El camino que queda por recorrer es largo, pero teniendo claro las ideas expuestas, no se hace tan sinuoso, y la senda a seguir esta bien definida.

Concluir diciendo que el presente trabajo ha intentado introducir las bases y pautas de la forma de proceder, todo esto se tiene que desarrollar y profundizar, siendo objeto de estudio por un nuevo proyecto europeo que tiene como misión mejorar la eficiencia del transporte de agua a presión.

Capítulo 7

Referencias bibliográficas

7. Referencias bibliográficas

Referencias bibliográficas

Abadía, R., Rocamora, C. y Antonio Ruiz, A., 2008

Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes

Esta publicación está incluida en el fondo editorial del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), en la serie “Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura”, Abril 2008

Cabrera, E.; Pardo, M. A.; Cobacho R.; Arregui, F.J. y Cabrera, E. Jr., 2010

Energy Audit of Water Networks

J. of Water Resources Planning and Management. ASCE. Nov-Dic. 2010. pp 669-677

Corominas, J., 2010

Agua y energía en el riego en la época de la sostenibilidad

Ingeniería del Agua. Vol, 17, nº3. Septiembre 2010. pp. 223-234

Ederra, I. y Murugarren, M., 2010

La nueva tarifa eléctrica: la escalada de precios del agua de riego

www.riegosdenavarra.com/publica/TarifasElectricas020310.pdf, 2 de Marzo de 2003

Federación Nacional de Comunidades de Regantes (FENACORE), 2009 y 2012

La electricidad representa ya el 30% de los costes del regadío

<http://www.ioncomunicacion.es/noticia.php?id=6168>, 20 de Noviembre de 2009

Los regantes piden rebajar los costes energéticos por la sequía

<http://www.fenacore.org/empresas/fenacore2/Notas%20de%20Prensa/2012.03.28%20costes%20energeticos.pdf>, Marzo de 2012

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2005

Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío

Publicación ha sido elaborada y editada por IDAE, y está incluida en el fondo editorial de este Instituto, en la Serie “Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura”, Octubre de 2005

López M., 2007

El regadío y el sector tecnológico español del riego: un referente mundial de la nueva cultura del agua

Foro hispano-chino del agua- Dongying, 15 de Octubre de 2007

Moreno, M. A.; Córcoles, J.; Moraleda, D.; Martínez, A. and Tarjuelo, J. M., 2010

Optimization of Underground Water Pumping

Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE. June 1, 136(6), 414-420
2010

Pardo, M.A., Manzano, J., Cabrera, E. and García-Serra, J.

Energy Audit of Irrigation Networks

Biosystemas Engineering 115, 15 February 2013, pages 89-101

Pérez, L. and Burt, C. M., 2012

Characterization of pumps for irrigation in central California: Potential energy savings.

Journal of Irrigation and Drainage ASCE, Septiembre de 2012

Rocamora, C., Abadía, R., y Ruiz A., 2008

Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), incluida en la serie “Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura”, Abril de 2008

Rodríguez, J.A., Camacho, E. and Blanco, M., 2011

7. Referencias bibliográficas

Evaluation of water and energy use in pressurized irrigation networks in southern Spain.

Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE Vol 137 n° (10), pages 644-650.

Servicio Integral de Asesoramiento al Regante (SIAR), Consejería de Agricultura y Desarrollo Rural de Castilla-La Mancha y Centro Regional de Estudios del Agua (CREA) Universidad de Castilla-La Mancha, 2009

Eficiencia energética en instalaciones de riego.

crea.uclm.es/siar/publicaciones/pdf/HOJA17.pdf, Abril de 2009

Yusta, J. M., 2011

Contratación del suministro eléctrico.

Curso de gestión energética industrial, Junio de 2011