



Universitat de Lleida  
Departament d'Enginyeria  
Agroforestal



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Agrària de Lleida

***ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL  
SECTOR XXI DE LA COMUNIDAD DE REGANTES  
“SAN PEDRO” DE CASTELFLORITE (HUESCA)***



**PROYECTO FINAL DE CARRERA  
INGENIERÍA AGRONÓMICA  
ENERO 2011**

***AUTOR: Javier Bareche Sahún  
ORIENTACIÓN: Ingeniería Rural  
TUTOR: Joaquim Monserrat Viscarri***

## **RESUMEN**

El presente Proyecto Final de Carrera, titulado “*Estudio de la eficiencia energética del sector XXI de la Comunidad de Regantes “San Pedro” de Castelflorite (Huesca)*”, tiene como objetivo analizar energéticamente el bombeo del sector XXI de dicha Comunidad de Regantes. El proceso seguido ha consistido en diagnosticar la situación actual, identificar los puntos críticos menos eficientes y establecer una serie de medidas destinadas a gestionar de forma más eficiente y sostenible los recursos energéticos. Estas medidas se han estudiado cuantificando el impacto energético y económico que supondría su implantación, así como su viabilidad.

# ÍNDICE

	<b><u>Pág.</u></b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>12</b>
<b>3. ANTECEDENTES</b>	<b>13</b>
<b>4. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>17</b>
<b>4.1. ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>17</b>
4.1.1. Sectores XX y XXI	20
<b>4.2. OBTENCIÓN DE LOS DATOS</b>	<b>30</b>
<b>4.3. MODELIZACIÓN DE LAS BOMBAS</b>	<b>33</b>
4.3.1. Bombas conectadas en paralelo	34
4.3.2. Variación del régimen de giro	35
<b>4.4. EFICIENCIA ENERGÉTICA GENERAL</b>	<b>36</b>
4.4.1. Eficiencia energética del bombeo (EEB)	36
4.4.2. Eficiencia de suministro energético (ESE)	38
<b>4.5. FACTOR DE POTENCIA</b>	<b>42</b>
<b>5. RESULTADOS</b>	<b>43</b>
<b>5.1. SITUACIÓN ACTUAL</b>	<b>43</b>
5.1.1. Funcionamiento de las bombas	43
5.1.2. Organización de la demanda	44
5.1.3. Indicadores	44
<b>5.2. FUNCIÓN DE DENSIDAD</b>	<b>45</b>
<b>5.3. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS</b>	<b>48</b>

5.3.1. <i>Curvas características teóricas de las bombas</i>	48
5.3.2. <i>Curvas características experimentales</i>	52
<b>5.4. EFICIENCIA ENERGÉTICA GENERAL</b>	<b>57</b>
5.4.1. <i>Eficiencia energética del bombeo</i>	57
5.4.2. <i>Eficiencia de suministro energético</i>	58
5.4.3. <i>Eficiencia energética general</i>	60
<b>5.5. FACTOR DE POTENCIA</b>	<b>60</b>
<b>6. PROPUESTAS DE MEJORA</b>	<b>62</b>
6.1. <i>EVITAR CAUDALES INFERIORES A 40 L/S</i>	63
6.2. <i>CAMBIO EN LA SECUENCIA DE LAS BOMBAS</i>	64
6.3. <i>AJUSTE DE LA PRESIÓN DE CONSIGNA SEGÚN LOS TIPOS DE HIDRANTE PROGRAMADOS</i>	65
6.4. <i>ESTABLECIMIENTO DE TURNOS DE RIEGO</i>	70
<b>7. RESUMEN</b>	<b>74</b>
<b>8. CONCLUSIONES</b>	<b>76</b>
<b>ANEJOS</b>	<b>77</b>
<i>ANEJO N° 1. CARACTERÍSTICAS DE LOS HIDRANTES DEL SECTOR XXI</i>	78
<i>ANEJO N° 2. NIVEL DE LA Balsa</i>	80
<i>ANEJO N° 3. PROGRAMACIÓN CAMPAÑA 2009</i>	84
<i>ANEJO N° 4. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS (FABRICANTE)</i>	95
<i>ANEJO N° 5. IMÁGENES</i>	96
<i>ANEJO N° 6. PLANOS</i>	103
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>104</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b><u>Pág.</u></b>
<i>Tabla 1. Comparación España - Europa / California (Fuente: Ambienta<sup>1</sup>)</i>	7
<i>Tabla 2. Consumos y superficies CR San Pedro</i>	18
<i>Tabla 3. Área ocupada por cada cultivo</i>	29
<i>Tabla 4. Indicadores</i>	45
<i>Tabla 5. Resultados experimentales del funcionamiento real del bombeo</i>	53
<i>Tabla 6. Resultados según modelización del bombeo</i>	53
<i>Tabla 7. Comparación rendimiento teórico y real.</i>	54
<i>Tabla 8. Calificación energética de la eficiencia de los bombeos. (Fuente: IDAE)</i>	57
<i>Tabla 9. Energía demandada por las parcelas</i>	59
<i>Tabla 10. Calificación energética en función de EEG. (Fuente: IDAE)</i>	60
<i>Tabla 11. Energías acumuladas en los contadores de la CR San Pedro</i>	61
<i>Tabla 12. Factores de potencia de cada sector</i>	61
<i>Tabla 13. Presión de consigna por ramales</i>	67
<i>Tabla 14. Presiones de consigna propuestas</i>	68
<i>Tabla 15. Turnos de riego óptimos</i>	71
<i>Tabla 16. Horas de riego de cada hidrante Julio-Agosto 2009</i>	72
<i>Tabla 17. Turnos hipotéticos en la campaña 2009</i>	73
<i>Tabla 18. Resumen propuestas de mejora</i>	75
<i>Tabla 19. Hidrantes sector XXI red de presión forzada (Año 2009)</i>	79
<i>Tabla 20. Nivel de la balsa (m) durante la campaña 2009</i>	82
<i>Tabla 21. Programación julio 2009</i>	85

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b><u>Pág.</u></b>
<i>Fig. 1. Superficie regada (ha) según origen y sistema de riego. Año 1997. (Fuente: IDAE<sup>2</sup>)</i>	8
<i>Fig. 2. Demanda energética primaria (ktep<sup>3</sup>) en la agricultura. Año 1995. (Fuente: IDAE)</i>	9
<i>Fig. 3. Evolución del término de energía (€/kWh). (Fuente: SIRASA<sup>4</sup>)</i>	10
<i>Fig. 4. Evolución del término de potencia (€/kW y mes). (Fuente: SIRASA)</i>	10
<i>Fig. 5. Gráfico de consumos CR San Pedro</i>	18
<i>Fig. 6. Vista aérea de la zona de influencia de la CR San Pedro</i>	19
<i>Fig. 7. Vista general de la estación de bombeo y las tuberías de impulsión de los diferentes sectores</i>	23
<i>Fig. 8. Estación concentradora N° 2</i>	25
<i>Fig. 9. Histograma de tamaño de parcela (red de presión forzada)</i>	27
<i>Fig. 10. Histograma de cotas de hidrante (red de presión forzada)</i>	28
<i>Fig. 11. Volúmenes consumidos mensualmente por la red de presión forzada (2009)</i>	29
<i>Fig. 12. Gráfico de porcentajes de área cultivada</i>	30
<i>Fig. 13. Histograma de proporción de horas de riego reales y teóricas</i>	32
<i>Fig. 14. Triángulo de potencias</i>	42
<i>Fig. 15. Histograma de frecuencia de bombas en marcha</i>	45
<i>Fig. 16. Histograma de los caudales registrados en la campaña 2009</i>	46
<i>Fig. 17. Histograma del caudal suministrado con una bomba en uso</i>	46
<i>Fig. 18. Histograma del caudal suministrado con dos bombas en uso</i>	47
<i>Fig. 19. Histograma del caudal suministrado con tres bombas en uso</i>	47
<i>Fig. 20. Ajuste de las curvas características</i>	49
<i>Fig. 21. Funcionamiento en paralelo</i>	50
<i>Fig. 22. Comportamiento teórico de una bomba a distintas velocidades de giro</i>	51
<i>Fig. 23. Funcionamiento teórico 2 BVF + 1BVV</i>	52
<i>Fig. 24. Rendimiento del bombeo según el caudal impulsado</i>	55
<i>Fig. 25. Potencia consumida en función del caudal</i>	56
<i>Fig. 26. Histograma de caudales sin <math>Q &lt; 40</math> l/s</i>	63
<i>Fig. 27. Rendimiento del bombeo según el caudal con la nueva propuesta</i>	64

<i>Fig. 28. Presión de consigna según la proporción de hidrantes abiertos</i>	66
<i>Fig. 29. Gráfico de frecuencias del nivel de la balsa</i>	83
<i>Fig. 30. Acequia de Terreu</i>	97
<i>Fig. 31. Captación de la Acequia de Terreu</i>	97
<i>Fig. 32. Balsa de almacenaje</i>	98
<i>Fig. 33. Filtro después de balsa</i>	98
<i>Fig. 34. Estación de bombeo</i>	99
<i>Fig. 35. Bombas sector XXI</i>	99
<i>Fig. 36. Transductor de presión y caudalímetro</i>	100
<i>Fig. 37. Contador general de energía eléctrica</i>	100
<i>Fig. 38. Detalle hidrante 34</i>	101
<i>Fig. 39. Filtro y válvula del sistema de riego (hidrante 43)</i>	101
<i>Fig. 40. Parcela con aspersión (hidrante 43)</i>	102
<i>Fig. 41. Parcela con goteo (hidrante 50)</i>	102

## 1. INTRODUCCIÓN

España es el país europeo que más superficie semiárida posee, llegando ésta a tomar una proporción superior a los dos tercios. Otro inconveniente que tiene nuestro país es que las lluvias se dan en menor cantidad y con mayor irregularidad. En contraposición, España ostenta la mayor extensión de regadíos de toda Europa. A pesar de que ningún país tiene una extensión tan grande sometida a esta excepcionalidad hidrológica, el consumo de agua en España es similar a la media europea e incluso inferior al de California, un ejemplo habitual de elevada eficiencia.

Tabla 1. Comparación España - Europa / California (Fuente: Ambienta<sup>1</sup>)

País	Regadío (miles de ha)	Dotación media (m <sup>3</sup> /ha/año)	Recursos (hm <sup>3</sup> /año)	
Alemania	475	3.842	<b>España</b>	<b>California</b>
Austria	4	15.000	110.000	95.405
Bélgica	1	14.029	<b>Capacidad de embalse (hm<sup>3</sup>/año)</b>	
Dinamarca	481	800	<b>España</b>	<b>California</b>
España	3.487	7.010	52.000	52.000
Finlandia	64	1.245	<b>Dotación media (m<sup>3</sup>/ha/año)</b>	
Francia	1.330	3.017	<b>España</b>	<b>California</b>
Grecia	1.328	3.150	7.010	Superior
Italia	2.710	11.883		
P. Bajos	565	224		
Portugal	632	6.066		
Reino Unido	108	15.932		
Suecia	115	1.508		
Total Europa	11.641	6.351		

El incremento de las zonas de regadío y modernización de los mismos es un hecho. Según el Plan Nacional de Regadíos, aprobado por el Real Decreto 329/2002, de 5 de abril, “El regadío es una pieza fundamental del sistema agroalimentario español. El regadío aporta más del 50% de la producción final agraria, ocupando solamente el 13% de la superficie agrícola útil de nuestro país. Una hectárea de regadío produce, por término medio, unas 6 veces lo que una hectárea de secano y genera una renta cuatro veces superior, que además es más segura, permite diversificar producciones y aporta una elevada flexibilidad”.

<sup>1</sup> Revista del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino



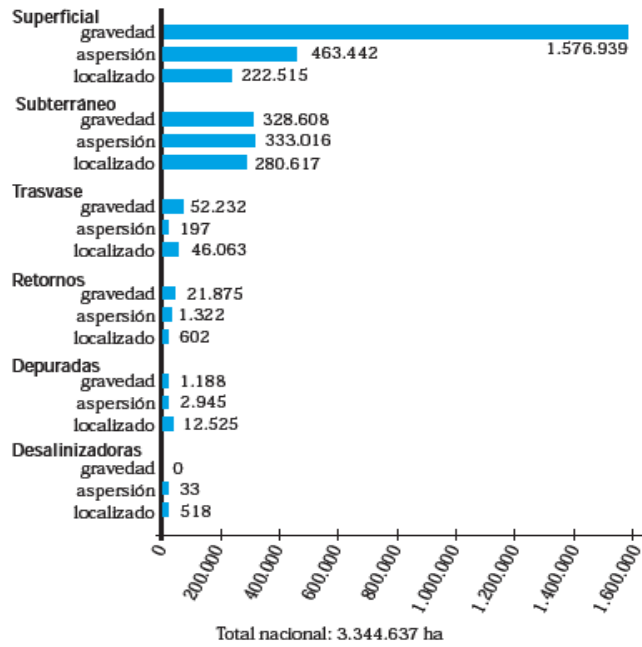


Fig. 1. Superficie regada (ha) según origen y sistema de riego. Año 1997. (Fuente: IDAE<sup>2</sup>)

Como se observa en el gráfico anterior, en el año 1997 existía una gran cantidad de superficie regada mediante gravedad. La modernización de regadíos ha hecho que, para ser más eficientes en el uso del agua, se pase del sistema de riego por gravedad a otros sistemas como el riego localizado o el riego por aspersión. Dichos sistemas funcionan a presión, necesitándose presiones de 2,5-3 bares en goteo y 4-4,5 bares en aspersión (IDAE), llevando aparejada una mayor demanda energética que los riegos por gravedad y consecuentemente la construcción de nuevas estaciones de bombeo con el consiguiente incremento del consumo energético. La ya mencionada modernización e incremento de los regadíos trae consigo un mayor consumo de agua, pero también un no menos importante consumo de energía.

<sup>2</sup> Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía

	Gasóleo	Eléctrica riego	Total	% sobre España
Secano	1.349	0	1.349	1,33
Bombeos regadío	224	613	837	0,83
Labores regadío	424	-	424	0,41
Pesca	853	0	853	0,83
Otros	100	0	100	0,10
Total	2.950	613	3.563	3,5

Fig. 2. Demanda energética primaria (ktep<sup>3</sup>) en la agricultura. Año 1995. (Fuente: IDAE)

El regadío suponía en 1995 una demanda de 1.261 ktep. Según cifras del Plan Nacional de Regadíos, en el horizonte del año 2008 se esperaba un incremento de consumo de 759 GWh.

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

Un aspecto que deben tener en cuenta las Comunidades de Regantes es el precio de la energía dado el incremento de demanda energética sufrido debido a la modernización y aumento de los regadíos. Tras la liberalización del mercado eléctrico, los precios regulados por el Gobierno han desaparecido, debiendo los consumidores formalizar un contrato con las empresas comercializadoras, negociar el precio de la energía y satisfacer los peajes de acceso a las redes.

---

<sup>3</sup> Tep: tonelada equivalente de petróleo es una unidad de energía equivalente a 41.688 MJ ó 11.630 kWh.

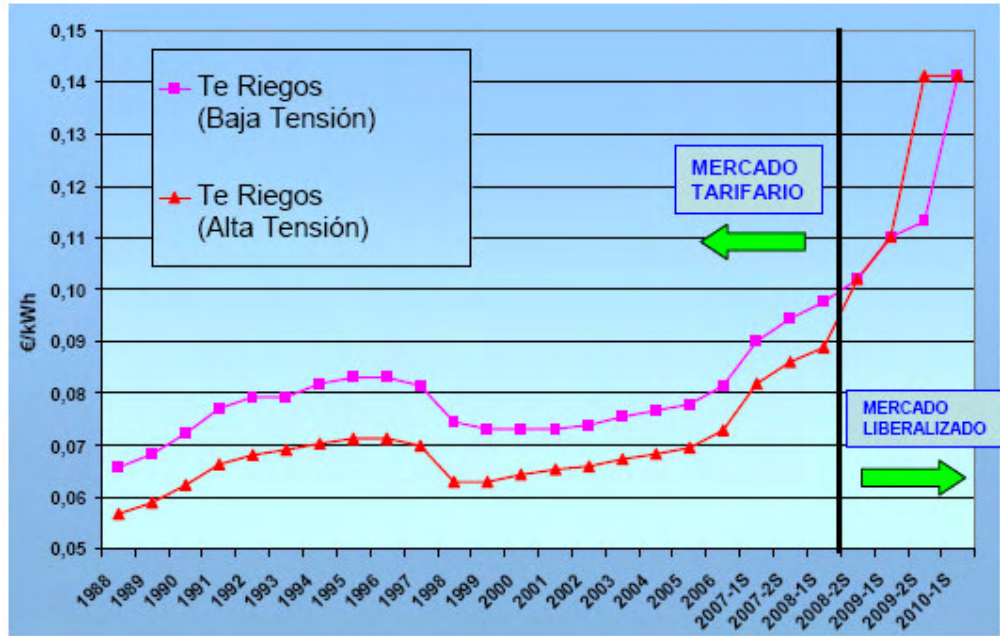


Fig. 3. Evolución del término de energía (€/kWh). (Fuente: SIRASA<sup>4</sup>)

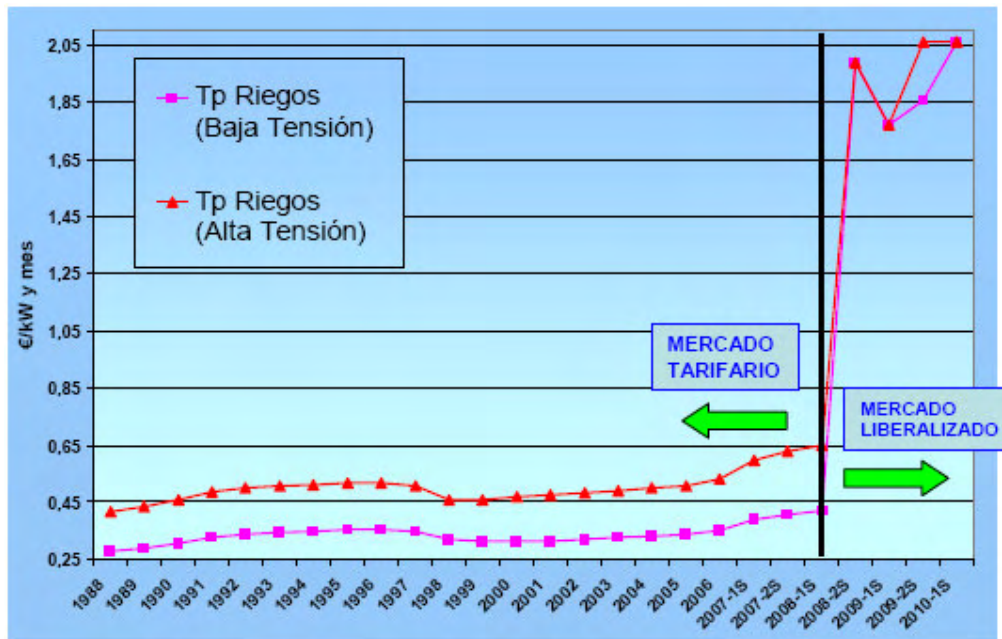


Fig. 4. Evolución del término de potencia (€/kW y mes). (Fuente: SIRASA)

<sup>4</sup> Sociedad de Infraestructuras Rurales Aragonesas S.A.

El coste del término de potencia se ha incrementado un 200% y el término de energía un 50%. Un 93% del coste de facturación se atribuye al término de energía y el 7% restante al término de potencia.

El coste energético supone el 20-30% de los costes totales en la agricultura de regadío (Blanco Pérez et al., 2009). Tanto el agua como la energía, por tratarse de recursos limitados, necesitan de una gestión eficiente, que además de traducirse en un ahorro energético y de agua, también se traduce en un ahorro económico.

## **2. OBJETIVOS**

El presente estudio tiene por objetivo analizar energéticamente el bombeo del sector XXI de la CR San Pedro de Castelflorite (Huesca) según los datos obtenidos de la campaña 2009 y de esta forma establecer una serie de medidas o recomendaciones específicas que permitan un uso más sostenible de los recursos energéticos, con la consecuente reducción de los costes de explotación.

Las medidas que se establezcan para conseguir un incremento en la eficiencia energética serán estudiadas para ver si son viables o no. Se analizará el impacto que generarían tanto económica como energéticamente en caso de que se implantasen.

Los objetivos intermedios que se pretenden alcanzar para conseguir el objetivo principal son:

- Definición de la situación actual:
  - Diagnóstico del funcionamiento de los equipos de bombeo.
  - Análisis del manejo del sector XXI.
  - Identificación de los puntos críticos de menor eficiencia.
- Propuesta de medidas que mejoren la eficiencia energética.
- Cuantificación del impacto energético y económico de las medidas de mejora y su viabilidad.

### **3. ANTECEDENTES**

El IDAE, en colaboración con el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, ha desarrollado una línea editorial en materia de eficiencia energética en el sector agrario con el fin de concienciar a los agentes del sector sobre el concepto de eficiencia energética. Esta línea editorial consta de diversos documentos técnicos donde se explican los métodos de reducción del consumo de energía en las diferentes tareas agrarias. En lo que concierne al regadío, los documentos elaborados han sido:

- Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío.
- Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes.
- Protocolo de Auditoría Energética en las Comunidades de Regantes.

En el documento “*Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío*” se contemplan un conjunto de medidas para mejorar la eficiencia del uso del agua tanto de matiz administrativo y de gestión como de matiz técnico. Algunas de estas medidas son:

- Introducción de tecnologías de riego más eficientes.
- Creación de Servicios de Asesoramiento al Regante (SAR).
- Formación a los regantes en las nuevas tecnologías y aspectos ambientales.
- Uso de tarifas binomias (volumen-superficie) con penalizaciones por excesos.
- Mejora de las redes de transporte y distribución.
- Mejoras en las regulaciones internas de balsas y/o canales.
- Mejora de los sistemas de gestión administrativa en las Comunidades de Regantes.
- Evaluación en tiempo real de las necesidades hídricas de los cultivos.

En el mismo documento, también se encuentran una serie de conceptos destinados a producir una disminución en el consumo energético. Dicho consumo se puede reducir mediante dos aspectos:

- Disminución del consumo de agua.
  - Reestructuración o modernización del sistema de riego.
  - Mejor conocimiento de las necesidades hídricas a través de los SAR.

- Adecuación del sistema de bombeo.
  - Introducción de variadores de frecuencia para el funcionamiento de bombas en régimen variable.
  - Mejora de los rendimientos en los equipos de impulsión.
  - Automatización de los sistemas de mando, maniobra y control.
  - Posibilidad de construcción de depósitos operativos, en algunos casos.
  - Diseño de redes optimizadas energéticamente.
  - Mejora del factor de potencia.
  - Elección de la tarifa más adecuada.

En el documento “*Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes*” se proponen una serie de medidas de ahorro y eficiencia energética en una vertiente encaminada al diseño y manejo de las instalaciones:

- Sectorización de instalaciones por sectores de cota homogénea.
- Reorganización del reparto de agua en turnos de misma demanda energética.
- Automatización de las instalaciones con sondas de presión en los puntos críticos.
- Establecimiento de un protocolo de mantenimiento periódico de las instalaciones.
- Adaptación del manejo de las instalaciones según las nuevas necesidades.

También se incluyen otra serie de pautas de ahorro de energía, esta vez en los equipos de bombeo:

- Dimensionado de los equipos de bombeo para caudales de funcionamiento habitual de la instalación.
- Instalación de pequeños grupos de bombeo en paralelo con al menos dos bombas de velocidad variable.
- Instalación de equipos de control electrónico como arrancadores estáticos.
- Simulación de la puesta en marcha de los grupos de bombeo según la demanda real.
- Mejoras en el factor de potencia de los equipos.

- Mantenimiento de los equipos.
- Adaptación en el manejo de los equipos en función de las necesidades.

Otros apartados de este documento se encaminan a la elección de las tarifas eléctricas, la valoración de las medidas de ahorro energético y a la realización de auditorías energéticas.

El documento “*Protocolo de Auditoría Energética en las Comunidades de Regantes*” desarrolla detalladamente un protocolo de auditoría energética que permite un análisis exhaustivo de la situación energética de la comunidad. Con este protocolo se pueden diagnosticar los puntos críticos menos eficientes y así dar soluciones de mejora energética de los mismos. Se establecen una serie de formularios destinados a anotar la información de la comunidad en lo referente a datos de funcionamiento interno, de suministro hídrico, de consumo energético, descripción de las infraestructuras, así como un conjunto de indicadores de uso de la energía con el fin de evaluar y calificar energéticamente a la Comunidad de Regantes.

En un estudio similar al presente trabajo, “*Eficiencia energética en la Comunidad de Regantes de Fuente Palmera*” (Carrillo Cobo et al., 2009), se realizaba un análisis de esta comunidad calificándola con una Eficiencia Energética General normal. Se tomó como medida para incrementar la eficiencia energética la reorganización de la demanda en dos turnos de riego. La simulación de esta medida supuso un ahorro de potencia del 20% y un ahorro económico del 40%. , con la ventaja de no realizar ninguna inversión costosa.

En “*Análisis de la eficiencia energética en el uso del agua de riego en Comunidades de Regantes de Andalucía*” (Blanco Pérez et al., 2008) se estudiaron 10 comunidades que disponían de red a presión. Se buscaba dar un uso más sostenible al uso del agua y la energía. Se calcularon indicadores propuestos en el “*Protocolo de Auditoría Energética en las Comunidades de Regantes*”, que mostraron la dependencia energética en el



regadío andaluz. Las conclusiones advirtieron que el consumo energético de una zona regable depende de múltiples factores como el uso del agua, la rotación de cultivos, las características de la estación de bombeo o la altura manométrica suministrada al agua. También ponía de manifiesto la necesidad de comenzar estudios de más envergadura en los regadíos con el fin de mejorar el consumo y coste energético.

En el Proyecto Final de Carrera *“Estudi de l’eficiència energètica del sector “D” de la Comunitat de Regants de Carrassumada (Torres de Segre)”* (Sala, 2010), elaborado paralelamente al presente estudio, se realizó una evaluación de la situación de dicha comunidad. Se simularon una serie de propuestas con el objetivo de obtener un ahorro energético y económico. Las medidas planteadas fueron: evitar caudales inferiores a 50 l/s, un cambio en el manejo de las bombas, establecimiento de turnos con la misma demanda energética, ajuste de la presión de consigna en función de la demanda y ajuste de la presión de consigna según la situación actual. El llevar a cabo este conjunto de medidas supuso un ahorro energético de 51.967 kWh y un ahorro económico del 22% con respecto al año de estudio (2008).

En los proyectos de obra *“Proyecto modificado N° 1 del proyecto de puesta en riego por presión del sector XXI del Canal del Cinca (Huesca)”* (SIRASA, 2004) y *“Proyecto modificado del proyecto de puesta en riego a presión del sector XX del Canal del Cinca en el T.M. de Castelflorite”* (SIRASA, 2007) se han extraído las características técnicas de la red de riego así como de la estación de bombeo, necesarias para la elaboración del presente trabajo. Los planos adjuntos también han sido extraídos de dichos proyectos.

## **4. MATERIAL Y MÉTODOS**

En este apartado se procede a describir la metodología empleada y los datos disponibles para elaborar el presente estudio.

### **4.1. ZONA DE ESTUDIO**

En el presente subapartado se procederá a describir a la Comunidad de Regantes San Pedro, así como las características más reseñables de las infraestructuras e instalaciones y los sectores de riego que controla, especialmente el sector XXI, objeto del presente estudio.

La Comunidad de Regantes San Pedro se sitúa en el término municipal de Castelflorite, en la comarca de Los Monegros y en la provincia de Huesca. La localidad se asienta en la franja oriental lindando con las comarcas de Somontano de Barbastro y Cinca Medio. Dista 55 kilómetros de la capital provincial.

Se encuentra integrada en la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón. Engloba los términos municipales de Castelflorite, San Miguel de Cinca, Alcolea de Cinca, Peralta de Alcofea y Sariñena. Se controlan los sectores hidráulicos XVII, XVII, XIX<sup>5</sup>, XX y XXI del Canal del Cinca. Estos sectores son establecidos por la Comunidad General de Riegos del Alto Aragón ya mencionada y la Confederación Hidrográfica del Ebro.

La superficie regable asciende a 5.206,64 ha y el consumo total de la comunidad en la campaña 2009 fue de 21.474.636 m<sup>3</sup>. El reparto de estos dos valores por zona se muestra en la tabla y gráfico siguientes:

---

<sup>5</sup> Los sectores XVII, XVIII y XIX se encuentran dentro de las llamadas Zona Alta y Zona Baja

Tabla 2. Consumos y superficies CR San Pedro

	Superficie (ha)	Consumo (m <sup>3</sup> )
<b>Zona Alta</b>	1.659,67	6.527.700
<b>Zona Baja</b>	2.220,17	9.748.025
<b>Sector XX</b>	255,40	406.020
<b>Sector XXI</b>	1.071,40	4.792.891

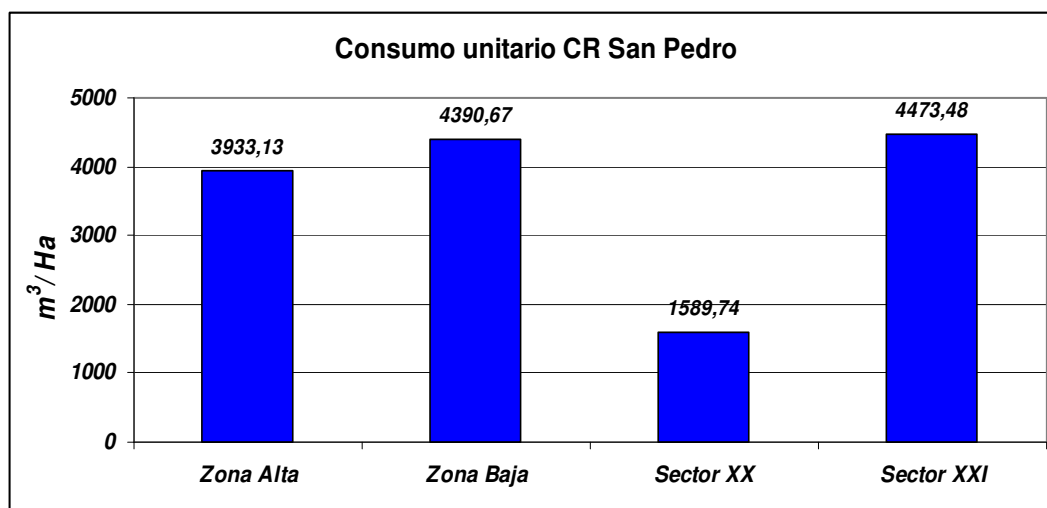


Fig. 5. Gráfico de consumos CR San Pedro



Fig. 6. Vista aérea de la zona de influencia de la CR San Pedro

#### **4.1.1. Sectores XX y XXI**

##### **4.1.1.1. Captación**

La captación es común a ambos sectores, se realiza mediante la Acequia de Terreu y por gravedad. El fondo de la acequia se sitúa a una cota de 326 metros y el caudal máximo de llenado de la balsa de almacenaje es de 2,24 m<sup>3</sup>/s.

La obra consiste en una compuerta de 80 x 80 cm precedida de una rejilla, una embocadura de llenado de 4 m de longitud y 1 m de anchura y un cajón de hormigón de 60 cm de ancho, 24 m de largo y una pendiente del 40% que conduce el agua hasta la balsa.

##### **4.1.1.2. Balsa de almacenaje**

Esta instalación también es compartida por ambos sectores. La balsa tiene una capacidad de 222.212 m<sup>3</sup>. La coronación de la balsa se sitúa a una cota de 324,25 m y la de fondo a 315,25 m.

El dique de la balsa se compone de un núcleo de tierras sin clasificar, revestido interiormente por un espaldón de margas arcillosas y limos y sobre éstos, una escollera de espesor 50 cm. El talud interior responde a una proporción horizontal:vertical (H:V) 2,5:1 y el talud exterior 2:1.

La balsa dispone de un aliviadero superficial de 3,60 m de anchura, de paredes y solera de hormigón armado de 35 cm de espesor, que vierte el agua por una rampa de la misma anchura y muretes de 0,5 m de altura hasta un colector que limita la balsa por el lado sureste.

En el fondo de la balsa se dispone de una arqueta de 3,20 x 2,00 x 4,15 m. De esta arqueta salen dos tuberías de acero St-37 y de 800 mm de diámetro con una pendiente del 0% y rodeadas de hormigón armado con un espesor de 20 cm en cualquier dirección,

que atraviesan el dique y desembocan en el filtro en carga situado al pie del talud de la balsa y justo antes del edificio de la estación de bombeo.

#### **4.1.1.3. Filtro en carga**

Para evitar problemas de obturaciones en los elementos de la instalación se ha dispuesto de un filtro en carga antes de la estación de bombeo. Dicho filtro funciona para los dos sectores. La instalación del filtro consta de los siguientes elementos:

- Calderería en “pantalón” de unión de las tuberías de salida de la balsa de diámetro 800 mm a una tubería de diámetro 1.200 mm.
- Válvula de seccionamiento general de mariposa PN-10 diámetro 1.200 mm con reductor manual y carrete de desmontaje diámetro 1.200 mm.
- Filtro “beaudrey” en carga de diámetro 1.200 mm y malla de 4 mm.
- Calderería en “pantalón” de unión de la tubería del filtro (diámetro 1.200 mm) con una tubería de diámetro 700 mm (colector de aspiración del bombeo del sector XXI) y una de diámetro 1.000 mm, que a su vez se bifurca en una de diámetro 700 mm (tubería de presión natural del sector XXI) y otra de diámetro 600 mm (colector de aspiración del sector XX).
- 2 ventosas de 4 pulgadas y una de dos situadas sobre la tubería los entronques de las tuberías de 800 mm, 700 mm y 600 mm sobre la tubería de 1.200 mm.

El filtro en carga es autolimpiante y puede funcionar mediante programación, manualmente o por diferencia de presión. Actualmente, se limpia de forma manual cada día.

#### **4.1.1.4. Estación de bombeo**

El edificio donde se alojan las bombas del sector XXI está adjunto al del sector XX y tiene similares características constructivas. Los elementos que componen la instalación de bombeo son:

- Bombas centrífugas horizontales (4+1) marca ITUR modelo IN-150/400B capaces de impulsar 117,8 l/s a 50 m cada una, accionadas por motor eléctrico de 90 kW.
  
- Ramales de aspiración constituidos por tubería de acero St-37 (espesor 8 mm) y diámetro 250 mm, que forman un ángulo de 60° con el colector de aspiración procedente del filtro. Cada ramal está separado 3 m del anterior. Tiene una longitud total de 2 m hasta su conexión con la bomba. En el ramal aparecen los siguientes elementos por orden:
  - Válvula de compuerta diámetro 250 mm.
  - Manguito antivibraciones.
  - Carrete de desmontaje.
  - Cono de reducción excéntrico 250-200 mm.
  
- Ramales de impulsión constituidos por tubería de acero St-37 (espesor 8 mm) y diámetro 250 mm, que forman un ángulo de 60° con el colector de impulsión. Cada ramal está separado 3 m del anterior. Tiene una longitud total de 2 m hasta su conexión con el colector. En el ramal aparecen los siguientes elementos por orden:
  - Manguito antivibraciones.
  - Cono de ampliación concéntrico 150-200 mm.
  - Codo de 90°.
  - Válvula de retención diámetro 250 mm.
  - Carrete de desmontaje.
  - Válvula de compuerta diámetro 250 mm.

- Colector de impulsión formado por tubería de acero St-37 (espesor 8 mm) y diámetro 700 mm. Sobre el colector de impulsión se instalan 4 ventosas de diámetro 80 mm.
- Caudalímetro ultrasónico y transductor de presión.



*Fig. 7. Vista general de la estación de bombeo y las tuberías de impulsión de los diferentes sectores*

#### **4.1.1.5. Automatización**

La Comunidad de Regantes San Pedro dispone de un sistema automatizado en todas sus infraestructuras con el objetivo de conocerse de inmediato las posibles anomalías y facilitar la gestión administrativa con la confección de recibos o datos estadísticos.



### ***A) Centro de gestión***

Se dispone en la oficina principal, situada en la sede del Ayuntamiento de Castelflorite. Controla la automatización y gestión del riego, pudiéndose llegar a controlar 400 sectores de riego.

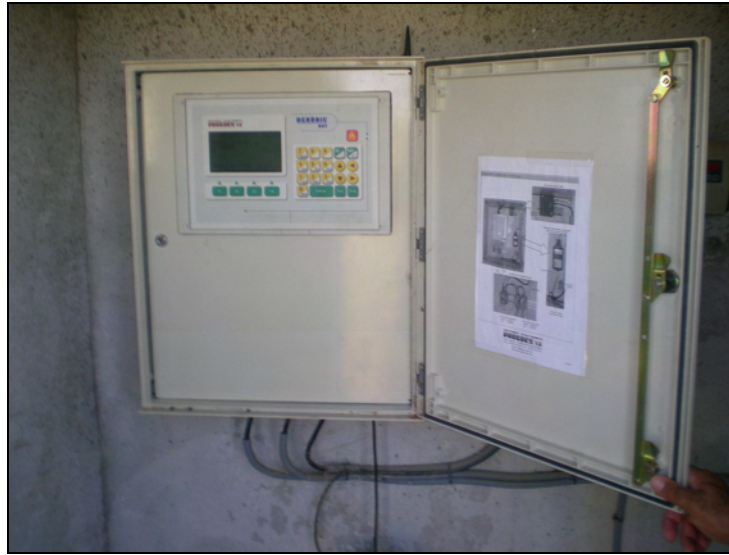
Los parámetros de control son: bombeos, caudales, control manual, limpieza de filtro, registros (acumulados, actuaciones realizadas, anomalías, historial y sondas), alarmas, visualización y gestión a través de ordenador.

### ***B) Estaciones concentradoras***

Existen tres estaciones concentradoras en el sector XXI. La primera de ellas esta situada en la estación de bombeo y envía o recibe información sobre los bombeos, el filtro, el nivel de la balsa, el caudal y presión instantáneos y una serie de hidrantes de la red de presión forzada.

La segunda de ellas, se encuentra en una caseta situada al inicio del ramal A-2-1 y controla el resto de los hidrantes de la red de presión forzada y parte de los de la red de presión natural.

La tercera se encuentra al inicio del ramal B-5, entre los hidrantes 66 y 67, y controla los hidrantes restantes de la red de presión natural. Todas las estaciones concentradoras se comunican vía radio con el centro de gestión.



*Fig. 8. Estación concentradora N° 2*

### ***C) Módulos remotos de comunicación vía radio***

Este sistema tiene una comunicación bidireccional con el hidrante. Funciona mediante pilas o placas solares. Ordena la apertura y cierre del hidrante y también mide el consumo de agua. Los datos son transmitidos vía radio a su correspondiente estación concentradora de forma codificada con una gran fiabilidad del sistema.

#### **4.1.1.6. Redes y generalidades del sector XXI**

El presente estudio se centra en el bombeo de este sector. Una parte de la superficie regada por dicho sector se hace por presión natural y la parte restante mediante bombeo directo a red. El sector XXI entró en funcionamiento en el año 2005.

### ***A) Red de presión natural***

El área regable por presión natural es de 606,02 ha. Los hidrantes pertenecientes a esta red están alejados de la estación de bombeo con respecto a los de la red de presión forzada, pero tienen la ventaja de que existe un gran desnivel entre hidrante y la tubería de abastecimiento (recordar que la tubería parte de una arqueta de fondo en la balsa situada a 311,50 m y que el nivel medio de la balsa a lo largo de la campaña está alrededor de los 7,5 m). El hidrante más desfavorable de esta red sería el primero que se abastece, el hidrante 52, situado a cota 272 m y con una presión necesaria de 45 m. Por el contrario, el hidrante 73, que es el más alejado de la red, es el de menor cota: 228 m.

La parcela de mayor tamaño alcanza las 46 ha y la de menor tamaño posee 3,26 ha, siendo el tamaño medio de parcela de esta red de 20,20 ha. La dotación media por hidrante es de 30,73 l/s. La red de presión natural está dimensionada para un caudal de 670 l/s con una garantía de suministro del 90% y posee una longitud de tuberías de 12.039 m. Se compone de un total de 30 hidrantes. El consumo de la red de presión natural durante la campaña 2009 fue de 2.820.008 m<sup>3</sup>.

### ***B) Red de presión forzada***

La superficie restante del sector XXI es regada mediante bombeo directo a red. Para ello en la estación de bombeo se disponen de 4 bombas centrífugas horizontales más una de reserva que impulsan 117,8 l/s a una presión de 50 m. La presión de consigna establecida es de 49 m, y hay que tener en cuenta el nivel de agua de la balsa, lo cual hace que las bombas realmente trabajen por debajo del punto de funcionamiento nominal.

La superficie regable de la red de presión forzada es de 465,38 ha, de las cuales en la campaña de 2009 se regaron 410,74 ha, lo que supone el 88,2% de la zona regable. Los hidrantes abastecidos por esta red se encuentran en cercanía de la estación de bombeo pero tienen cota similar a ésta, es por ello, juntamente con la presión requerida por el sistema de riego, que no alcancen a regarse por presión natural y sea necesario un

bombeo. El hidrante de mayor cota alcanza los 316 m (H22) y el de menor cota 267 m (H49).

La parcela de mayor tamaño ocupa 40,52 ha y la de menor tamaño posee 1,67 ha, siendo el tamaño medio de parcela de esta red de 12,93 ha. La dotación media por hidrante es de 25,73 l/s. La red de presión forzada está dimensionada para un caudal de 535 l/s con una garantía de suministro del 90% y posee una longitud de tuberías de 10.071 m. El caudal máximo registrado en la campaña 2009 fue de 422 l/s. Se compone de 35 hidrantes.



Fig. 9. Histograma de tamaño de parcela (red de presión forzada)

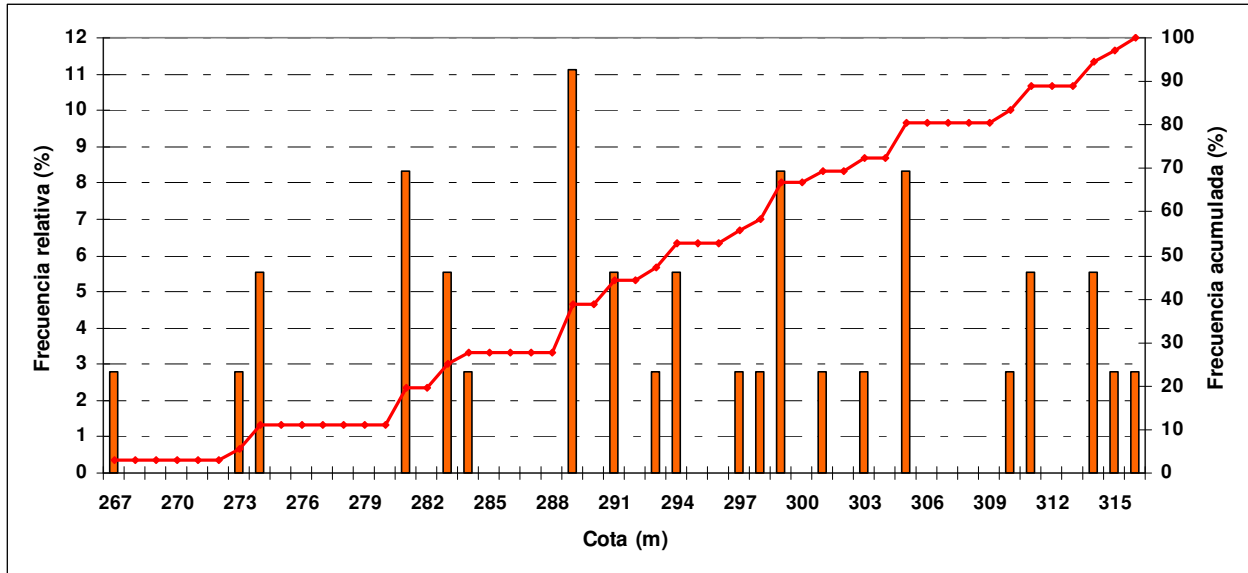


Fig. 10. Histograma de cotas de hidrante (red de presión forzada)

El volumen de agua consumido en 2009 fue de 1.972.883 m<sup>3</sup>. Posteriormente se expone en un gráfico el reparto de este consumo mes a mes. El mes de abril tuvo un período de lluvias que hizo que la demanda de agua fuera escasa con respecto a otros años. El sistema de riego casi en su totalidad es la aspersión, exceptuando los hidrantes 18 (goteo), 50 (goteo) y 49 (gravedad).

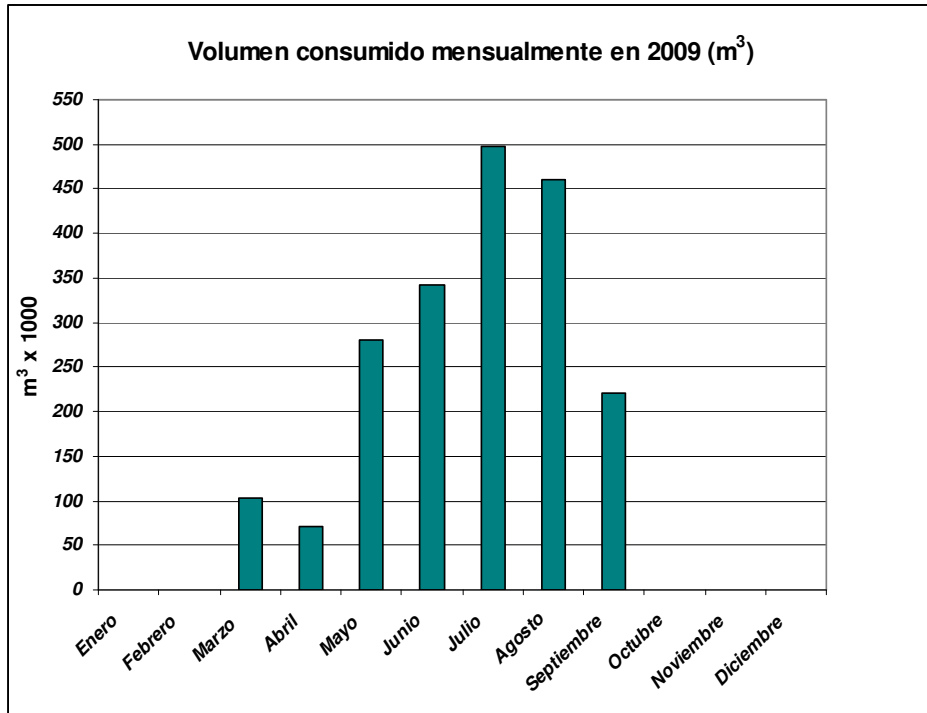


Fig. 11. Volúmenes consumidos mensualmente por la red de presión forzada (2009)

En lo que a cultivos se refiere, se encuentra mayoritariamente alfalfa, y rotaciones cebada-maíz y/o guisante-maíz o monocultivo de maíz. Otros cultivos que aparecen son el almendro, el olivo, el raygrass y el arroz. A continuación se expone una tabla con la superficie de cada cultivo y un gráfico mostrando la proporción de cada cultivo.

Tabla 3. Área ocupada por cada cultivo

Cultivo	Sup (ha)
Alfalfa	154,40
Raygrass	37,87
Olivo	26,78
Cebada/Guisante/Maíz	172,69
Arroz	9,00
Almendro	10,00
Sin cultivar	54,64

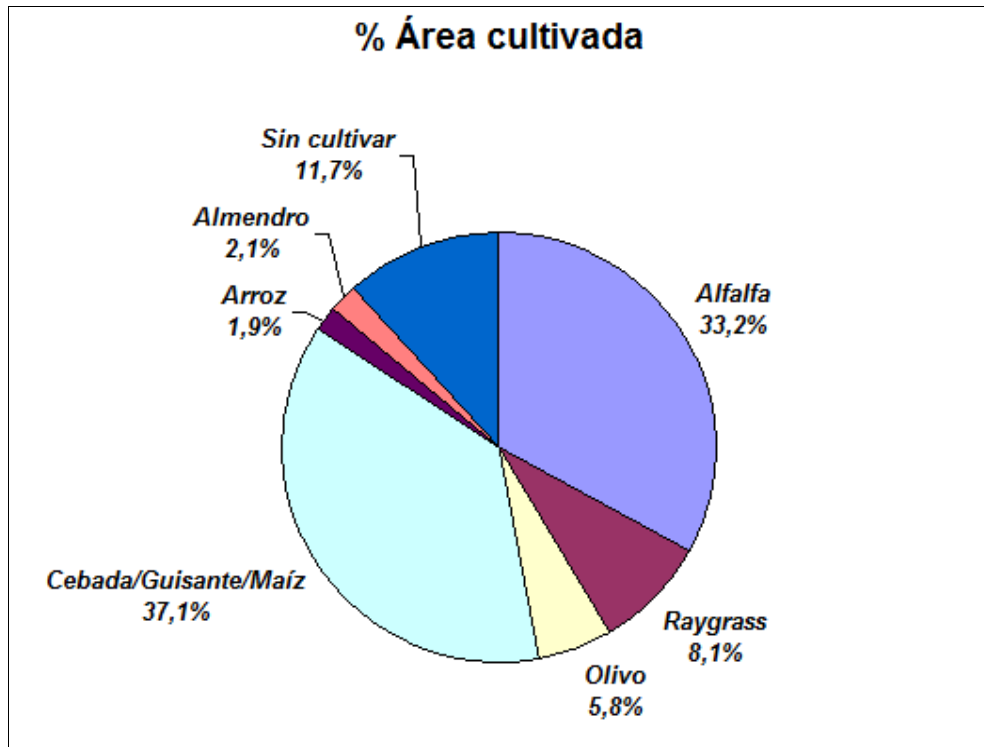


Fig. 12. Gráfico de porcentajes de área cultivada

En el anejo "Características de los hidrantes del sector XXI" se muestra más información de cada hidrante de la red de presión forzada.

#### 4.2. OBTENCIÓN DE LOS DATOS

Debido al diseño del centro de gestión que controla el sector XXI, no se han podido obtener datos instantáneos recopilados cada poco tiempo sobre variables como presión, caudal o potencia consumida necesarios para la elaboración de este trabajo. Dichos datos se almacenan durante 10 días en el ordenador pero pasado este período de tiempo automáticamente se borran. Como este proyecto se empezó a realizar en marzo de 2010 y los datos base correspondían a la campaña de 2009 se ha encontrado la imposibilidad de recopilarlos.

El centro de gestión, en cambio, sí que almacena indefinidamente los volúmenes consumidos por hidrante. El técnico de la CR San Pedro proporcionó un documento donde se anotaba diariamente las programaciones teóricas de cada hidrante. El técnico de la comunidad también explicó que a veces, a pesar de que se realice una programación, los hidrantes no riegan por diferentes motivos como fallos en la comunicación vía radio ó la no apertura de las válvulas del sistema de riego por parte del regante.

Con la programación teórica, los volúmenes consumidos por hidrante y la dotación asignada a cada hidrante, se ha procedido a comparar los volúmenes consumidos (centro de gestión) con los volúmenes teóricos (producto de la dotación y el tiempo de riego asignado mediante programación). Realizando este proceso, se han encontrado tiempos de riego superiores e inferiores a los programados. En el caso de los primeros, se ha optado por desecharlos y considerar que han regado el tiempo estipulado en la programación. En el caso de los segundos, se han dejado tal como están. El técnico de la comunidad advirtió que a veces los regantes abren sus válvulas poco después de empezar la programación o las cierran antes de acabarla. Se procura que esto no suceda, porque podrían saltar alarmas que bloquean el bombeo. Posteriormente se han de quitar manualmente. Los tiempos de riego superiores al programado, se deben normalmente a fallos en los módulos remotos.

Se ha elaborado un histograma donde se refleja mensualmente las horas de riego reales acumuladas entre todos los hidrantes y las horas de riego teóricas según la programación realizada por la comunidad.



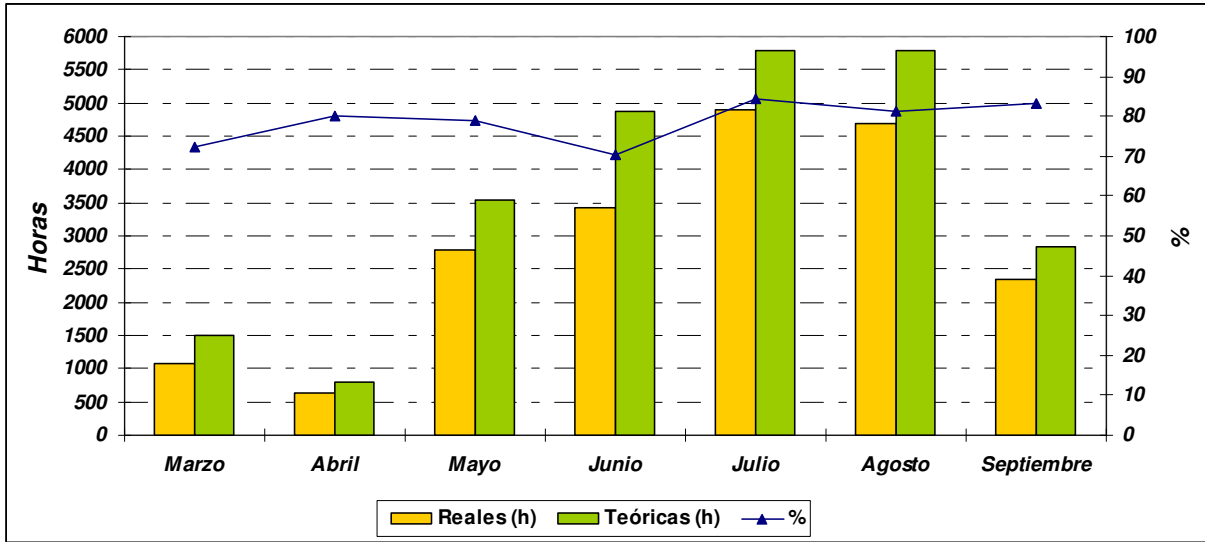


Fig. 13. Histograma de proporción de horas de riego reales y teóricas

Las horas totales de riego real y teórico son 19.874 y 25.107 respectivamente, que suponen una proporción *real/teórico* de 79,16%.

Basándonos en estas hipótesis, fiables hasta cierto punto debido a la experiencia de la comunidad, se ha elaborado una programación “real” de los riegos de la campaña 2009 que se encuentra en el anejo “*Programación campaña 2009*”, y que ha servido de base para los cálculos necesarios de este trabajo.

Una vez realizado el anejo mencionado anteriormente, se ha procedido a dividir en 24 horas cada día de la campaña 2009 y se ha anotado el caudal consumido horariamente. Este caudal es la suma de las dotaciones de los hidrantes que regaban en ese instante. Se han obtenido un total de 3320 lecturas.

### 4.3. MODELIZACIÓN DE LAS BOMBAS

En el presente apartado se describe la metodología empleada para encontrar las curvas características de la bomba a distintas velocidades de giro así como las curvas cuando están acopladas en paralelo.

Las bombas son máquinas en las cuales al fluido que las atraviesa se le comunica la energía mecánica procedente del motor de arrastre para convertirla en energía cinética y de presión. El funcionamiento de una bomba, a un régimen de giro dado, se define mediante sus curvas características  $H(Q)$ ,  $P(Q)$  y  $\eta(Q)$  (altura manométrica, potencia y rendimiento, todas ellas en función del caudal).

Para poder realizar operaciones con estas curvas, es necesario encontrar las expresiones matemáticas que las definen, quedando las curvas de altura manométrica y rendimiento de la siguiente manera:

$$H = A + B \cdot Q + C \cdot Q^2 + D \cdot Q^3 \quad (1)$$

$$\eta = E \cdot Q + F \cdot Q^2 + G \cdot Q^3 \quad (2)$$

Donde:

$A, B, C, D, E, F$  y  $G$ : Coeficientes que dependen de la bomba

$H$ : Altura manométrica de la bomba (m)

$\eta$ : Rendimiento (%)

$Q$ : Caudal (l/s)

Los coeficientes de las expresiones mostradas anteriormente se extraen de la interpolación de varios puntos de las curvas suministradas por el fabricante y ajustando las funciones polinómicas anteriores. En el anejo “*Curvas características de las bombas (fabricante)*” se pueden observar estas curvas.

Para tener un conocimiento aproximado del comportamiento de una bomba cuando se modifica el régimen de giro o se realiza un recorte del rodete, hacemos uso de las leyes

de semejanza, aplicadas en el estudio de prototipos de máquinas hidráulicas a escala reducida. Estas leyes determinan el cumplimiento de las siguientes expresiones:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \frac{N_1}{N_0} \cdot \left( \frac{\phi_1}{\phi_0} \right)^2 \quad (3)$$

$$\frac{H_1}{H_0} = \left( \frac{N_1}{N_0} \right)^2 \cdot \left( \frac{\phi_1}{\phi_0} \right)^2 \quad (4)$$

$$\frac{P_1}{P_0} = \left( \frac{N_1}{N_0} \right)^3 \cdot \left( \frac{\phi_1}{\phi_0} \right)^4 \quad (5)$$

Donde:

$Q$ : Caudal (l/s)

$H$ : Altura manométrica (m)

$P$ : Potencia (W)

$N$ : Velocidad de giro ( $\text{min}^{-1}$ )

$\phi$ : Diámetro del rodete (mm)

#### 4.3.1. Bombas conectadas en paralelo

Si se necesita suministrar un caudal mayor al que puede impulsar una sola bomba, se ha de realizar el conexionado de dos o más bombas en paralelo. Se cumple que la altura manométrica es la misma para cada una de las bombas, y el caudal resultante la suma de los caudales individuales de cada bomba. En caso de tener varias bombas iguales, el caudal individual de cada bomba es el mismo. En nuestro caso, puede darse la combinación de dos o más bombas de velocidad fija funcionando en paralelo. La expresión que determina el funcionamiento de "n" bombas iguales en una conexión en paralelo es:

$$H = A + B \cdot \frac{Q}{n} + C \cdot \left( \frac{Q}{n} \right)^2 + D \cdot \left( \frac{Q}{n} \right)^3 \quad (6)$$

$$\eta = E \cdot \frac{Q}{n} + F \cdot \left(\frac{Q}{n}\right)^2 + G \cdot \left(\frac{Q}{n}\right)^3 \quad (7)$$

Siendo “n” el número de bombas iguales conectadas en paralelo y las mismas variables descritas en las ecuaciones 1 y 2.

#### 4.3.2. Variación del régimen de giro

Se denomina “ $\alpha$ ” a la relación entre la velocidad de giro inicial “ $N_0$ ” y una velocidad de giro diferente a la inicial llamada “ $N_1$ ”.

$$\alpha = \frac{N_1}{N_0} \quad (8)$$

Sustituyendo la ecuación 8 en las ecuaciones 3 y 4 para un mismo diámetro de rodete, y sustituyendo éstas en las ecuaciones 1 y 2 se obtiene:

$$H_1 = A \cdot \alpha^2 + B \cdot \alpha \cdot Q_1 + C \cdot Q_1^2 + D \cdot \frac{Q_1^3}{\alpha} \quad (9)$$

$$\eta_1 = E \cdot \frac{Q_1}{\alpha} + F \cdot \frac{Q_1^2}{\alpha^2} + G \cdot \frac{Q_1^3}{\alpha^3} \quad (10)$$

Siendo las mismas variables definidas en las ecuaciones 1,2 y 8. El subíndice “1” representa el nuevo valor que adquieren las variables a una velocidad de giro distinta de la inicial.

Se denominan puntos homólogos de funcionamiento aquellos en los que al variar la velocidad de giro se consigue el mismo rendimiento. Combinando las ecuaciones 3 y 4 se llega a:

$$H = k \cdot Q^2 \quad (11)$$

Siendo las mismas variables de las ecuaciones 1 y 2 y “k” una constante que depende de las características de la bomba.

Esta relación nos permite hallar las curvas isorrendimiento, unas parábolas que pasan por el origen y que determinan un área de funcionamiento de la bomba asegurando un rendimiento mínimo.

#### **4.4. EFICIENCIA ENERGÉTICA GENERAL**

La eficiencia energética general (EEG) representa el rendimiento energético de una Comunidad de Regantes o de un sector de riego. Es el producto de la eficiencia energética del bombeo (EEB) y la eficiencia de suministro energético (ESE).

$$EEG = EEB \cdot ESE \quad (12)$$

Las expresiones citadas en este apartado se han extraído del “*Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes*”.

##### **4.4.1. Eficiencia energética del bombeo (EEB)**

La eficiencia energética del bombeo se define como la relación entre la potencia hidráulica suministrada y la potencia eléctrica absorbida.

$$EEB = \frac{N_s}{N_a} \cdot 100 \quad (13)$$

Donde:

$N_s$ : Potencia suministrada por el bombeo

$N_a$ : Potencia eléctrica absorbida por el bombeo

EEB: Eficiencia energética del bombeo (%)

A su vez, la potencia suministrada por el bombeo ( $N_s$ ) se puede calcular de la siguiente manera:

$$N_s \text{ (kW)} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot H_m}{1000} \quad (14)$$

Donde:

$\gamma$ : Peso específico del agua (9800 N/m<sup>3</sup>)

$Q$ : Caudal (m<sup>3</sup>/s)

$H_m$ : Altura manométrica suministrada por la bomba (m)

En un bombeo, la altura manométrica de la bomba ( $H_m$ ) es la diferencia entre la presión de salida y la presión de entrada de la bomba:

$$H_m \text{ (m)} = P_s - P_e \quad (15)$$

Donde:

$P_s$ : Presión de salida (m)

$P_e$ : Presión de entrada (m)

La altura manométrica en la entrada de la bomba varía dependiendo del nivel de la balsa. Se ha establecido un nivel fijo de la balsa de 7,50 m. En el anejo “*Nivel de la balsa*” se pueden consultar los cálculos justificativos.

Para hallar la altura manométrica proporcionada por la bomba, debido a que solamente se registra la presión de consigna a la salida del colector de impulsión, se ha realizado un balance energético desde la arqueta donde parte la tubería del colector de admisión

hasta la salida del colector de impulsión, para el nivel de la balsa mencionado en el párrafo anterior. Se ha utilizado la ecuación de Bernoulli de conservación de la energía:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \Delta h \quad (16)$$

Donde:

$z_i$ : Cota en “i” (m)

$P_i$ : Presión en “i”

$v_i$ : Velocidad en “i” (m/s)

$\Delta h$ : Pérdida de carga (m)

La pérdida de carga total es el resultado de la suma de las pérdidas de carga lineales (tuberías) y las pérdidas de carga singulares (válvulas, codos, uniones...). Las pérdidas de carga se han obtenido de los datos de proyecto, resultando unas pérdidas de carga lineales de 0,05 m (despreciables) y unas pérdidas de carga singulares de 1,46 m, que unido a las cotas aproximadas de los distintos elementos singulares de la estación de bombeo, hace que la altura manométrica obtenida realizando un balance energético sea de 41,5 m.

#### 4.4.2. Eficiencia de suministro energético (ESE)

La eficiencia de suministro energético es un indicador que relaciona la energía requerida por los sistemas de riego y la energía suministrada mediante los bombeos.

$$ESE (\%) = \frac{|\Delta E|}{ICE} \cdot 100 \quad (17)$$

Siendo  $\Delta E$  el balance energético entre el agua en el punto de captación y en el sistema de riego.  $ICE$  es el índice de carga energética. A continuación se detalla como se calculan estos términos.

Para el cálculo del balance energético se ha de calcular la energía inicial con la que el agua entra al sistema (EI) y la energía que demanda el sistema de riego (ED).

$$\Delta E = EI - ED \quad (18)$$

- Si  $EI > ED$  no es necesaria la aportación de energía mediante bombeo.
- Si  $EI < ED$  hace falta el suministro de energía mediante bombeo.

$EI$  es la energía inicial del agua en los puntos de captación o de entrada al sistema, ponderada por el volumen aportado desde cada punto.

$$EI = \frac{\sum V_i \cdot (z_i + \frac{P_i}{\gamma})}{\sum V_i} \quad (19)$$

Donde:

$EI$ : Energía inicial del agua en los puntos de captación (m)

$V_i$ : Volumen aportado desde los puntos de captación “i” ( $m^3$ )

$z_i$ : Cota “i” del punto de captación del agua (m)

$P_i$ : Altura de presión del agua en el punto de captación “i”

Según el “Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes”,  $ED$  es la energía demanda por el sistema de riego, dependiente de la elevación de la zona y de la presión requerida por el sistema de riego, ponderada por la superficie regada en cada zona.

$$ED = \frac{\sum S_j \cdot (z_j + \frac{P_d}{\gamma})}{\sum S_j} \quad (20)$$

Donde:

$ED$ : Energía demandada por los sistemas de riego (m)

$S_j$ : Superficie demandante de agua a cota “j” (ha)



$z_j$ : Cota “j” de la zona demandante de agua (m)

$P_d$ : Altura de presión de diseño del sistema de riego a cota “j”

Por otro lado, se ha realizado un análisis de los cultivos de la zona de estudio. La gran diversidad de cultivos hace que el consumo de agua por unidad de superficie sea muy dispar, incluso encontrándose diferencias en estos consumos unitarios entre mismos cultivos, probablemente debido al manejo del agricultor. Es por ello, que se ha optado por modificar la ecuación anterior y realizar la ponderación según el volumen consumido por cada hidrante, quedando la siguiente ecuación:

$$ED = \frac{\sum V_j \cdot (z_j + \frac{P_d}{\gamma})}{\sum V_j} \quad (21)$$

Donde:

$ED$ : Energía demandada por los sistemas de riego (m)

$V_j$ : Volumen de agua consumido por la zona a cota “j” ( $m^3$ )

$z_j$ : Cota “j” de la zona consumidora de agua (m)

$P_d$ : Altura de presión de diseño del sistema de riego a cota “j”

La presión de diseño es el resultado de sumar la presión necesaria en hidrante para satisfacer la presión requerida por el sistema de riego de la parcela y las pérdidas de carga producidas desde el hidrante hasta el punto de captación.

La presión requerida en hidrante y la pérdida de carga producida desde la captación hasta la cabecera del colector de impulsión se han extraído del proyecto de obra. La pérdida de carga producida desde el colector de impulsión hasta cada hidrante, se ha calculado mediante las fórmulas siguientes según las características del material de la tubería.

$$\Delta h = 10,674 \cdot \frac{Q^{1,852}}{C^{1,852} \cdot D^{4,871}} \cdot L \quad (22)$$

Donde:

$\Delta h$ : Pérdida de carga para tuberías de PRFV (m)

$Q$ : Caudal ( $m^3/s$ )

$L$ : Longitud (m)

$D$ : Diámetro (m)

$C$ : Constante en función del material (PRFV = 150)

$$\Delta h = 9,2 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{Q^{1,8}}{D^{4,8}} \cdot L \quad (23)$$

Donde:

$\Delta h$ : Pérdida de carga para tuberías de PVC (m)

$Q$ : Caudal ( $m^3/s$ )

$L$ : Longitud (m)

$D$ : Diámetro (m)

El índice de carga energética (ICE) representa la altura manométrica media suministrada por los bombeos sobre el volumen total que consume el sistema.

$$ICE = \frac{\sum V_k \cdot H_{mk}}{V_T} \quad (24)$$

Donde:

$ICE$ : Índice de carga energética (m)

$V_k$ : Volumen de agua bombeado por el bombeo “k” ( $m^3$ )

$V_T$ : Volumen total de agua que entra al sector de riego ( $m^3$ )

$H_{mk}$ : Altura manométrica media proporcionada por el bombeo “k” (m)

#### 4.5. FACTOR DE POTENCIA

El factor de potencia es un parámetro que mide la cantidad de energía eléctrica que se ha de convertir en trabajo. El valor máximo alcanzable es la unidad, indicador de que toda la energía eléctrica consumida se ha convertido en trabajo. Los factores de potencia menores a la unidad, indican un mayor consumo de energía eléctrica para realizar un mismo trabajo, y pueden ocasionar una serie de problemas técnicos como:

- Mayor consumo de corriente.
- Aumento de las pérdidas en los cables conductores.
- Sobrecarga de generadores, transformadores y líneas de distribución.
- Incremento de la caída de tensión.

También, unos valores alejados de la unidad del factor de potencia, originan problemas económicos como:

- Incremento del coste de la factura eléctrica por el mayor consumo de corriente.
- Sobrecarga del coste de facturación de hasta un 120%.
- Disminución de la vida útil de los equipos.

Se define el factor de potencia como la relación entre la potencia activa y la potencia aparente:

$$f.d.p. \equiv \cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (25)$$

Siendo:

*P*: Potencia activa (kW)

*Q*: Potencia reactiva (kVAR)

*S*: Potencia aparente (kVA)

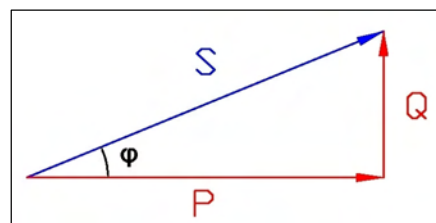


Fig. 14. Triángulo de potencias

## **5. RESULTADOS**

En este apartado se muestran y analizan los resultados obtenidos según la metodología descrita anteriormente y también se explican algunas características del funcionamiento de la CR San Pedro.

### **5.1. SITUACIÓN ACTUAL**

#### ***5.1.1. Funcionamiento de las bombas***

La red de presión forzada del sector XXI está diseñada para un caudal máximo de 535 l/s, que sería suministrado en caso de llegar a darse, por las 4 bombas de las que consta la estación de bombeo. Hay que añadir, que se tiene una bomba de iguales características que las demás, de reserva. En la campaña 2009 el máximo caudal registrado fue de 422 l/s.

La bomba principal, está accionada por un variador de frecuencia, y las demás son de velocidad fija y arrancan mediante arrancadores estrella-triángulo. Ante la demanda de agua de la red, la bomba del variador de frecuencia arranca y gira ajustando su velocidad para que en el transductor de presión situado en el colector de impulsión se alcance la presión de consigna (49 m). Si la bomba del variador de frecuencia llega a su régimen de giro nominal y no se ha alcanzado la presión de consigna, el autómata ordena el encendido de una bomba de velocidad fija y la bomba del variador vuelve a ajustar la velocidad de giro hasta que mediante ambas bombas se logra alcanzar la presión de consigna. Ante grandes demandas de agua, podemos encontrarnos dos bombas de velocidad fija y la del variador funcionando.

Si existe una disminución en la demanda de agua, el autómata desconecta la bomba de velocidad fija y la bomba del variador ajusta el régimen de giro nuevamente para alcanzar la consigna. El encendido de las bombas de velocidad fija por el autómata, se hace mediante sorteo, para que de esta manera las horas de funcionamiento y el desgaste

sean similares. La bomba del variador de frecuencia es la que acumula más funcionamiento y más desgaste dado que siempre está funcionando.

### **5.1.2. Organización de la demanda**

El sistema de organización es una demanda concertada. Los regantes han de solicitar la demanda de agua a los gestores de la comunidad. La apertura de los hidrantes se realiza mediante la programación insertada en el centro de gestión y control. En caso de anomalía, solamente el personal de la comunidad está autorizado a la manipulación del hidrante.

La jornada de riego es de 18 horas de lunes a viernes, y de 24 horas los fines de semana y festivos. Esto es debido a la tarifa eléctrica contratada y se prima que la estación de bombeo funcione completando las horas valle y llano, horas en las que la energía consumida es más barata. Solamente en pleno verano, algún día se bombea agua en horas punta, debido a la gran acumulación de hidrantes regando. Con las 18 horas de jornada de riego da tiempo a que se rieguen completamente las parcelas, resultando tiempos de riego entre 1 y 2 horas para cada sector de riego dentro de parcela. Las parcelas grandes absorben la jornada de riego y las pequeñas consiguen satisfacerse en un tiempo menor.

### **5.1.3. Indicadores**

Se han expuesto una serie de indicadores extraídos del “*Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes*”, para la CR San Pedro objeto de estudio.

- **Superficie regable (ha):** Superficie total abastecida por la infraestructura.
- **Superficie regada (ha):** Superficie regada en la campaña de estudio.
- **Volumen de agua suministrado a los usuarios (m<sup>3</sup>):** Cantidad de agua total consumida por los hidrantes de la red.
- **Suministro de agua por unidad de área regable (m<sup>3</sup>/ha):** Volumen suministrado dividido por la superficie regable abastecida.

- **Suministro de agua por unidad de área regada ( $m^3/ha$ ):** Volumen suministrado dividido por la superficie regada en la campaña de estudio.

Tabla 4. Indicadores

<b>Superficie regable (ha)</b>	465,38
<b>Superficie regada (ha)</b>	410,74
<b>Volumen de agua suministrado a los usuarios (<math>m^3</math>)</b>	1.972.883
<b>Suministro de agua por unidad de área regable (<math>m^3/ha</math>)</b>	4.239,29
<b>Suministro de agua por unidad de área regada (<math>m^3/ha</math>)</b>	4.803,24

## 5.2. FUNCIÓN DE DENSIDAD

La función de densidad representa la distribución de los caudales acumulados durante toda la campaña. Se han dividido los caudales cada 20 l/s obteniendo así las frecuencias de cada rango de caudal. También, sabiendo el caudal que puede suministrar una bomba, se ha efectuado la función de densidad en función de las bombas en funcionamiento. Por último, se muestra un gráfico con la frecuencia de uso del número de bombas.

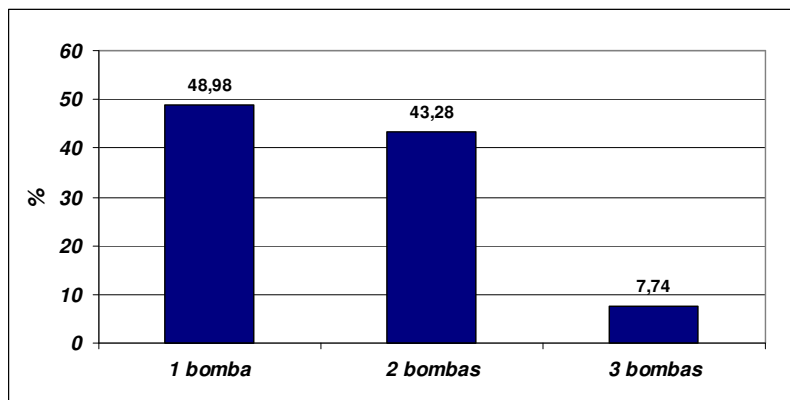


Fig. 15. Histograma de frecuencia de bombas en marcha

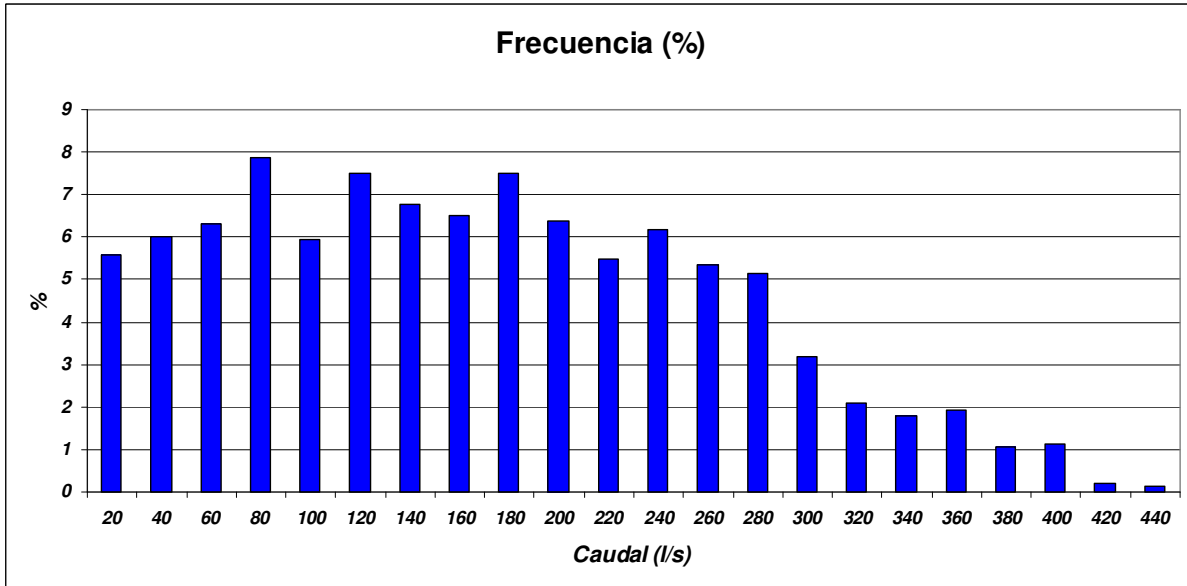


Fig. 16. Histograma de los caudales registrados en la campaña 2009

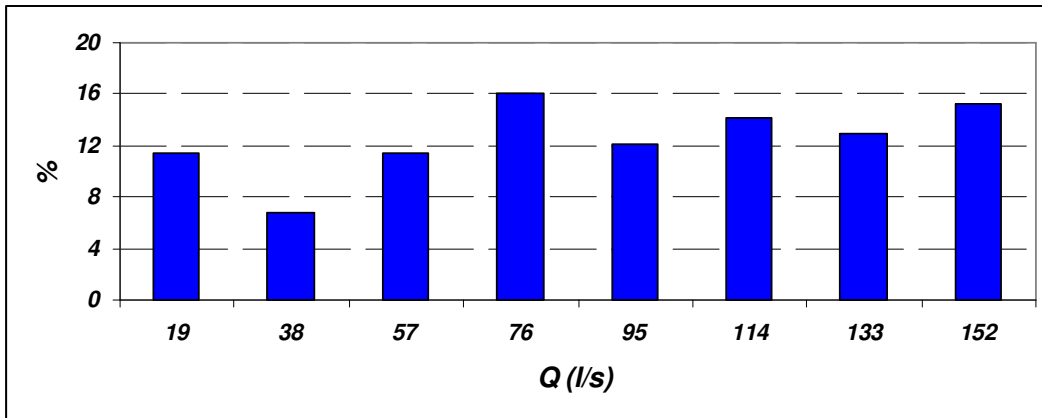


Fig. 17. Histograma del caudal suministrado con una bomba en uso

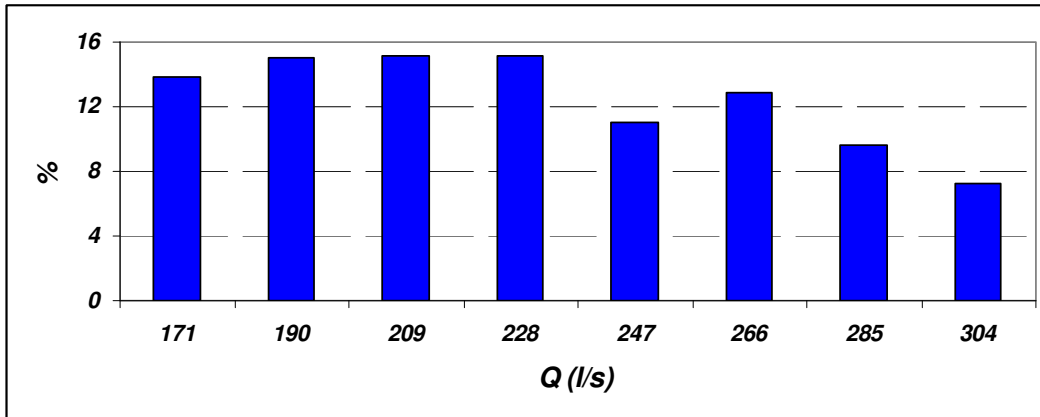


Fig. 18. Histograma del caudal suministrado con dos bombas en uso

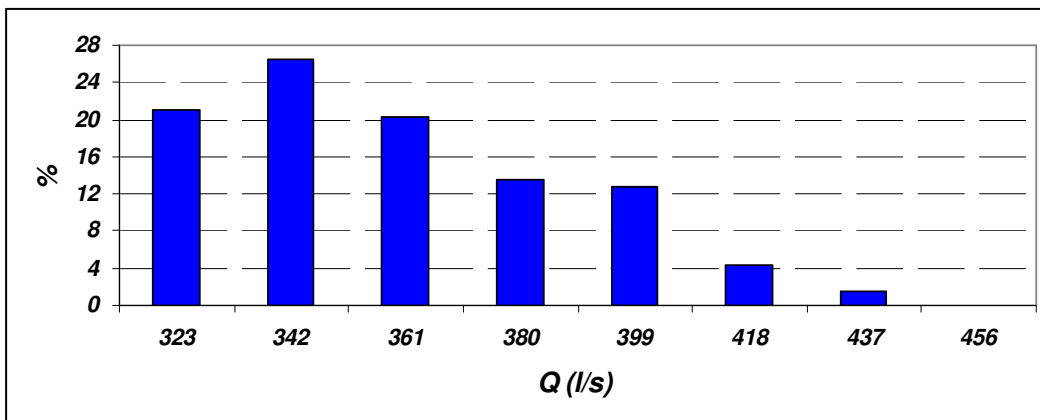


Fig. 19. Histograma del caudal suministrado con tres bombas en uso

Observando las figuras anteriores, sabemos que aproximadamente el 92% de las veces hay una ó dos bombas funcionando.

El caudal medio de la campaña 2009 fue de 162,1 l/s con una desviación estándar de 94,4, un caudal máximo de 422 l/s y un caudal mínimo de 18 l/s.

En los momentos en que solamente funcionaba una bomba, el caudal medio fue de 81,9 l/s con una desviación de 40,3. Cuando eran dos las bombas en funcionamiento el



caudal medio era de 219,4 l/s con una desviación de 41,8. Finalmente, cuando había tres bombas en marcha, el caudal medio fue de 349,9 l/s con una desviación de 28,6.

Hay que destacar, que cuando hay dos o más bombas funcionando en paralelo, el caudal individual aproximado que impulsa la bomba o bombas de velocidad fija es de 152 l/s. Esto es, para los caudales medios nombrados en el párrafo anterior, los caudales suministrados por la bomba del variador de frecuencia son de 67,4 l/s y 45,9 l/s respectivamente.

El caudal nominal de una bomba, según datos del fabricante, es de 117,8 l/s a una altura manométrica de 50 m. En realidad, las bombas suministran una altura manométrica menor (41,5 m) y por lo tanto, mayor caudal. Esto hace que se alejen de la zona de óptimos rendimientos. También se observa que el caudal medio de la campaña es ligeramente superior al que es suministrado actualmente por una bomba.

### **5.3. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS**

#### ***5.3.1. Curvas características teóricas de las bombas***

En este apartado se ha procedido a determinar la expresión que define el funcionamiento del modelo de bomba instalado en la CR San Pedro. También se ha analizado el funcionamiento de la bomba en paralelo y a distintos regímenes de giro.

De las curvas facilitadas por el fabricante se han extraído una serie de puntos (Q, H) y (Q,  $\eta$ ) que se han ajustado mediante dos funciones polinómicas de grado tres. Todo ello para una velocidad nominal de 1485 rpm y un diámetro de rodete de 396 mm.

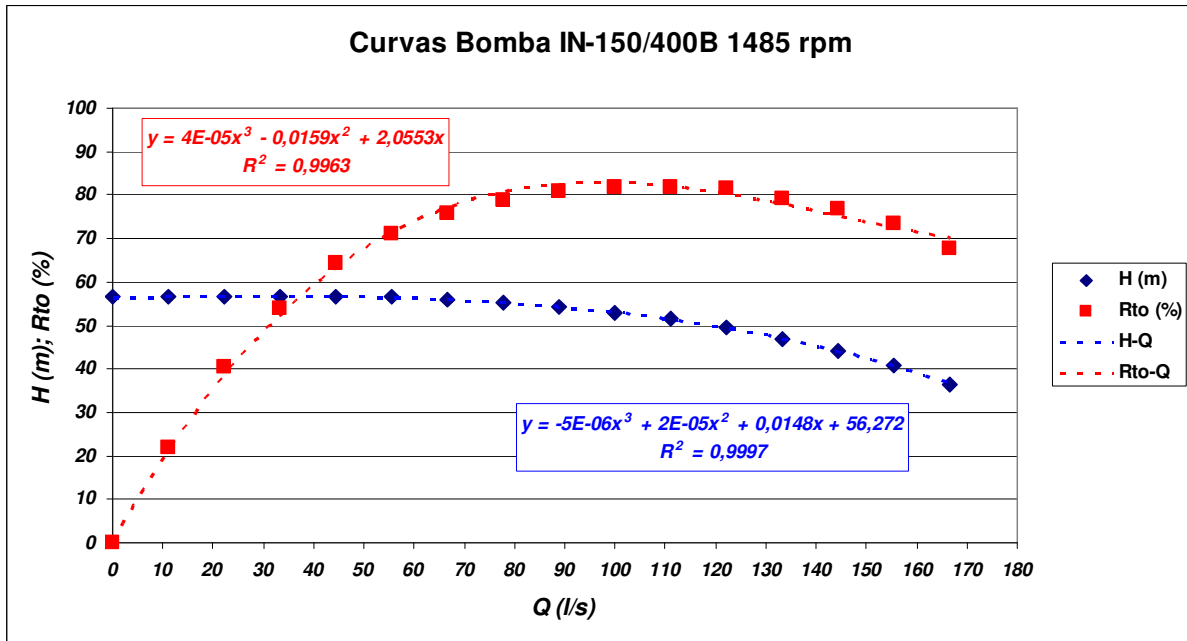


Fig. 20. Ajuste de las curvas características

El rendimiento máximo es de 82,8% con un caudal de 96 l/s y una altura manométrica de 53,5 m.

Finalmente, las ecuaciones que definen el funcionamiento de la bomba a una velocidad fija (1485 rpm) son:

$$H = 56,272 + 0,0148 \cdot Q + 2 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 - 5 \cdot 10^{-6} \cdot Q^3 \quad (26)$$

$$\eta = 2,0553 \cdot Q - 0,0159 \cdot Q^2 + 3,62 \cdot 10^{-5} \cdot Q^3 \quad (27)$$

Si las bombas de velocidad fija, funcionan en paralelo, la ecuación resultante es:

$$H = 56,272 + 0,0148 \cdot \frac{Q}{n} + 2 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{Q}{n}\right)^2 - 5 \cdot 10^{-6} \cdot \left(\frac{Q}{n}\right)^3 \quad (28)$$

$$\eta = 2,0553 \cdot \frac{Q}{n} - 0,0159 \cdot \left(\frac{Q}{n}\right)^2 + 3,62 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{Q}{n}\right)^3 \quad (29)$$

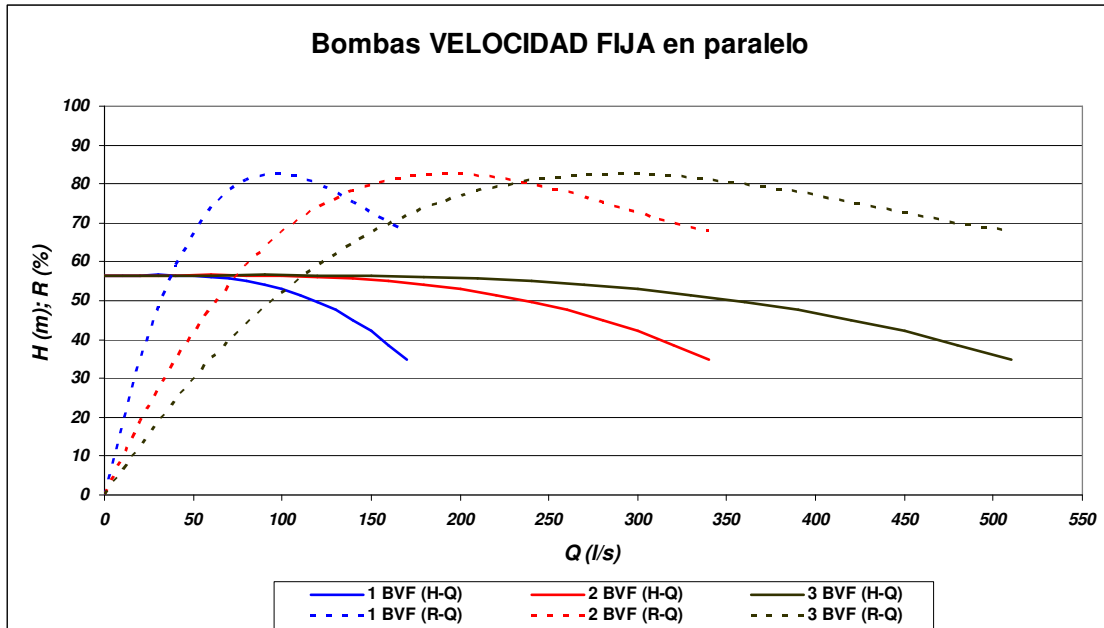


Fig. 21. Funcionamiento en paralelo

Se observa que los rendimientos máximos se dan en unos rangos de caudal de 80-110 l/s cuando hay una bomba funcionando, 160-250 l/s cuando son dos bombas y 250-360 l/s en caso de haber tres bombas de velocidad fija en marcha. En nuestro caso, la altura manométrica media es de 41,5 m, que supone unos caudales aproximados de 150, 310 y 460 l/s para una, dos y tres bombas respectivamente. Para estos caudales, si observamos la Fig. 21, se obtienen unos rendimientos del 72% aproximadamente, alejados de la zona de óptimo funcionamiento.

Existe una bomba accionada mediante un variador de frecuencia. Dicho aparato, mediante la regulación de la frecuencia de la alimentación del motor eléctrico de la bomba hace que éste también varíe su velocidad rotacional. La expresión del funcionamiento de la bomba a distintos regímenes de giro es:

$$H = 56,272 \cdot \alpha^2 + 0,0148 \cdot \alpha \cdot Q + 2 \cdot 10^{-5} \cdot Q^2 - 5 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q^3}{\alpha} \quad (30)$$

$$\eta = 2,0553 \cdot \frac{Q}{\alpha} - 0,0159 \cdot \frac{Q^2}{\alpha^2} + 3,62 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{Q^3}{\alpha^3} \quad (31)$$

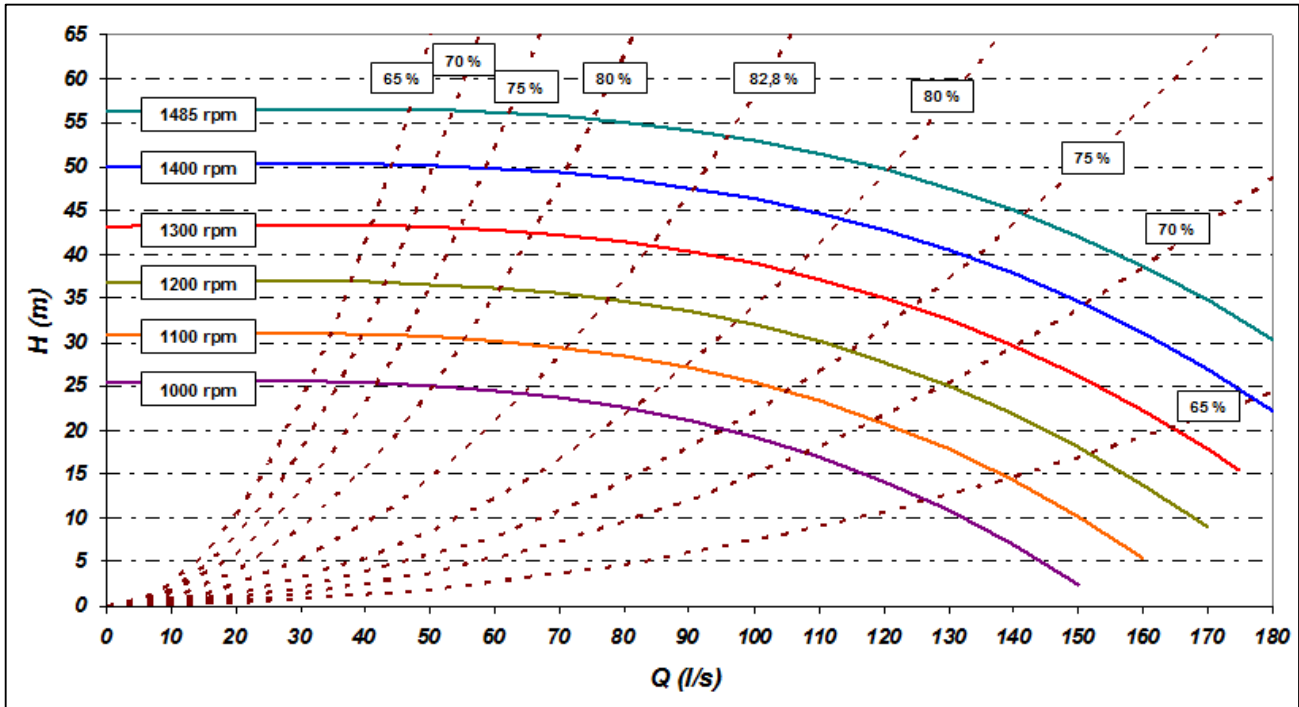


Fig. 22. Comportamiento teórico de una bomba a distintas velocidades de giro

La altura manométrica media es de 41,5 m, suministrando un caudal de 152 l/s con un rendimiento del 72% en el caso de una bomba de velocidad fija. Según el gráfico anterior, si queremos suministrar la misma altura manométrica a un rendimiento máximo, la bomba tendría que girar a una velocidad de 1300 rpm aproximadamente, impulsando esta vez un caudal bastante menor, de valor 85 l/s.

Por último, haciendo una aplicación de todo lo explicado anteriormente, se ha representado un caso hipotético en el que hay funcionando dos bombas de velocidad fija y la bomba de velocidad variable a 1250 rpm. Las curvas representadas quedan de la siguiente forma:

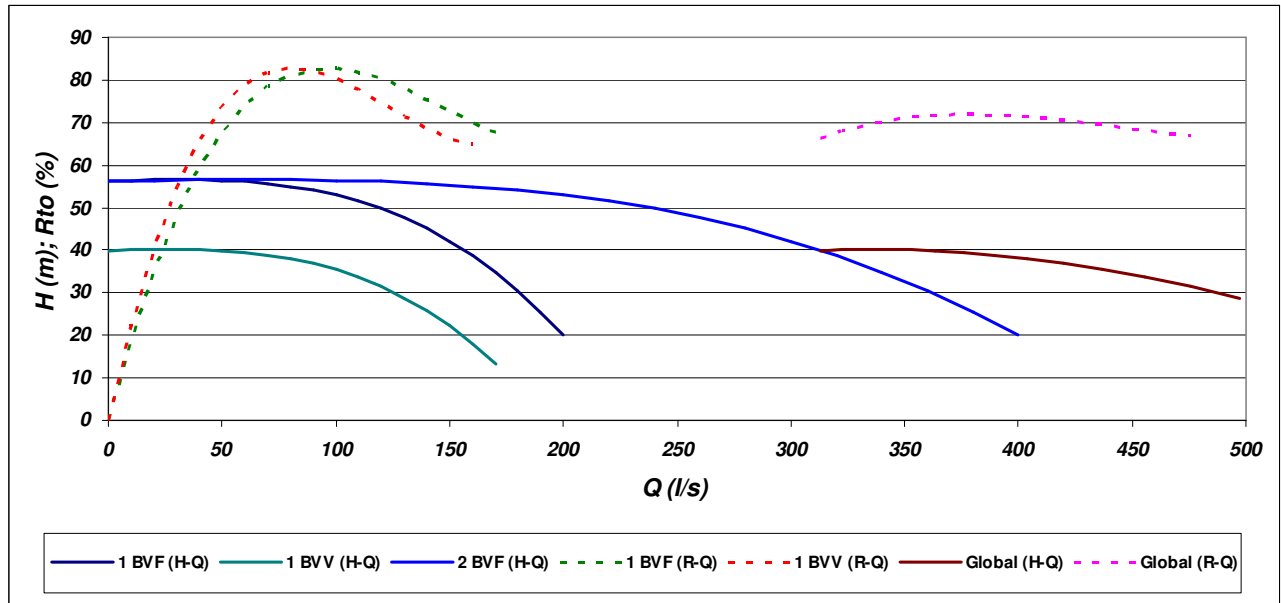


Fig. 23. Funcionamiento teórico 2 BVF + 1BVV

### 5.3.2. Curvas características experimentales

Con el fin de contrastar si las bombas funcionaban según la información facilitada por el fabricante, se procedió a tomar datos en la campaña 2010, mediante la consulta en los contadores de la estación de bombeo.

La finalidad perseguida es el establecer una relación entre el comportamiento teórico del bombeo descrito en el punto 5.3.1. y el comportamiento real de las bombas. Para ello, durante varios días en la campaña de 2010, se tomaron registros en los contadores de la estación de bombeo. La empresa suministradora de energía eléctrica posee un contador que recoge información sobre las energías activa y reactiva del bombeo de los sectores XX y XXI. Por otro lado, el sector XX dispone de un panel donde se registran variables como potencia instantánea, factor de potencia, energía consumida acumulada, voltaje e intensidad.

Sabiendo el nivel existente en la balsa, la presión de consigna y el caudal suministrado, se calculó la altura manométrica aproximada que teóricamente suministraban las

bombas del sector XXI. Cada 6 minutos, se observaba cada contador y se anotaba información referente a:

- **Sector XX:** Potencia activa y reactiva instantánea, factor de potencia, energías activa y reactiva acumuladas.
- **Contador general:** Energías activa y reactiva acumuladas.

Como los registros se hicieron para el mismo período de tiempo (6 min), podemos obtener por diferencia entre el contador general y el del sector XX la potencia consumida por el sector XXI. Una vez realizado el tratamiento de los datos, los resultados obtenidos fueron:

*Tabla 5. Resultados experimentales del funcionamiento real del bombeo*

Caso	Fecha	Q (l/s)	H <sub>m</sub> (m)	P media (kW)	Rto medio (%)
1	26-6-2010	300	42,75	206,25	61,20
2	4-8-2010	296	37,50	166,67	65,32
3	13-9-2010	294	39,00	168,50	66,73
4	1-10-2010	152	40,00	89,14	66,98
5	1-10-2010	176	40,00	107,33	64,29

Posteriormente, se procedió a contrastar estos resultados con la modelización teórica obtenida en el punto 5.3.1. del presente estudio.

*Tabla 6. Resultados según modelización del bombeo*

Caso	Q <sub>VF</sub> (l/s)	Q <sub>VV</sub> (l/s)	Rto <sub>VF</sub> (%)	Rto <sub>VV</sub> (%)	P <sub>VF</sub> (kW)	P <sub>VV</sub> (kW)	Rto teórico (%)
1	2 x 148	4	73,30	9,10	169,18	18,41	67,00
2	163	133	69,30	74,40	86,44	65,69	71,50
3	159	135	70,30	74,50	86,44	69,25	72,17
4	-----	152	-----	71,70	-----	83,10	71,70
5	156	20	71,10	40,40	86,01	19,41	65,44

Los subíndices “VF” y “VV” indican “Bomba de velocidad fija” y “Bomba de velocidad variable”, respectivamente. Los rendimientos calculados en ambas tablas se obtienen mediante la relación potencia útil suministrada y potencia consumida, a excepción de “Rto<sub>VF</sub>” y “Rto<sub>VV</sub>” que son el resultado de aplicar la ecuación 31 según los parámetros del caso. La potencia expresada en la primera tabla es potencia eléctrica absorbida de la red. La potencia mostrada en la segunda tabla es el resultado de dividir la potencia útil de cada tipo de bomba entre el rendimiento de cada una de ellas según el comportamiento teórico. La potencia útil (necesaria para calcular el rendimiento según el caso) se calcula aplicando la ecuación 14 para los distintos casos.

Si observamos solamente los rendimientos, obtenemos la siguiente tabla:

*Tabla 7. Comparación rendimiento teórico y real.*

<b>Caso</b>	<b>Rto teórico (%)</b>	<b>Rto experimental (%)</b>	<b>Diferencia (%)</b>
1	67,00	61,20	5,81
2	71,50	65,32	6,18
3	72,17	66,73	5,44
4	71,70	66,98	4,72
5	65,44	64,29	1,15

Como se puede observar, existe algo de diferencia entre los valores de rendimiento teórico y real. Esto puede deberse principalmente al desgaste, e incluso a otros factores como que en las curvas del fabricante no se tiene en cuenta el rendimiento del variador de frecuencia. Queda contrastado que los valores reales no son superiores a los valores teóricos, lo cual tiene su lógica. La diferencia media entre rendimientos para los casos estudiados es de un 4.70%.

La conclusión a la que se llega es que las bombas tienen un rendimiento inferior a los valores teóricos. Se ha optado por calcular para cada caudal registrado en la campaña 2009 el rendimiento teórico según la modelización llevada a cabo, y restarle a éste la diferencia media de 4,70%. La curva de rendimiento en función de caudal queda así:

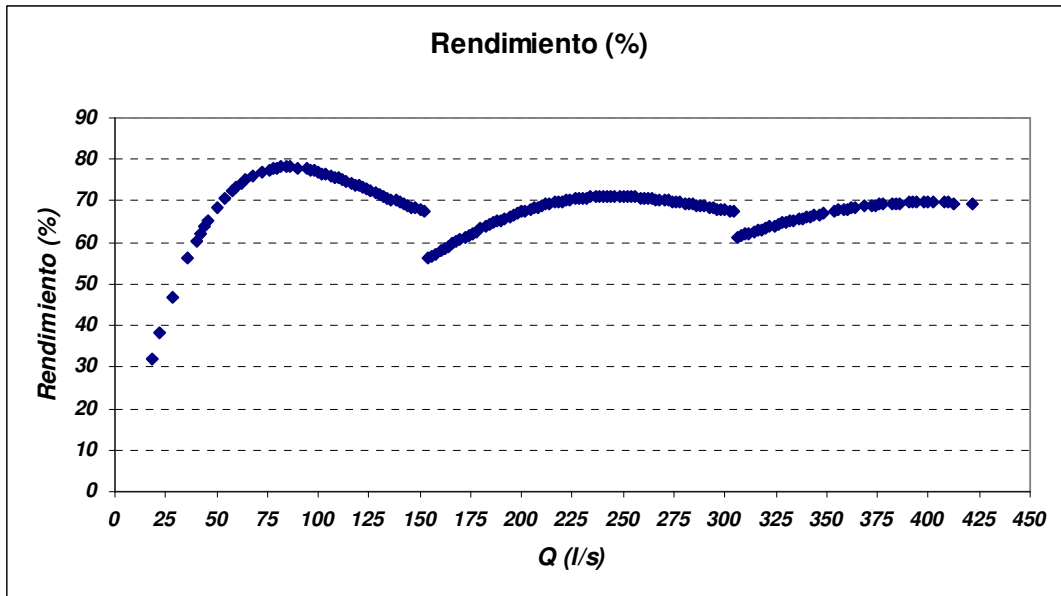


Fig. 24. Rendimiento del bombeo según el caudal impulsado

También se halló la curva de potencia consumida. La potencia máxima consumida en la campaña 2009 fue de 248 kW, siendo la potencia media de 97,24 kW con una desviación estándar de 56,35.

Cuando funcionaba una sola bomba, la potencia media consumida fue de 47,55 kW y desviación 6,90. En el instante en que funcionaban dos y tres bombas, las potencias medias fueron de 132,63 y 213,84 kW, con desviaciones estándar de 11,52 y 14,65 respectivamente.



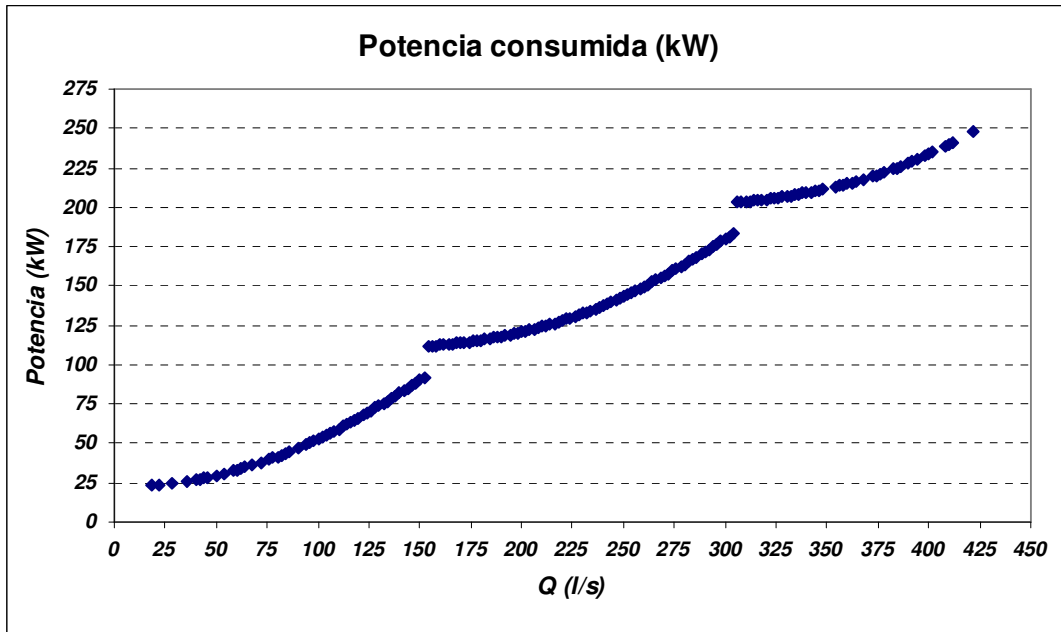


Fig. 25. Potencia consumida en función del caudal

En ambas gráficas se observan unas discontinuidades, que son debidas a que en ese instante se produce el encendido de otra bomba. En tal situación, una bomba de velocidad fija suministra la mayor parte del caudal a un rendimiento más o menos aceptable. La bomba del variador de frecuencia, en cambio, suministra un caudal muy bajo, con unos rendimientos bajísimos. De ahí que el rendimiento en conjunto de las dos bombas decaiga. Cuando existen dos bombas de velocidad fija y una de velocidad variable funcionando, este salto es menor dado que el caudal suministrado por las bombas de velocidad fija con respecto del caudal total tiene un peso importante. Esto hace que no se note tanto el hecho de tener una bomba funcionando a rendimientos pésimos.

Según el gráfico de potencia consumida, se muestra que a mayor caudal suministrado, mayor potencia consumida. Los saltos observados se deben a que para caudales bajos suministrados por la bomba de velocidad variable, la potencia unitaria consumida es mayor. Por eso existen tales discontinuidades.

## 5.4. EFICIENCIA ENERGÉTICA GENERAL

### 5.4.1. Eficiencia energética del bombeo

Para saber la eficiencia energética del bombeo, hay que establecer la relación entre la potencia útil que dan las bombas y la potencia consumida por éstas. La potencia útil se calcula mediante la ecuación 14. Tal como se ha explicado anteriormente, trabajamos con un nivel medio de la balsa de 7,5 m, lo que corresponde a una altura manométrica de 41,5 m. En base a esta premisa se ha realizado el gráfico de la Fig. 24. Ahí se muestra el rendimiento que tiene el bombeo según el caudal suministrado. A partir de la anotación de los caudales horarios según el punto 5.1., podemos saber la frecuencia de cada caudal, y asociarlo a un valor de rendimiento.

Haciendo el análisis estadístico de los resultados se obtiene un rendimiento promedio del 66,91% con una desviación estándar de 10,45. Según el “*Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes*”, se calificaría la eficiencia del bombeo como “A”, eficiencia excelente.

Tabla 8. Calificación energética de la eficiencia de los bombeos. (Fuente: IDAE)

Calificación	Descripción	Especificaciones
A	Eficiencia excelente	EEB > 65%
B	Eficiencia buena	60% ≤ EEB ≤ 65%
C	Eficiencia normal	50% ≤ EEB ≤ 60%
D	Eficiencia aceptable	45% ≤ EEB ≤ 50%
E	Eficiencia no aceptable	EEB < 45%

Los caudales entre 0 y 50 l/s presentan eficiencias inferiores al 60%. Entre los 64 y 114 l/s se obtienen eficiencias por encima del 75%, llegando a darse una eficiencia máxima del 78,10% para caudales entre los 82 y 86 l/s. Desde los 114 hasta los 152 l/s (caudal que da una bomba fija o una bomba de velocidad variable al 100% de régimen de giro a la altura manométrica considerada de 41,5 m) la eficiencia desciende paulatinamente hasta el 67,50%. A partir de caudales mayores es necesario el encendido de otra bomba.

El rendimiento medio cuando solamente funciona la bomba de velocidad variable es del 67,02% con una desviación estándar de 14,29.

Cuando existen funcionando en paralelo dos bombas, la de velocidad fija suministra 152 l/s a un rendimiento de 67,50%. Así pues, entre los 154 y 168 l/s se dan eficiencias en conjunto entre el 56 y 60%. Esto es debido a que la bomba del variador trabaja suministrando caudales bajos (2 – 16 l/s) y por lo tanto, dando eficiencias bajas. La eficiencia máxima con dos bombas en paralelo se obtiene entre los 236 y 252 l/s, resultando un valor de 71%. La eficiencia promedio cuando funcionan dos bombas es de 66,86% con una desviación de 4,45.

La eficiencia máxima con tres bombas en funcionamiento es de 69,67% entre los 394 y 402 l/s. La eficiencia para el caudal máximo registrado (422 l/s) es de 69,21%. La eficiencia media de tres bombas en funcionamiento en la campaña 2009 fue de 66,45% con una desviación de 2,59.

#### ***5.4.2. Eficiencia de suministro energético***

El balance energético realizado entre el agua que entra al sistema y el agua que sale, adquiere valor negativo (-29,72 m), lo cual significa que es necesaria la aportación de energía adicional mediante bombeo. La energía de posición inicial del agua es de 322,75 m correspondiente a la cota de fondo del embalse de 315,25 m y la lámina de agua media en campaña considerada de 7,5 m. La energía media demandada por los sistemas de riego de la zona de estudio es de 352,47 m.

Tabla 9. Energía demandada por las parcelas

Hidrante	Consumo (m <sup>3</sup> )	$\Delta h$ Total (m)	Z+Pd (m)
16	90.381	4,78	363,78
18	32.566	5,98	360,98
20	28.833	6,52	365,52
21	85.251	11,22	371,22
22	24.125	11,28	372,28
31	63.143	7,41	343,41
32	11.189	8,97	342,97
34	206.909	10,47	339,47
35	175.721	10,92	354,92
36	31.562	11,12	360,12
37	210.551	11,17	354,17
38	42.111	4,65	343,65
39	20.457	6,66	352,66
41	59.890	18,21	356,21
42	48.615	13,62	352,62
43	104.738	17,13	351,13
45	0	20,52	348,52
46	0	22,38	350,38
47	52.375	20,93	346,93
48	96.409	24,04	347,04
49	111.325	35,78	347,78
50	3.070	25,69	344,69
56	195.651	26,55	357,55
83	67.493	24,30	343,30
100	0	2,45	358,45
101	14.999	2,87	358,87
102	17.827	5,32	355,32
103	0	5,49	355,49
104-123-a	75.517	7,94	351,94
104-123-b	20	7,94	351,94
105-125	12.725	10,34	352,34
106	0	6,68	356,68
107	45.370	7,17	355,17
108-129-c	1.107	7,13	341,13
109	42.956	7,70	343,70
110	0	12,61	338,61

El índice de carga energética, es decir, la altura manométrica media del bombeo del sector XXI, es de 41,5 m.

Procediendo a la aplicación de la ecuación 17, resulta una eficiencia de suministro energético de 71,60% para el sector XXI.

#### 5.4.3. Eficiencia energética general

La eficiencia energética general es el producto de la eficiencia de suministro energético y la eficiencia energética del bombeo. En nuestro caso, la eficiencia energética general correspondiente al año 2009 es de 47,91%. Según el “Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes”, se calificaría como “B, eficiencia buena.

Tabla 10. Calificación energética en función de EEG. (Fuente: IDAE)

Calificación	Descripción	Especificaciones
A	Eficiencia excelente	$EEG > 50\%$
B	Eficiencia buena	$40\% \leq EEG \leq 50\%$
C	Eficiencia normal	$30\% \leq EEG < 40\%$
D	Eficiencia aceptable	$25\% \leq EEG < 30\%$
E	Eficiencia no aceptable	$EEG < 25\%$

#### 5.5. FACTOR DE POTENCIA

Se ha hecho una estimación del factor de potencia del sector XXI. El inconveniente que existe es que la facturación de la energía eléctrica se realiza de forma conjunta para los sectores XX y XXI, según el contador general existente de la compañía eléctrica.

Por otra parte, cuando se hicieron anotaciones en los contadores de la estación de bombeo con la finalidad de hallar la curva característica experimental, se anotó la

energía acumulada en el sector XX y en el contador general. La energía acumulada del sector XXI se ha hallado mediante diferencia de las anteriores.

*Tabla 11. Energías acumuladas en los contadores de la CR San Pedro*

<b>Fecha</b>	<b>XX (kWh)</b>	<b>General (kWh)</b>	<b>XX (kVArh)</b>	<b>General (kVArh)</b>	<b>XXI (kWh)</b>	<b>XXI (kVArh)</b>
26/06	574.212	2.110.115	294.417	765.595	1.535.903	471.178
26/06	574.329	2.110.625	294.494	765.822	1.536.296	471.328
04/08	----	2.329.773	----	869.962	----	----
13/09	668.330	2.541.812	342.836	964.047	1.873.482	621.211
01/10	681.797	2.585.455	350.391	979.319	1.903.658	628.928

Para cada fecha en la que se tomó medida, se ha calculado el factor de potencia de cada sector y el general, en función de las energías acumuladas.

*Tabla 12. Factores de potencia de cada sector*

<b>Fecha</b>	<b>fdp XXI</b>	<b>fdp XX</b>	<b>fdp General</b>
26/06/10	0,956	0,890	0,940
26/06/10	0,956	0,890	0,940
04/08/10	----	----	0,937
13/09/10	0,949	0,890	0,935
01/10/10	0,950	0,889	0,935

Los factores de potencia medios de cada una de las tres columnas han sido de 0,953; 0,890 y 0,937 respectivamente.

Cuando se modernizó el sector XX, se instaló una línea eléctrica que alimenta los bombeos de los sectores XX y XXI. Hasta entonces, el sector XXI (más antiguo) se alimentaba mediante grupos electrógenos. Es por esto que el contador general recoge las energías consumidas por ambos sectores desde el mismo período de tiempo.

## **6. PROPUESTAS DE MEJORA**

En el presente apartado se realiza un análisis de un conjunto de medidas destinadas a mejorar la eficiencia energética y reducir los costes de explotación de la CR San Pedro de Castelflorite.

Para poder comparar los efectos de las propuestas, se ha de definir una situación inicial en la que tenemos un consumo energético y económico, y posteriormente comparar esta situación inicial con una o varias propuestas en una situación final.

Para el cálculo de la energía consumida se ha usado la siguiente fórmula:

$$E(kWh) = \frac{\gamma \cdot V \cdot H_m}{3600 \cdot 10^3 \cdot \eta} \quad (32)$$

Donde:

*V*: Volumen de agua elevada ( $m^3$ )

$\gamma$ : Peso específico del agua ( $9.810 \text{ N/m}^3$ )

$H_m$ : Altura manométrica suministrada (m)

$\eta$ : Rendimiento

En la campaña 2009 se consumió un volumen de  $1.972.883 \text{ m}^3$  a una altura manométrica media de 41,5 m y un rendimiento medio de la estación de bombeo de 66,91%. Esto se traduce en un consumo energético de 333.106 kWh.

El precio de la energía considerado es de 0,0929515 €/kWh correspondiente a una ponderación de los precios en los períodos punta, llano y valle según las horas semanales establecidas en la tarifa contratada, y pertenecientes al mes de julio de 2009. Así pues, el coste económico de la campaña 2009 es de 30.962,67 €.

### 6.1. EVITAR CAUDALES INFERIORES A 40 L/S

Los caudales inferiores a 40 l/s dan unos rendimientos por debajo del 60%. Para llevar a efecto esta medida, se deberían hacer programaciones cuando entre uno o varios hidrantes el caudal resultante sea igual ó superior a 40 l/s.

La cuantificación del impacto de esta medida se ha realizado de acuerdo a lo explicado en el punto 5.4.1., suprimiendo las frecuencias de los caudales inferiores a 40 l/s. El rendimiento obtenido con la aplicación de esta medida es del 69,82%. Este incremento se debe a que los caudales suprimidos representan aproximadamente el 11,5% de los caudales registrados (ver Fig. 16)

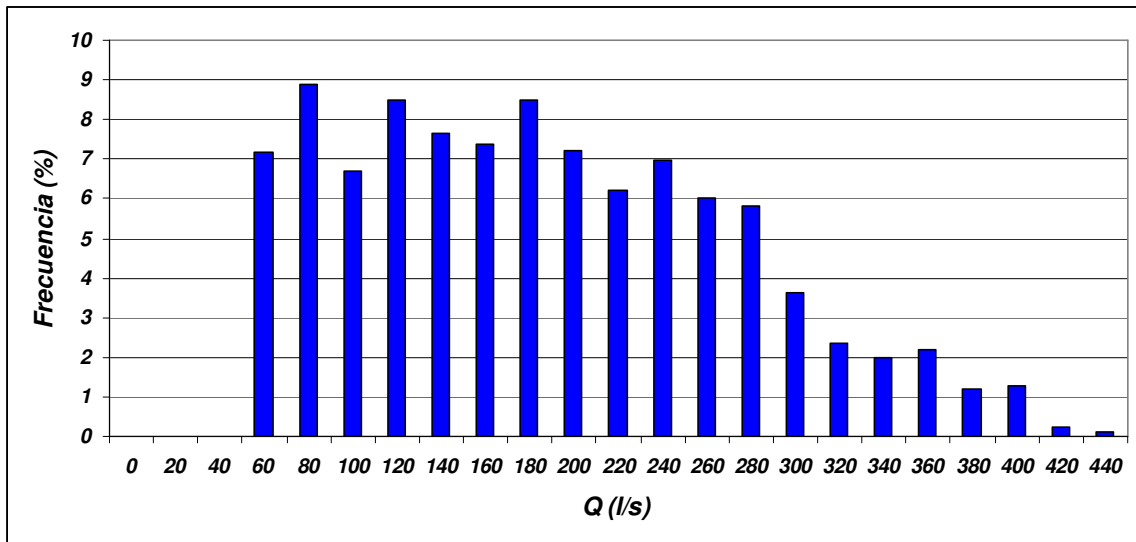


Fig. 26. Histograma de caudales sin  $Q < 40$  l/s

La aplicación de esta medida supondría un ahorro energético de 13.890 kWh y un ahorro económico de 1.291,09 € (4,2% con respecto al inicio).



## 6.2. CAMBIO EN LA SECUENCIA DE LAS BOMBAS

La secuencia actual del bombeo consiste en que primero se enciende una bomba de velocidad variable y cuando ésta alcanza el 100% del régimen de giro, se enchufa una bomba de velocidad fija y la de velocidad variable ajusta su régimen de giro de forma que entre las dos se consiga alcanzar la presión de consigna en cabecera de la red.

La medida propuesta consiste en instalar un variador de frecuencia de forma que cuando la bomba de velocidad variable alcance el 100% de régimen de giro, en lugar de encender una bomba de velocidad fija, se encienda otra bomba de velocidad variable y ambas bombas suministren el mismo caudal al mismo rendimiento. Cuando estas dos bombas alcanzasen el 100% de velocidad de giro, se dejaría una bomba de velocidad fija y las dos bombas de velocidad variable ajustarían su velocidad suministrando el mismo caudal con la misma eficiencia.

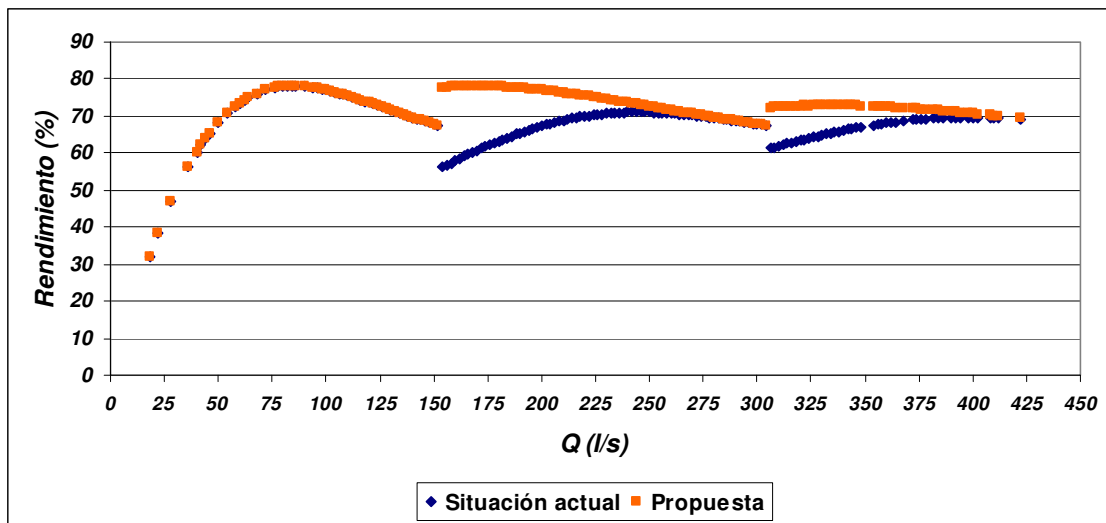


Fig. 27. Rendimiento del bombeo según el caudal con la nueva propuesta

Para cada caudal registrado en la campaña 2009, se ha asignado un rendimiento según la modelización del bombeo y restando la diferencia del 4,70% observada según contraste experimental, todo ello adaptándolo a la nueva propuesta y respetándose la frecuencia de caudales obtenida en 2009.

El rendimiento medio con la nueva propuesta ascendería al 70,79%. Esto supondría un ahorro energético de 18.257 kWh y un ahorro económico de 1.697 €, aunque hay que considerar que el coste de la inversión en el variador sería de 6.200 €.

### **6.3. AJUSTE DE LA PRESIÓN DE CONSIGNA SEGÚN LOS TIPOS DE HIDRANTE PROGRAMADOS**

La simulación y análisis de esta medida se ha realizado mediante el software informático GESTAR 1.3. El proceso seguido ha sido el siguiente:

- Representación de la red en estudio.
- Realización de sorteos aleatorios para determinadas proporciones de hidrantes abiertos (10%, 20%, 30%...).
- Identificación del hidrante crítico en lo que se refiere a presión requerida.
- Cálculo de la presión necesaria en la cabecera de la red con la condición de que el hidrante crítico cumpla sus necesidades de presión y caudal.

Dentro de la simulación de esta medida, se han rebajado las presiones de consigna de los hidrantes 18, 50 y 49 a 30, 30 y 10 m respectivamente. Las presiones requeridas actualmente eran de 45 m, considerando un sistema de riego por aspersión. Los hidrantes mencionados tienen sistemas de riego por goteo (hidrantes 18 y 50) y riego por gravedad (hidrante 49). Es un aspecto a tener en cuenta y que puede reducir levemente el consumo de energía.

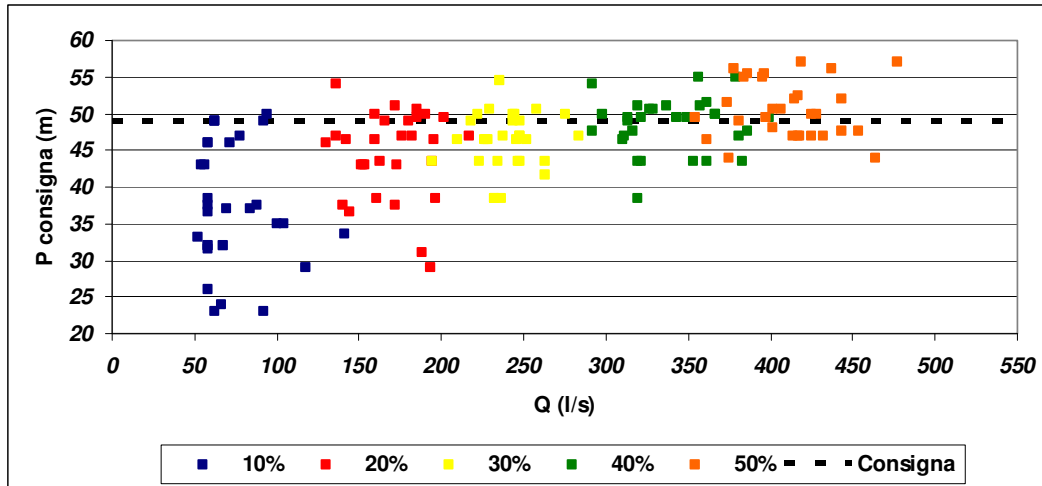


Fig. 28. Presión de consigna según la proporción de hidrantes abiertos

No se han hecho sorteos para proporciones mayores al 50% de hidrantes abiertos ya que esta proporción muestra un valor de caudales similares a los máximos alcanzados en campaña.

La presión de consigna actual en cabecera de la red es de 49 m. Se observa un incremento de la presión de consigna con el caudal. Para caudales altos algunos hidrantes hacen que la presión de consigna sea mayor de 49 m. La variabilidad de las presiones de consigna es mayor para caudales bajos debido a la variación de las cotas de los hidrantes.

La conclusión a la que se llega, para un rango de caudales entre 50 y 300 l/s, es que la presión de consigna viene determinada por el tipo de hidrante programado para regar. Es por esto, que se estudió la presión necesaria en cabecera según los hidrantes abiertos por diferentes ramales. No se han tenido en cuenta los hidrantes que en la campaña 2009 no regaron.

Tabla 13. Presión de consigna por ramales

Hidrante	P consigna(m)	Q (l/s)
<b>GRUPO 1</b>		
16	45	18
18	31,5	40
20	46,3	22
21	48,7	22
22	49,7	22
Todos	56,5	124
16,18,20 y 21	50,5	102
16,20 y 21	49,8	62
16,18 y 20	47,2	80
<b>GRUPO 2</b>		
101,102,104-123-a,105-125 y 107	43,3	94
101	43,1	18
102	37,5	22
<b>GRUPO 3</b>		
34,35,36,37 y 56	46,3	244
109,108-129-c,31 y 32	25	72
36,37 y 56	41,8	164
Todos	48,3	316
<b>GRUPO 4</b>		
38,39,41,42 y 43	36,5	134
47,48,83,50 y 49	24,5	104
Todos	41,3	238

El grupo 1 es el más desfavorable y en él están los hidrantes situados a mayor cota. El grupo 3 engloba una serie de hidrantes que tienen caudales altos. Por último, el grupo 4 acoge los hidrantes con menor cota. En la tabla anterior se puede contrastar que no siempre una presión de consigna alta está relacionada con caudales circulantes altos (p. ej. el hidrante 21 consume 22 l/s necesitando una presión en cabecera de 48,7 m mientras que la presión de consigna de todos los hidrantes del grupo 3 funcionando, es menor).

Dado que se ha redactado el anejo “Programación campaña 2009” y allí se muestran los hidrantes que regaron cada día, se ha procedido a estudiar la presión de consigna necesaria para aquellos días de campaña en que no regaron al menos los hidrantes 21 y 22, que son los más desfavorables. El hecho de que riegue solamente el hidrante 21 ya

supone establecer la actual presión de consigna (49 m) en cabecera sin obtener presiones menores que otorguen ahorro energético y económico.

A continuación se expone una tabla donde se indican los días estudiados en los que la presión de consigna podría haberse rebajado. Solamente aparecen aquellos días en los que la presión en cabecera es inferior a 49 m y los cuales suponen menor gasto energético.

Se ha calculado también la altura manométrica aproximada para la presión en cabecera propuesta considerando un nivel de la balsa de 7,5 m. La presión de consigna mínima ha de ser de 39,5 m para caudales inferiores a 70 l/s ó de 39 m para caudales superiores a 70 l/s (según modelización del bombeo a una velocidad de 1114 rpm). Esto viene definido por el funcionamiento del variador de frecuencia de la instalación, dado que solamente puede variar la velocidad de giro entre el 75 (1114 rpm) y el 100% del régimen nominal (1485 rpm), y para el régimen mínimo alcanzable la presión del agua si se bombean caudales bajos es de 32 m.

El volumen consumido se corresponde con la programación llevada a cabo por la CR San Pedro para los días indicados en la tabla, considerándose para un determinado día todos los hidrantes programados más allá de las siete de la mañana. La programación mayoritaria va desde las 16 h de la tarde hasta las 10 h de la mañana del día siguiente, salvo en fines de semana que se riega todo el día.

La energía consumida se ha calculado según la ecuación 32 considerando un rendimiento del 66,91% correspondiente a la campaña 2009.

*Tabla 14. Presiones de consigna propuestas*

<b>Día</b>	<b>P consigna (m)</b>	<b>H<sub>m</sub> (m)</b>	<b>Vol (m<sup>3</sup>)</b>	<b>E (kWh)</b>
<i>13-mar</i>	43,1	35,6	1.043	151
<i>14-mar</i>	43,1	35,6	2.114	306
<i>15-mar</i>	39,5	32,0	551	72
<i>16-mar</i>	39,5	32,0	983	128
<i>28-mar</i>	39,0	31,5	1.007	129
<i>30-mar</i>	39,0	31,5	7.324	939
<i>31-mar</i>	42,0	34,5	11.767	1.652

04-abr	43,1	35,6	3.371	488
05-abr	39,5	32,0	1.166	152
06-abr	43,1	35,6	2.050	297
22-abr	39,5	32,0	2.160	281
23-abr	39,5	32,0	2.160	281
28-abr	39,5	32,0	2.732	356
29-abr	39,5	32,0	2.948	384
30-abr	46,2	38,7	5.868	924
01-may	39,5	32,0	1.244	162
02-may	46,2	38,7	2.231	351
03-may	43,1	35,6	1.652	239
04-may	39,0	31,5	3.250	417
05-may	46,1	38,6	3.698	581
06-may	46,2	38,7	8.175	1.287
07-may	46,2	38,7	7.557	1.190
08-may	46,2	38,7	3.880	611
11-may	40,0	32,5	2.254	298
12-may	40,0	32,5	4.703	622
13-may	39,5	32,0	7.911	1.030
14-may	39,5	32,0	6.444	839
18-may	46,5	39,0	11.936	1.894
19-may	46,5	39,0	11.007	1.746
20-may	46,5	39,0	14.761	2.342
21-may	46,5	39,0	9.399	1.491
22-may	46,5	39,0	7.753	1.230
23-may	46,5	39,0	4.291	681
24-may	39,5	32,0	2.171	283
03-jun	46,7	39,2	10.769	1.717
05-jun	46,2	38,7	6.155	969
14-jun	46,2	38,7	6.309	993
16-jun	46,7	39,2	5.111	815
17-jun	46,5	39,0	2.022	321
17-jul	46,8	39,3	8.891	1.422
24-jul	39,0	31,5	13.650	1.749
26-jul	46,8	39,3	3.932	629
02-ago	46,8	39,3	15.324	2.450
03-ago	46,8	39,3	9.555	1.528
10-ago	39,5	32,0	6.611	861
16-ago	46,7	39,2	9.085	1.449
27-ago	46,7	39,2	15.354	2.449
01-sep	39,2	31,7	15.310	1.975
03-sep	39,5	32,0	14.160	1.844
04-sep	39,5	32,0	10.014	1.304
05-sep	43,5	36,0	23.043	3.375
10-sep	46,5	39,0	9.184	1.457
11-sep	46,5	39,0	9.349	1.483
12-sep	43,5	36,0	22.778	3.336
13-sep	39,0	31,5	8.383	1.074

<i>16-sep</i>	39,0	31,5	3.771	483
<i>17-sep</i>	39,0	31,5	5.881	754
<i>19-sep</i>	39,5	32,0	3.593	468
<i>22-sep</i>	39,5	32,0	1.161	151
<b>TOTAL</b>			<i>400.956</i>	<i>58.889</i>

Durante la campaña 2009, los 400.956 m<sup>3</sup> consumidos los días indicados en la tabla, se bombearon a una altura manométrica media de 41,5 m con un rendimiento del 66,91%, lo que supone un gasto energético de 67.698 kWh.

Con las presiones de consigna propuestas, el gasto energético es de 58.889 kWh, lo cual se traduce en un ahorro energético de 8.809 kWh y un ahorro económico de 818,85 €.

Esta medida puede resultar interesante a principios o finales de campaña porque la probabilidad de que riegue algún hidrante del grupo 1 (más desfavorable) es menor y existe más juego a la hora de variar la presión de consigna con el fin de consumir menos energía.

#### **6.4. ESTABLECIMIENTO DE TURNOS DE RIEGO**

Durante los meses de julio y agosto de la campaña 2010, la CR San Pedro tuvo que organizar la demanda mediante turnos, con el fin de no obtener caudales excesivamente elevados durante el bombeo con el motivo de no superar las potencias contratadas. También hay que señalar, que en la campaña 2010 hubo un aumento del consumo de agua con respecto a la campaña 2009. En este apartado se pretende averiguar una posible manera de mejor gestión de los turnos, en lo que se refiere a ahorro energético.

Mediante el software GESTAR 1.3., utilizado para el análisis de la propuesta anterior, se evaluaron distintas combinaciones de hidrantes con tal de obtener unos turnos con menor gasto energético. El turno de riego óptimo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 15. Turnos de riego óptimos

TURNO 1	Q (l/s)	TURNO 2	Q (l/s)
16	18	22	22
18	40	32	18
20	22	34	40
21	22	35	40
31	18	36	24
38	18	37	80
56	60	39	18
83	18	41	22
101	18	42	36
102	22	43	40
104-123-a	18	47	18
105-125	18	48	28
107	18	49	18
108-129-c	18	50	22
109	18		

Las presiones en cabecera resultaron de 51 y 50,5 m para los turnos 1 y 2 respectivamente. La CR San Pedro realizó una gestión similar a la expuesta en la tabla, con pequeñas variantes con los hidrantes 41, 49 y 50. Los turnos realizados tenían una duración de 24 horas, salvo en fines de semana, que la duración aumentaba a 36 horas.

Se puede observar que las presiones de consigna han aumentado, fruto del incremento de la demanda en el año 2010, pero la gestión se hizo de forma más o menos correcta. Durante el análisis de distintos turnos, se han agrupado en un turno los hidrantes con cotas más altas y en otro turno los hidrantes de cotas bajas. Los resultados obtenidos muestran que la presión de consigna se eleva considerablemente en el turno que agrupa hidrantes con cotas altas (valores entre 55 y 57 m), pero que apenas varía en el turno de hidrantes de cota baja (valores entre 48 y 49 m). Es por esto que el óptimo energético se encuentra con presiones de consigna parecidas en los dos turnos (valores entre 50 y 51,5 m), agrupando hidrantes de cotas altas y bajas en ambos turnos.

Si extrapolamos esta situación a los meses de julio y agosto de 2009, nos encontraríamos que algún hidrante expuesto en la tabla anterior no regó o no tuvo tanta demanda de agua como el año 2010, hecho que hace que no se tuviera que recurrir a regar las 24 horas del día con tanta frecuencia como en 2010, para lograr abastecer la



demanda. Con el sistema de turnos, las horas de riego disponibles para cada turno durante julio y agosto hacen un total de 744. Para contrastar si los hidrantes tendrían tiempo suficiente para regar, se ha calculado el número de horas de riego de 2009 durante estos dos meses.

Tabla 16. Horas de riego de cada hidrante Julio-Agosto 2009

Hidrante	Q (l/s)	Vol (m <sup>3</sup> )	Horas riego
16	18	48.026	741,1
18	40	16.880	117,2
20	22	18.020	227,5
21	22	49.908	630,2
22	22	0	0
31	18	34.343	530,0
32	18	0	0
34	40	93.212	647,3
35	40	75.211	522,3
36	24	3.040	35,2
37	80	100.562	349,2
38	18	21.900	338,0
39	18	0	0
41	22	26.935	340,1
42	36	0	0
43	40	70.088	486,7
45	16	0	0
46	22	0	0
47	18	21.729	335,3
48	28	59.962	594,9
49	18	62.716	967,8
50	22	1.471	18,6
56	60	116.981	541,6
83	18	40.357	622,8
100	22	0	0
101	18	2.049	31,6
102	22	2.358	29,8
103	18	0	0
104-123-a	18	42.347	653,5
104-123-b	18	0	0
105-125	18	7.694	118,7
106	22	0	0
107	18	16.040	247,5
108-129-c	18	0	0
109	18	24.139	372,5
110	22	0	0
		955.969	

De la tabla anterior se desprende que si todos los hidrantes riegan como en 2009 con el sistema de turnos tienen tiempo suficiente para regar, a excepción del hidrante 49, que se tendría que incluir en ambos turnos. Si comparamos la tabla 15 con la situación de 2009, los hidrantes que componen cada turno quedarían así:

Tabla 17. Turnos hipotéticos en la campaña 2009

<b>TURNO 1</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>TURNO 2</b>	<b>Q (l/s)</b>
16	18	34	40
18	40	35	40
20	22	36	24
21	22	37	80
31	18	41	22
38	18	43	40
56	60	47	18
83	18	48	28
101	18	49	18
102	22	50	22
104-123-a	18		
105-125	18		
107	18		
109	18		
49	18		

Las presiones necesarias en cabecera de la red para los turnos 1 y 2, son de 51,5 y 43,5 m (evaluadas mediante GESTAR 1.3.). El volumen consumido por los hidrantes del turno 1 es de 472.401 m<sup>3</sup> y el del turno 2 asciende a 483.568 m<sup>3</sup>. Las alturas manométricas del bombeo resultan de 44 (turno 1) y 36 m (turno 2). Con estos datos y con el rendimiento medio de la estación de bombeo de 2009 (66,91%), el consumo energético con el sistema de turnos es de 155.392 kWh.

Los 955.969 m<sup>3</sup> bombeados durante julio y agosto de 2009 sin realizar turnos suponen un consumo de energía de 171.131 kWh. El ahorro energético obtenido con la implantación de turnos es de 15.739 kWh que se traducen en 1.462,98 €.

## **7. RESUMEN**

El sector XXI de la CR San Pedro de Castelflorite (Huesca) se abastece mediante 4 bombas capaces de impulsar 118 l/s a una presión de 50 m. El agua procede de una balsa situada justo antes de la estación de bombeo y cuyo nivel medio durante campaña se sitúa sobre los 7,5 m, lo cual hace que las bombas trabajen a una presión inferior a la nominal (152 l/s a 41,5 m).

El caudal medio de la campaña 2009 fue de 162 l/s y el caudal máximo 422 l/s. El número máximo de bombas funcionando simultáneamente fue de 3. Se realizó un contraste experimental de la información proporcionada por el fabricante de las bombas, resultando haber una diferencia del 4,70% entre el rendimiento teórico y el real. Realizado este ajuste y junto con la función de densidad de caudales, se obtuvo un rendimiento medio del bombeo del 66,91% y una potencia media absorbida de 97,24 kW.

Se observa según la función de densidad una proporción importante de caudales inferiores a 40 l/s, existentes en épocas de principio y final de campaña y también en determinadas ocasiones al finalizar la jornada de riego.

El factor de potencia medio del sector XXI es ligeramente superior al 0,95. Como la facturación de la energía consumida se realiza conjuntamente con el sector XX, el factor de potencia resultante es menor (0,937), siendo el sector XX el principal causante del pago de la energía reactiva.

Los índices propuestos en el “*Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes*”, tales como la eficiencia energética del bombeo (EEB) y la eficiencia energética general (EEG), arrojan unas calificaciones de A (eficiencia excelente) y B (eficiencia buena) respectivamente.

Se han estudiado una serie de medidas destinadas a reducir el consumo energético cuyo resumen viene en la tabla siguiente.

Tabla 18. Resumen propuestas de mejora

Propuesta	Repercusión	Ahorro (kWh)	Ahorro (€)	Inversión (€)	Viabilidad
Q > 40 l/s (1)	Rto = 69,82%	13.890	1.291,09 (4,2%)	-----	SI
Añadir un variador de frecuencia (2)	Rto = 70,79%	18.257	1.697,00 (5,5%)	6.200	SI (a corto-medio plazo)
Ajuste P consigna (3)	Decremento de la presión en cabecera	8.809	818,85 (2,6%)	-----	SI
Turnos de riego (4)	Decremento de la presión y caudal en cabecera	15.739	1.462,98 (4,7%)	-----	SI

Si se combinan las propuestas 1 y 2, obtendríamos un rendimiento medio del 74,21% que supondría un ahorro energético de 32.777 kWh y 3.046,66 € (9,8%). En dos campañas se recuperaría la inversión de 6.200 € en el variador de frecuencia.

Otra manera de conseguir ahorro sin realizar ninguna inversión sería aplicar las propuestas 3 y 4, que producirían un ahorro económico de 818,85 y 1.462,98 € respectivamente.

Por último, si se combinan las cuatro propuestas, el ahorro final sería de 57.325 kWh y 5.328,44 € (17,2%). Las inversiones realizadas se recuperarían en casi una campaña.

Sin contar las inversiones, el ahorro económico con respecto a la situación inicial va desde un 2,6% (sólo propuesta 3) hasta un 17,2% (propuestas 1, 2, 3 y 4). Con las propuestas 3 y 4, se consigue un ahorro del 7,4%.

## **8. CONCLUSIONES**

La eficiencia energética general del sector XXI de la CR San Pedro se clasifica como B (buena), teniendo una eficiencia energética del bombeo del 66,91% (excelente) y una eficiencia de suministro energético del 71,60%.

A pesar de los buenos índices que presenta la gestión del sector XXI, se podrían mejorar con la implantación de una serie de medidas tales como evitar los caudales inferiores a 40 l/s, un cambio en la secuencia de funcionamiento de las bombas mediante la introducción de otra bomba de velocidad variable, el ajuste de la presión de consigna en función del tipo de hidrante que riega y el establecimiento de turnos durante los meses de julio y agosto.

La propuesta que más ahorro garantiza es la instalación de un variador de frecuencia para tener dos bombas de velocidad variable suministrando agua, que mejorarían el rendimiento medio del bombeo hasta un 70,79% y consiguiendo un ahorro económico 1.697 €, aunque también se ha de hacer frente a una inversión inicial de 6.200 €.

En caso de no querer realizar inversiones en mejorar la eficiencia, se pueden evitar los caudales bajos, ajustar la presión de consigna en cabecera según la clase de hidrante que se programa para regar y realizar turnos durante julio y agosto, obteniendo un ahorro económico de 3.572,92 € (11,5% con respecto al año de estudio).

Dejando a un lado el coste de implantación de otro variador de frecuencia y combinando las cuatro propuestas, se pueden llegar a ahorrar 57.325 kWh que suponen un gasto de 5.328,44 €, hasta un 17,2% con respecto a la situación inicial.

# ***ANEJOS***

---

**ANEJO Nº 1**

**CARACTERÍSTICAS DE LOS  
HIDRANTES DEL SECTOR XXI**

**Red de presión forzada**

Tabla 19. Hidrantes sector XXI red de presión forzada (Año 2009)

HIDRANTE	SUP (ha)	Q (l/s)	Presión (m)	Cota (m)	Cultivo	Consumo (m <sup>3</sup> /ha)
16	20,67	18	45	314	Alfalfa	4.372,6
18	26,24	40	45	310	Olivo	1.241,1
20	10,68	22	45	314	Cebada/Maíz	2.699,7
21	13,60	22	45	315	Alfalfa	6.268,4
22	10,73	22	45	316	Raygrass	2.248,3
31	4,84	18	45	291	Maíz	13.046,0
32	7,34	18	45	289	Cebada	1.524,4
34	23,80	40	45	284	Alfalfa	8.693,7
35	26,97	40	50	294	Alfalfa	6.515,4
36	12,38	24	50	299	Alfalfa	2.549,4
37	40,52	80	45	298	Alfalfa	5.196,2
38	6,15	18	45	294	Guisante/Maíz	6.847,3
39	6,07	18	45	301	Raygrass	3.370,2
41	10,53	22	45	293	Alfalfa	5.687,5
42	21,07	36	50	289	Raygrass	2.307,3
43	25,86	40	45	289	Cebada/Maíz	4.050,2
45	1,67	16	45	283	No	0,0
46	14,26	22	45	283	No	0,0
47	5,93	18	45	281	Alfalfa	8.832,2
48	18,73	28	50	273	Maíz	5.147,3
49	9,00	18	45	267	Arroz	12.369,4
50	10,00	22	45	274	Almendro	307,0
56	39,02	60	50	281	Guisante/Maíz	5.014,1
83	9,00	18	45	274	Cebada/Maíz	7.499,2
100	12,50	22	45	311	No	0,0
101	8,09	18	45	311	Cebada	1.854,0
102	9,52	22	45	305	Cebada	1.872,6
103	6,65	18	45	305	No	0,0
104-123-a	6,21	18	45	299	Maíz	12.160,5
104-123-b	0,54	18	45	299	Olivo	37,0
105-125	5,61	18	45	297	Maíz	2.268,2
106	9,60	22	45	305	No	0,0
107	8,32	18	45	303	Cebada/Maíz	5.453,1
108-129-c	4,69	18	45	289	Cebada	236,0
109	8,63	18	45	291	Cebada/Maíz	4.977,5
110	9,96	22	45	281	No	0,0
<b>TOTAL (ha)</b>	<b>465,38</b>				<b>TOTAL (m<sup>3</sup>)</b>	<b>1.972.883</b>



## **ANEJO Nº 2**

# **NIVEL DE LA BALSA**

A la hora de calcular algún parámetro como por ejemplo el caudal impulsado por una bomba o la altura manométrica de la propia bomba, entra en juego otro parámetro: el nivel de agua existente en la balsa de almacenaje.

El nivel de la balsa varía a lo largo de la campaña, manteniéndose habitualmente entre unos rangos. En el presente anejo se pretende hallar un valor representativo del nivel de la balsa que facilite y simplifique los cálculos a realizar. Puesto que a salida de bomba se ha de alcanzar una presión de consigna dada (49 m), en función del nivel de agua existente la altura manométrica dada por la bomba será una u otra, variando así de forma sensible el caudal impulsado por ésta, e incluso otros parámetros como la potencia absorbida y el rendimiento.

El material disponible son las anotaciones del personal de la CR San Pedro al inicio de la jornada del nivel de la balsa captado por el sensor de nivel habilitado en ésta. En la página siguiente se muestra una tabla con dicha información.

Tabla 20. Nivel de la balsa (m) durante la campaña 2009

MAR	Nivel (m)	ABR	Nivel (m)	MAY	Nivel (m)	JUN	Nivel (m)	JUL	Nivel (m)	AGO	Nivel (m)	SEP	Nivel (m)
11/03	8,29	01/04	8,60	01/05		01/06	6,07	01/07	6,98	01/08	6,48	01/09	6,21
12/03	8,20	02/04	8,63	02/05	8,43	02/06	6,28	02/07	7,26	02/08		02/09	6,06
13/03	8,09	03/04	8,38	03/05	8,32	03/06	6,29	03/07	7,36	03/08	5,89	03/09	6,27
14/03	7,88	04/04	8,05	04/05	7,95	04/06	6,20	04/07	7,28	04/08	6,29	04/09	6,20
15/03	7,94	05/04		05/05	7,96	05/06	6,34	05/07		05/08	6,46	05/09	6,59
16/03	7,94	06/04	8,46	06/05	8,23	06/06	6,61	06/07	6,60	06/08	6,52	06/09	6,32
17/03	7,95	07/04	8,99	07/05	8,14	07/06		07/07	7,11	07/08	6,57	07/09	6,30
18/03	7,87	20/04		08/05	7,93	08/06	7,07	08/07	7,52	08/08	6,98	08/09	6,63
19/03	7,83	21/04		09/05		09/06		09/07	7,74	09/08	7,03	09/09	6,57
20/03	7,81	22/04		10/05		10/06	6,86	10/07	7,78	10/08	7,62	10/09	6,99
21/03	7,85	23/04	8,98	11/05	7,22	11/06	6,90	11/07	7,92	11/08	8,16	11/09	7,15
22/03		24/04	8,94	12/05	7,29	12/06	6,82	12/07	7,52	12/08	8,50	12/09	7,19
23/03	7,53	25/04	8,62	13/05		13/06	6,89	13/07	7,53	13/08	8,22	13/09	7,05
24/03	7,64	26/04		14/05	7,98	14/06	6,95	14/07	7,31	14/08	7,70	14/09	7,14
25/03	7,90	27/04	8,79	15/05	8,16	15/06	7,30	15/07	7,14	15/08	7,23	15/09	7,35
26/03	7,91	28/04	8,90	16/05	8,15	16/06	7,56	16/07	7,33	16/08		16/09	7,44
27/03	7,60	29/04	8,90	17/05	8,10	17/06	7,98	17/07	7,41	17/08	6,92	17/09	7,76
28/03	7,63	30/04	8,79	18/05	6,63	18/06	7,97	18/07	7,99	18/08	7,27	18/09	8,25
29/03				19/05	6,53	19/06	7,93	19/07	7,87	19/08	7,01	19/09	8,65
30/03	8,19			20/05	6,07	20/06	7,99	20/07	7,82	20/08	7,16	20/09	
31/03	8,43			21/05	6,52	21/06	8,00	21/07	7,79	21/08	7,09	21/09	9,08
				22/05	6,84	22/06	8,11	22/07	8,07	22/08	7,02	22/09	8,81
				23/05	7,54	23/06	7,86	23/07	7,84	23/08	6,84	23/09	
				24/05	8,40	24/06	7,56	24/07	7,79	24/08	6,82		
				25/05	8,76	25/06	6,97	25/07		25/08	6,88		
				26/05	8,73	26/06	6,72	26/07		26/08	6,64		
				27/05	8,96	27/06	6,95	27/07	7,28	27/08	6,77		
				28/05	8,79	28/06	6,46	28/07	7,31	28/08	6,65		
				29/05	8,13	29/06	6,47	29/07	7,18	29/08	6,59		
				30/05	7,12	30/06	6,84	30/07	7,62	30/08	6,08		
				31/05	6,31			31/07	6,73	31/08	6,09		

De la tabla anterior, se obtiene que el valor máximo alcanzado fue de 9,08 m y el mínimo de 5,89 m. El valor medio se sitúa en 7,46 m con una desviación estándar de 0,79 m.

Se ha realizado también un estudio de la frecuencia de niveles. Para ello, se han establecido ocho intervalos de niveles con un rango de 0,5 m. En el gráfico siguiente se muestran las frecuencias obtenidas tras 165 lecturas disponibles:

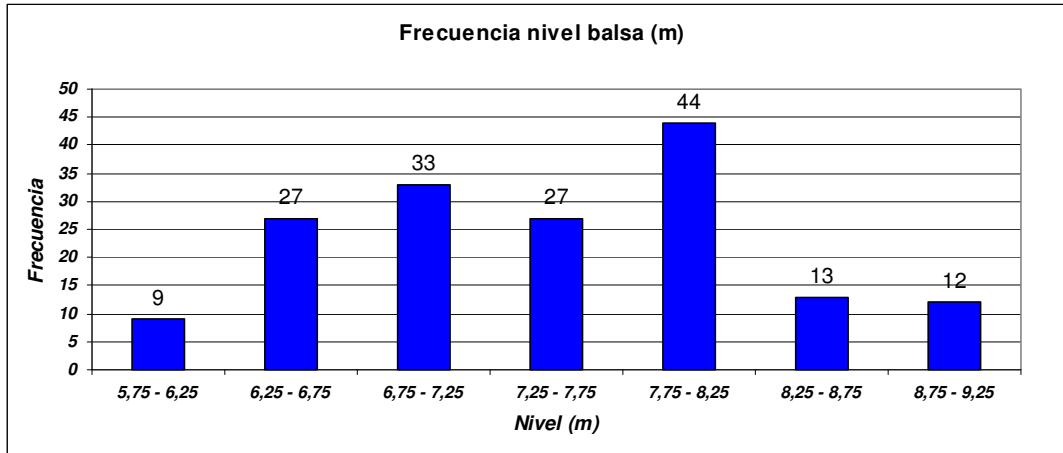


Fig. 29. Gráfico de frecuencias del nivel de la balsa

Se observa que la mayoría de las veces el nivel está entre 7,75 y 8,25 m, ó 6,75 y 7,25 m. Con la información recogida a través del gráfico anterior, se ha realizado una media ponderada mediante la siguiente fórmula:

$$h_m = \frac{\sum h_i \cdot n_i}{\sum n_i} \quad (33)$$

Siendo:

$h_m$ : Nivel medio ponderado (m)

$h_i$ : Valor centro del intervalo de niveles (m)

$n_i$ : Frecuencia del intervalo “i”

El nivel medio ponderado obtenido es de 7,48 m. Se observa que dicho valor es altamente similar a la media aritmética de los valores disponibles y al valor medio de los valores máximo y mínimo registrados. Por todo ello, consideraremos válido el trabajar con un valor redondeado de nivel de agua de **7,50 m**, que servirá de base para los cálculos necesarios.

### **ANEJO Nº 3**

# **PROGRAMACIÓN CAMPAÑA 2009**

En el presente anejo se expone un ejemplo de la programación horaria de la cual se han obtenido diferentes datos del estudio, tales como las curvas horarias de caudal o los volúmenes aplicados en campaña.

## **PROGRAMACIÓN DE JULIO**

Tabla 21. Programación julio 2009

<b>DÍA</b>	<b>HIDRANTE</b>	<b>Q (l/s)</b>	<b>PROGRAMACIÓN</b>	
1/7/09	21	22	0:00 a 8:00	17:00 a 0:00
	83	18	0:00 a 5:22	17:00 a 0:00
	49	18	0:00 a 4:19	16:00 a 0:00
	48	28	0:00 a 10:00	16:00 a 0:00
	37	80	0:00 a 10:00	
	16	18	0:00 a 10:00	16:00 a 0:00
	104-123-a	18	0:00 a 5:47	16:00 a 0:00
	56	60	0:00 a 10:00	16:12 a 0:00
	20	22	4:00 a 8:45	
	34	40		16:25 a 0:00
	35	40		18:06 a 0:00
	107	18		17:04 a 0:00
	31	18		16:20 a 0:00
	41	22		18:48 a 0:00
	47	18		17:33 a 0:00
2/7/09	21	22	0:00 a 8:00	17:00 a 0:00
	83	18	0:00 a 7:24	17:00 a 0:00
	16	18	0:00 a 8:20	16:00 a 0:00
	104-123-a	18	0:00 a 5:48	16:00 a 0:00
	56	60	0:00 a 10:00	
	20	22	4:00 a 9:26	
	48	28	0:00 a 10:00	
	105-125	18		17:00 a 18:34
	18	40		16:00 a 0:00
	109	18		20:20 a 0:00
	38	18		17:52 a 0:00
	34	40	0:00 a 10:00	16:15 a 0:00
	35	40	0:00 a 9:58	16:20 a 0:00
	107	18	0:00 a 8:23	16:05 a 0:00
	41	22	0:00 a 3:31	16:08 a 0:00
47	18	0:00 a 6:35	16:10 a 0:00	
31	18	0:00 a 10:00	16:20 a 0:00	
3/7/09	21	22	0:00 a 7:32	17:00 a 0:00
	83	18	0:00 a 5:30	17:00 a 0:00
	16	18	0:00 a 8:34	16:00 a 0:00
	104-123-a	18	0:00 a 5:09	16:00 a 0:00

Estudio de la eficiencia energética del sector XXI de la Comunidad de Regantes "San Pedro" de Castelflorite (Huesca)

	34	40	0:00 a 6:13	16:25 a 0:00
	35	40	0:00 a 9:00	16:20 a 0:00
	31	18	0:00 a 9:14	
	41	22	0:00 a 4:44	16:08 a 0:00
	47	18	0:00 a 4:52	16:10 a 0:00
	109	18	0:00 a 6:04	17:00 a 0:00
	43	40		16:44 a 0:00
	20	22	4:00 a 8:45	
	105-125	18		17:00 a 20:05
	18	40		16:00 a 0:00
	38	18	0:00 a 4:19	
	107	18	0:00 a 6:41	
	56	60		16:12 a 0:00
	48	28		16:00 a 0:00
4/7/09	21	22	0:00 a 8:00	17:00 a 0:00
	83	18	0:00 a 7:16	17:00 a 0:00
	109	18	0:00 a 6:02	17:00 a 0:00
	43	40	0:00 a 9:59	16:00 a 0:00
	41	22	0:00 a 10:00	16:08 a 0:00
	56	60	0:00 a 10:00	10:01 a 0:00
	48	28	0:00 a 10:00	16:00 a 0:00
	16	18	0:00 a 10:00	10:01 a 20:58
	20	22	4:00 a 9:26	
	105-125	18		17:00 a 20:05
	38	18	10:00 a 20:56	
	104-123-a	18	0:00 a 7:15	
	47	18	0:00 a 8:02	
	34	40	0:00 a 0:00	
	35	40	0:00 a 0:00	
	37	80		16:46 a 0:00
5/7/09	21	22	0:00 a 8:00	17:00 a 0:00
	83	18	0:00 a 7:17	17:00 a 0:00
	109	18	0:00 a 6:06	17:00 a 0:00
	43	40	0:00 a 8:00	14:00 a 0:00
	37	80	0:00 a 10:00	16:25 a 0:00
	20	22	4:00 a 9:24	
	104-123-a	18	0:30 a 15:52	
	49	18	12:30 a 0:00	
	34	40	0:00 a 0:00	
	35	40	0:00 a 0:00	
	16	18	8:21 a 0:00	
	41	22	0:00 a 10:00	
	56	60	0:00 a 4:00	
	48	28	0:00 a 10:00	
6/7/09	21	22	0:00 a 8:00	17:00 a 0:00
	83	18	0:00 a 7:23	17:00 a 0:00
	16	18	0:00 a 5:54	16:00 a 0:00
	49	18	0:00 a 9:34	16:00 a 0:00

Estudio de la eficiencia energética del sector XXI de la Comunidad de Regantes "San Pedro" de Castelflorite (Huesca)

	109	18	0:00 a 6:36	
	43	40	0:00 a 6:11	
	37	80	0:00 a 10:00	
	20	22	4:00 a 9:24	
	105-125	18		17:00 a 20:05
	104-123-a	18		17:37 a 0:00
	34	40	0:00 a 10:00	
	35	40	0:00 a 7:30	
	56	60		16:04 a 0:00
	48	28		16:00 a 0:00
	31	18		16:20 a 0:00
7/7/09	21	22	0:00 a 8:00	17:00 a 0:00
	83	18	0:00 a 7:16	17:00 a 0:00
	16	18	0:00 a 8:26	
	49	18	0:00 a 9:10	16:00 a 0:00
	56	60	0:00 a 10:00	16:04 a 0:00
	48	28	0:00 a 10:00	16:00 a 0:00
	31	18	0:00 a 10:00	16:20 a 0:00
	104-123-a	18	0:00 a 8:11	
	20	22	4:00 a 9:26	
	105-125	18		17:00 a 20:08
	109	18		20:18 a 0:00
	37	80		16:25 a 0:00
8/7/09	21	22	0:00 a 8:00	17:00 a 0:00
	83	18	0:00 a 7:16	17:00 a 0:00
	16	18		16:59 a 0:00
	49	18	0:00 a 9:59	16:00 a 0:00
	43	40		19:34 a 0:00
	37	80	0:00 a 10:00	16:25 a 0:00
	38	18		20:49 a 0:00
	104-123-a	18		17:38 a 0:00
	20	22	4:00 a 6:13	
	105-125	18		17:00 a 20:07
	56	60	0:00 a 10:00	
	48	28	0:00 a 10:00	
	31	18	0:00 a 10:00	
	109	18	0:00 a 9:28	
9/7/09	21	22	0:00 a 8:00	17:00 a 0:00
	83	18	0:00 a 7:36	17:00 a 0:00
	16	18	0:00 a 9:34	16:00 a 0:00
	49	18	0:00 a 10:00	16:00 a 0:00
	38	18	0:00 a 7:00	20:00 a 0:00
	104-123-a	18	0:00 a 5:38	16:05 a 0:00
	20	22	4:00 a 6:03	
	105-125	18		17:00 a 20:05
	56	60		16:04 a 0:00
	48	28		16:00 a 0:00
	43	40	0:00 a 9:14	



	37	80	0:00 a 10:00	
10/7/09	21	22	0:00 a 8:00	
	83	18	0:00 a 6:29	16:30 a 0:00
	16	18	0:00 a 10:00	16:00 a 0:00
	104-123-a	18	0:00 a 5:48	16:05 a 0:00
	49	18	0:00 a 9:25	16:00 a 0:00
	20	22	4:00 a 8:07	
	105-125	18		17:00 a 20:09
	38	18	0:00 a 7:47	
	56	60	0:00 a 10:00	
	48	28	0:00 a 10:00	
	43	40		18:30 a 0:00
	37	80		17:05 a 0:00
	31	18		16:20 a 0:00
	109	18		18:24 a 0:00
11/7/09	83	18	0:00 a 7:16	16:30 a 0:00
	16	18	0:00 a 20:00	
	104-123-a	18	0:00 a 6:54	22:00 a 0:00
	20	22	4:00 a 8:07	
	105-125	18		17:00 a 20:04
	31	18	0:00 a 10:00	16:20 a 0:00
	49	18	0:00 a 0:00	
	48	28		16:00 a 0:00
	38	18		21:14 a 0:00
	56	60	9:00 a 0:00	
	43	40	0:00 a 8:16	
	37	80	0:00 a 10:00	
	109	18	0:00 a 7:34	
12/7/09	21	22		17:03 a 0:00
	83	18	0:00 a 7:00	16:30 a 0:00
	16	18	10:01 a 20:01	
	104-123-a	18	0:00 a 14:00	
	49	18	0:00 a 0:00	
	31	18	0:00 a 10:00	
	43	40		18:39 a 0:00
	20	22	4:00 a 8:10	
	109	18		18:26 a 0:00
	48	28	0:00 a 10:00	
	38	18	0:00 a 8:00	
	56	60	0:00 a 21:00	
13/7/09	21	22	0:00 a 8:00	17:00 a 0:00
	83	18	0:00 a 7:13	16:30 a 0:00
	49	18	0:00 a 10:00	16:00 a 0:00
	20	22	4:00 a 8:06	
	105-125	18		17:00 a 20:04
	31	18		16:20 a 0:00
	43	40	0:00 a 8:11	
	109	18	0:00 a 7:32	

*Estudio de la eficiencia energética del sector XXI de la Comunidad de Regantes "San Pedro" de Castelflorite (Huesca)*

	48	28		16:00 a 0:00
	38	18		23:30 a 0:00
14/7/09	21	22	0:00 a 6:47	17:00 a 0:00
	83	18	0:00 a 5:52	16:30 a 0:00
	49	18	0:00 a 9:25	16:00 a 0:00
	48	28	0:00 a 10:00	16:00 a 0:00
	38	18	0:00 a 8:27	22:58 a 0:00
	104-123-a	18		18:36 a 0:00
	20	22	4:00 a 8:07	
	105-125	18		17:00 a 19:27
	31	18	0:00 a 10:00	
	43	40		18:06 a 0:00
	18	40		16:00 a 0:00
	109	18	18:00 a 21:15	23:16 a 0:00
	16	18	16:00 a 22:45	23:22 a 0:00
15/7/09	21	22	0:00 a 8:00	17:00 a 0:00
	83	18	0:00 a 7:07	16:30 a 0:00
	49	18	0:00 a 9:49	16:00 a 0:00
	38	18	0:00 a 6:58	20:00 a 0:00
	104-123-a	18	0:00 a 5:43	16:00 a 0:00
	43	40	0:00 a 5:41	16:05 a 0:00
	16	18	0:00 a 9:05	16:01 a 0:00
	20	22	4:00 a 8:06	
	105-125	18		17:00 a 20:04
	18	40		16:00 a 0:00
	48	28	0:00 a 10:00	
	109	18	0:00 a 7:37	
	56	60		16:00 a 0:00
16/7/09	21	22	0:00 a 8:00	17:00 a 0:00
	83	18	0:00 a 7:07	16:30 a 0:00
	49	18	0:00 a 9:49	16:00 a 0:00
	16	18	0:00 a 0:31	16:01 a 0:00
	20	22	4:00 a 8:08	
	105-125	18		17:00 a 20:04
	48	28		16:00 a 0:00
	56	60	0:00 a 10:00	16:00 a 0:00
	31	18		16:20 a 0:00
	38	18	0:00 a 7:46	
	43	40	0:00 a 6:23	
	104-123-a	18	0:00 a 5:42	16:00 a 0:00
17/7/09	21	22	0:00 a 8:32	
	83	18	0:00 a 7:13	16:30 a 0:00
	104-123-a	18	0:00 a 7:41	
	56	60	0:00 a 5:31	16:00 a 0:00
	49	18	0:00 a 9:49	16:00 a 0:00
	16	18	0:00 a 8:55	16:01 a 0:00
	20	22	4:00 a 8:05	
	41	22		17:44 a 0:00

Estudio de la eficiencia energética del sector XXI de la Comunidad de Regantes "San Pedro" de Castelflorite (Huesca)

	47	18		17:38 a 0:00
	38	18		20:51 a 0:00
	48	28	0:00 a 10:00	
	31	18	0:00 a 6:53	
18/7/09	83	18	0:00 a 7:00	16:30 a 0:00
	104-123-a	18		22:28 a 0:00
	56	60	0:00 a 2:26	13:00 a 0:00
	38	18	0:00 a 7:03	20:00 a 0:00
	43	40		18:39 a 0:00
	49	18	0:00 a 0:00	
	16	18	0:00 a 0:00	
	20	22	4:00 a 8:08	
	105-125	18		17:00 a 20:04
	41	22	0:00 a 0:00	
	47	18	0:00 a 0:00	
	109	18		18:26 a 0:00
19/7/09	21	22		16:57 a 0:00
	83	18	0:00 a 7:13	16:30 a 0:00
	43	40	0:00 a 7:37	18:00 a 0:00
	109	18	0:00 a 7:09	18:00 a 0:00
	49	18	0:00 a 0:00	
	16	18	0:00 a 0:00	
	20	22	4:00 a 8:08	
	41	22	0:00 a 9:54	
	47	18	0:00 a 13:54	
	56	60	0:00 a 0:00	
	48	28	10:00 a 0:00	
	104-123-a	18	0:00 a 13:47	
	38	18	0:00 a 7:46	
20/7/09	21	22	0:00 a 8:00	17:00 a 0:00
	83	18	0:00 a 7:03	16:30 a 0:00
	49	18	0:00 a 9:28	16:00 a 0:00
	16	18	0:00 a 8:49	16:00 a 0:00
	41	22		18:50 a 0:00
	47	18		17:48 a 0:00
	20	22	4:00 a 8:07	
	105-125	18		17:00 a 20:04
	34	40		16:15 a 0:00
	35	40		16:10 a 0:00
	31	18		17:16 a 0:00
	104-123-a	18		17:35 a 0:00
	43	40	0:00 a 8:11	
	109	18	0:00 a 7:37	
	56	60	0:00 a 10:00	
	48	28	0:00 a 10:00	
21/7/09	21	22	0:00 a 8:00	17:00 a 0:00
	83	18	0:00 a 7:09	16:30 a 0:00
	49	18	0:00 a 9:53	16:00 a 0:00

Estudio de la eficiencia energética del sector XXI de la Comunidad de Regantes "San Pedro" de Castelflorite (Huesca)

	16	18	0:00 a 8:49	16:00 a 0:00
	41	22	0:00 a 1:30	16:01 a 0:00
	47	18	0:00 a 6:39	16:10 a 0:00
	34	40	0:00 a 10:00	16:15 a 0:00
	35	40	0:00 a 10:00	16:10 a 0:00
	104-123-a	18	0:00 a 5:43	16:00 a 0:00
	31	18	0:00 a 6:04	16:20 a 0:00
	20	22	4:00 a 8:07	
	105-125	18		17:00 a 20:04
	101	18		17:05 a 0:00
	102	22		17:19 a 0:00
22/7/09	21	22	0:00 a 8:00	17:00 a 0:00
	34	40	0:00 a 10:00	16:15 a 0:00
	35	40	0:00 a 8:00	16:10 a 0:00
	36	24		16:00 a 18:35
	101	18	0:00 a 7:49	16:00 a 0:00
	102	22	0:00 a 7:01	16:00 a 0:00
	109	18		18:26 a 0:00
	56	60		16:07 a 0:00
	48	28		16:04 a 0:00
	38	18		20:47 a 0:00
	43	40		18:39 a 0:00
	37	80		16:25 a 0:00
	83	18	0:00 a 8:18	
	49	18	0:00 a 10:00	
	16	18	0:00 a 9:58	
	41	22	0:00 a 5:14	
	47	18	0:00 a 8:04	
	104-123-a	18	0:00 a 7:13	
	31	18	0:00 a 6:04	
23/7/09	34	40	0:00 a 10:00	
	35	40	0:00 a 9:53	16:10 a 0:00
	36	24		16:00 a 19:24
	109	18	0:00 a 7:07	18:00 a 0:00
	43	40	0:00 a 7:35	18:03 a 0:00
	37	80	0:00 a 10:00	16:20 a 0:00
	20	22	4:00 a 8:07	
	105-125	18	11:00 a 12:32	
	41	22		18:19 a 0:00
	104-123-a	18		13:07 a 0:00
	31	18		10:02 a 0:00
	18	40		10:00 a 18:00
	21	22	0:00 a 8:00	
	101	18	0:00 a 8:53	
	102	22	0:00 a 8:04	
	56	60	0:00 a 10:00	
	48	28	0:00 a 10:00	
	38	18	0:00 a 10:00	

Estudio de la eficiencia energética del sector XXI de la Comunidad de Regantes "San Pedro" de Castelflorite (Huesca)

24/7/09	35	40	0:00 a 8:58	
	20	22	3:00 a 9:07	
	105-125	18		22:34 a 0:00
	37	80	0:00 a 18:16	
	56	60	10:00 a 0:00	
	48	28	10:04 a 0:00	
	38	18		16:00 a 0:00
	83	18	10:16 a 0:00	
	49	18	10:00 a 0:00	
	43	40	0:00 a 8:20	
	16	18	0:00 a 9:29	
	104-123-a	18	0:00 a 7:28	
	41	22	0:00 a 5:25	
	31	18	0:00 a 4:00	
	109	18	0:00 a 7:34	
25/7/09	38	18	0:00 a 2:58	16:00 a 0:00
	49	18	0:00 a 0:00	
	56	60	0:00 a 0:00	
	43	40	14:34 a 0:00	
	16	18	8:34 a 0:00	
	41	22		18:14 a 0:00
	47	18	12:20 a 0:00	
	104-123-a	18	12:56 a 0:00	
	31	18	10:02 a 0:00	
	109	18	13:40 a 0:00	
	21	22		17:00 a 0:00
	48	28	0:00 a 10:04	
	83	18	0:00 a 8:01	
26/7/09	38	18	0:00 a 4:09	
	49	18	0:00 a 0:00	
	56	60	0:00 a 10:00	
	43	40	0:00 a 10:21	
	16	18	0:00 a 0:00	
	41	22	0:00 a 5:23	
	47	18	0:00 a 7:49	
	104-123-a	18	0:00 a 11:46	
	31	18	0:00 a 4:00	
	109	18	0:00 a 9:26	
	21	22	0:00 a 8:00	
27/7/09	49	18	0:00 a 4:00	7:55 a 0:00
	16	18	0:00 a 6:29	
	20	22	3:00 a 12:28	
	41	22		18:44 a 0:00
	47	18		17:32 a 0:00
	104-123-a	18	12:52 a 0:00	
	38	18		20:49 a 0:00
	18	40	10:00 a 18:00	
	56	60	10:00 a 0:00	

Estudio de la eficiencia energética del sector XXI de la Comunidad de Regantes "San Pedro" de Castelflorite (Huesca)

	43	40	0:00 a 8:20	
28/7/09	49	18	0:00 a 0:00	
	16	18	0:00 a 8:52	16:00 a 0:00
	41	22	0:00 a 3:40	16:02 a 0:00
	47	18	0:00 a 6:39	16:04 a 0:00
	104-123-a	18	0:00 a 11:47	
	43	40		18:35 a 0:00
	109	18		18:31 a 0:00
	18	40	10:00 a 19:00	
	31	18		16:39 a 0:00
	105-125	18		22:33 a 0:00
	48	28	10:04 a 0:00	
	83	18		17:21 a 0:00
	21	22		16:00 a 0:00
	38	18	0:00 a 7:47	
	56	60	0:00 a 0:00	
29/7/09	49	18	0:00 a 0:00	
	16	18	0:00 a 8:56	16:00 a 0:00
	41	22	0:00 a 1:25	16:02 a 0:00
	47	18	0:00 a 6:37	16:04 a 0:00
	104-123-a	18	12:19 a 0:00	
	21	22	0:00 a 10:00	16:00 a 0:00
	38	18		20:49 a 0:00
	20	22	3:00 a 12:31	
	34	40	10:15 a 0:00	
	35	40	10:10 a 16:46	
	37	80	10:01 a 0:00	
	43	40	0:00 a 8:04	
	109	18	0:00 a 7:35	
	105-125	18	0:00 a 2:23	
	48	28	0:00 a 10:04	
	83	18	0:00 a 8:11	
	56	60	0:00 a 10:00	
	31	18	0:00 a 4:04	
30/7/09	16	18	0:00 a 8:52	16:00 a 0:00
	21	22	0:00 a 10:00	16:00 a 0:00
	38	18	0:00 a 6:55	20:00 a 0:00
	34	40		16:15 a 0:00
	35	40		16:10 a 0:00
	36	24		16:00 a 19:39
	18	40	8:00 a 14:32	
	43	40		18:39 a 0:00
	109	18		18:26 a 0:00
	105-125	18		22:31 a 0:00
	48	28	10:04 a 0:00	
	83	18		17:20 a 0:00
	31	18		16:40 a 0:00
	49	18	0:00 a 7:54	

*Estudio de la eficiencia energética del sector XXI de la Comunidad de Regantes “San Pedro” de Castelflorite (Huesca)*

	41	22	0:00 a 7:19	
	47	18	0:00 a 8:01	
	37	80	0:00 a 0:00	
	104-123-a	18	0:00 a 11:46	
31/7/09	16	18	0:00 a 8:34	16:00 a 0:00
	34	40	0:00 a 10:00	16:15 a 0:00
	35	40	0:00 a 8:55	16:10 a 0:00
	36	24		20:12 a 0:00
	105-125	18	0:00 a 1:52	22:00 a 0:00
	18	40	8:00 a 13:56	
	49	18	7:26 a 0:00	
	41	22		20:38 a 0:00
	20	22		16:00 a 0:00
	56	60	10:00 a 0:00	
	21	22	0:00 a 10:00	
	38	18	0:00 a 7:40	
	43	40	0:00 a 8:00	
	109	18	0:00 a 7:29	
	48	28	0:00 a 10:00	
	83	18	0:00 a 8:11	
	31	18	0:00 a 4:25	
	37	80	0:00 a 10:01	

## **ANEJO N° 4**

# **CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS BOMBAS (FABRICANTE)**





**BOMBAS ITUR, S.A.**

# Curvas Características

Oferta N° **D757500-D0601-00**

Proyecto **Castelflorite**

Fecha **2004-09-17** Página 4 / 5

N° de cliente **757500**

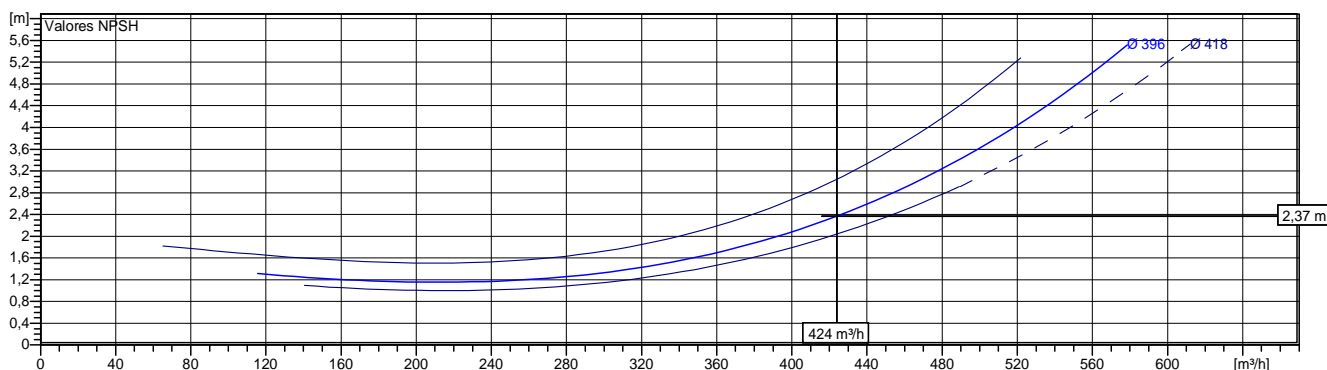
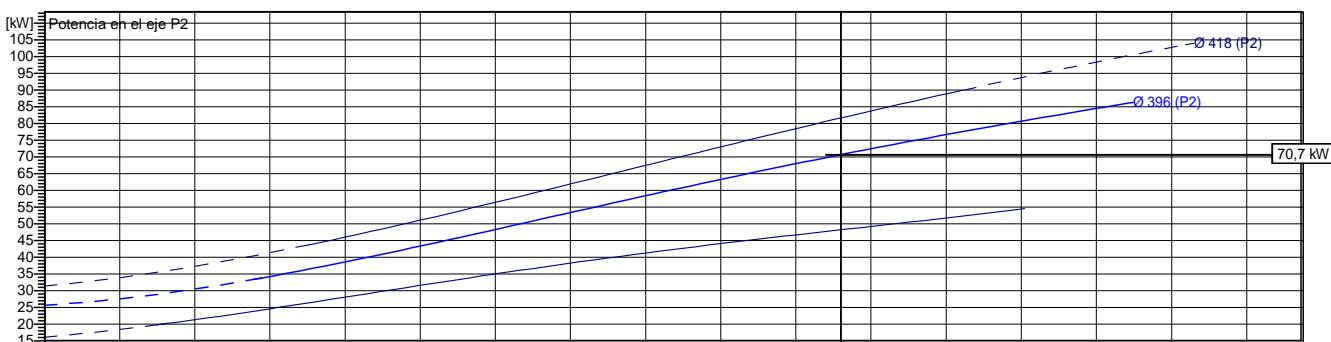
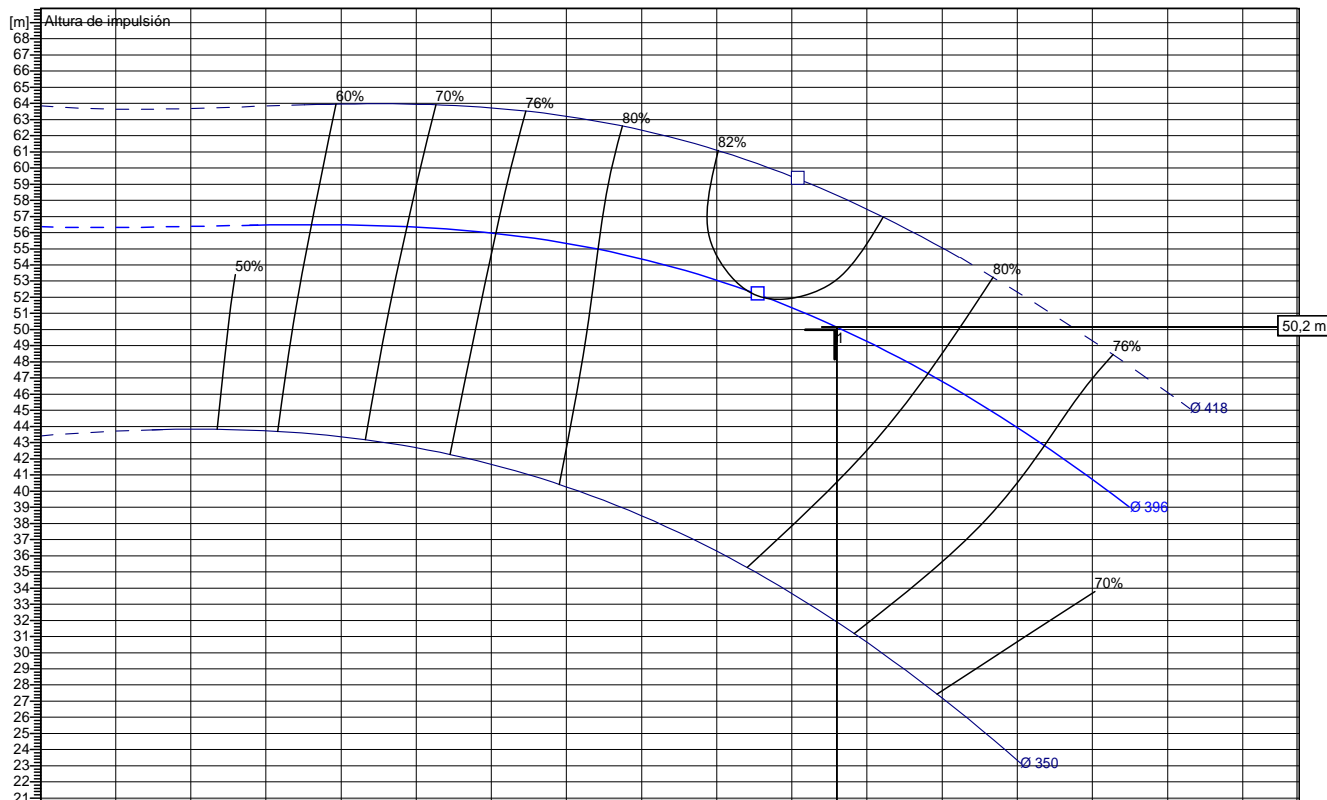
Posición **1** **1.1**

Cliente **DRAGADOS,S.A.**

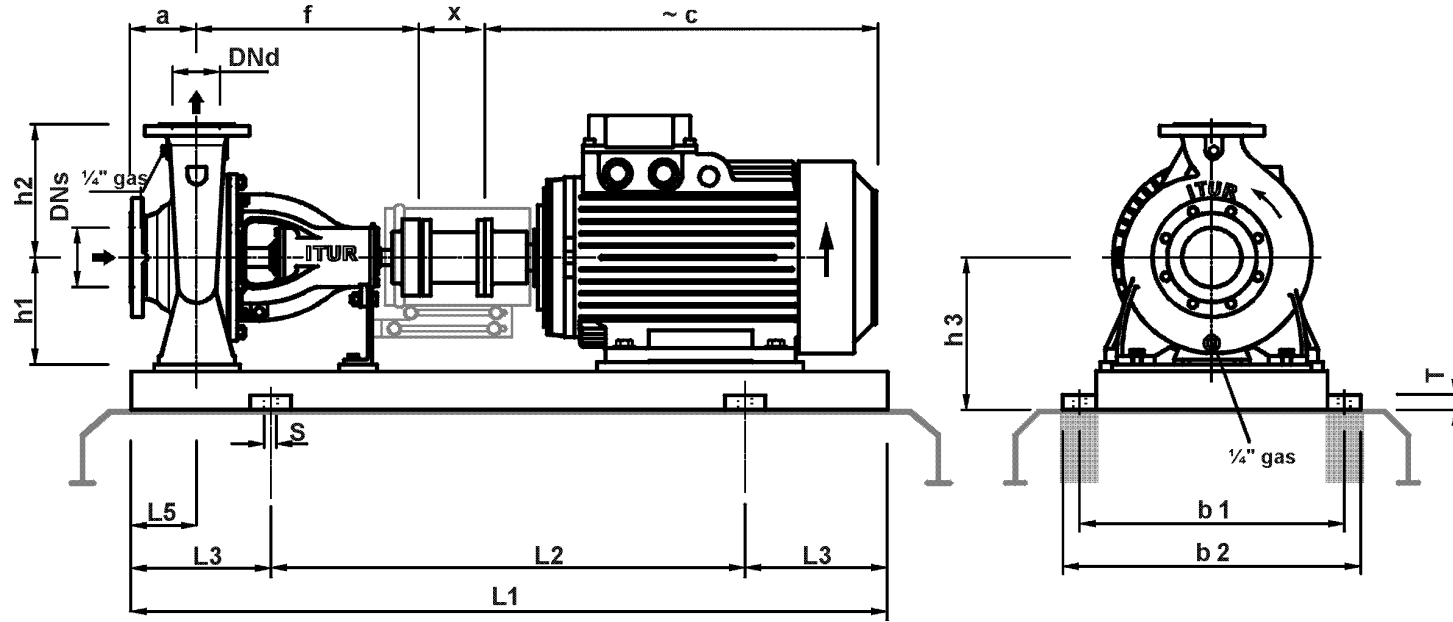
N° de curva: **0500.6016/41/01**

Denominación de bomba	<b>IN-150/400B</b>	Revoluciones	<b>1485</b>	rpm
Numero de etapas	<b>1</b>	Caudal nominal	<b>424</b>	m³/h
Tipo de impulsor		Presión nominal	<b>50,2</b>	m

Datos de potencia para: Agua, limpia [100%] ; 20°C; 0,99819kg/dm³; 1mm²/s



# IN-150/400B



## Dimensiones en mm

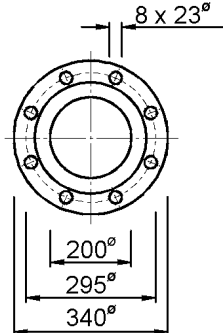
a	160
b1	670
b2	730
c	1120
DNd	150
DNs	200
f	530
h1	315
h2	450
h3	415
L1	1800
L2	1200
L3	300
L4	0
L5	110
S	26
T	30
x	180

Peso

**1121,9 kg**

**DNs Lado aspiración**

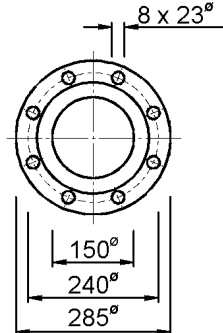
DN 200 DIN PN 10



**Bocas**

**DNd Lado impulsión**

DN 150 DIN PN 10



Nº de cliente 757500  
 Cliente DRAGADOS,S.A.  
 Oferta Nº D757500-D0601-00  
 Posición 1.1 1.1  
 Proyecto Castelflorite

Página 5 / 5

Fecha 2004-09-17

**PLANO DIMENSIONAL**



## **ANEJO N° 5**

# **IMÁGENES**



*Fig. 30. Acequia de Terreu*



*Fig. 31. Captación de la Acequia de Terreu*



*Fig. 32. Balsa de almacenaje*



*Fig. 33. Filtro después de balsa*



*Fig. 34. Estación de bombeo*



*Fig. 35. Bombas sector XXI*



*Fig. 36. Transductor de presión y caudalímetro*



*Fig. 37. Contador general de energía eléctrica*



*Fig. 38. Detalle hidrante 34*



*Fig. 39. Filtro y válvula del sistema de riego (hidrante 43)*





*Fig. 40. Parcela con aspersión (hidrante 43)*

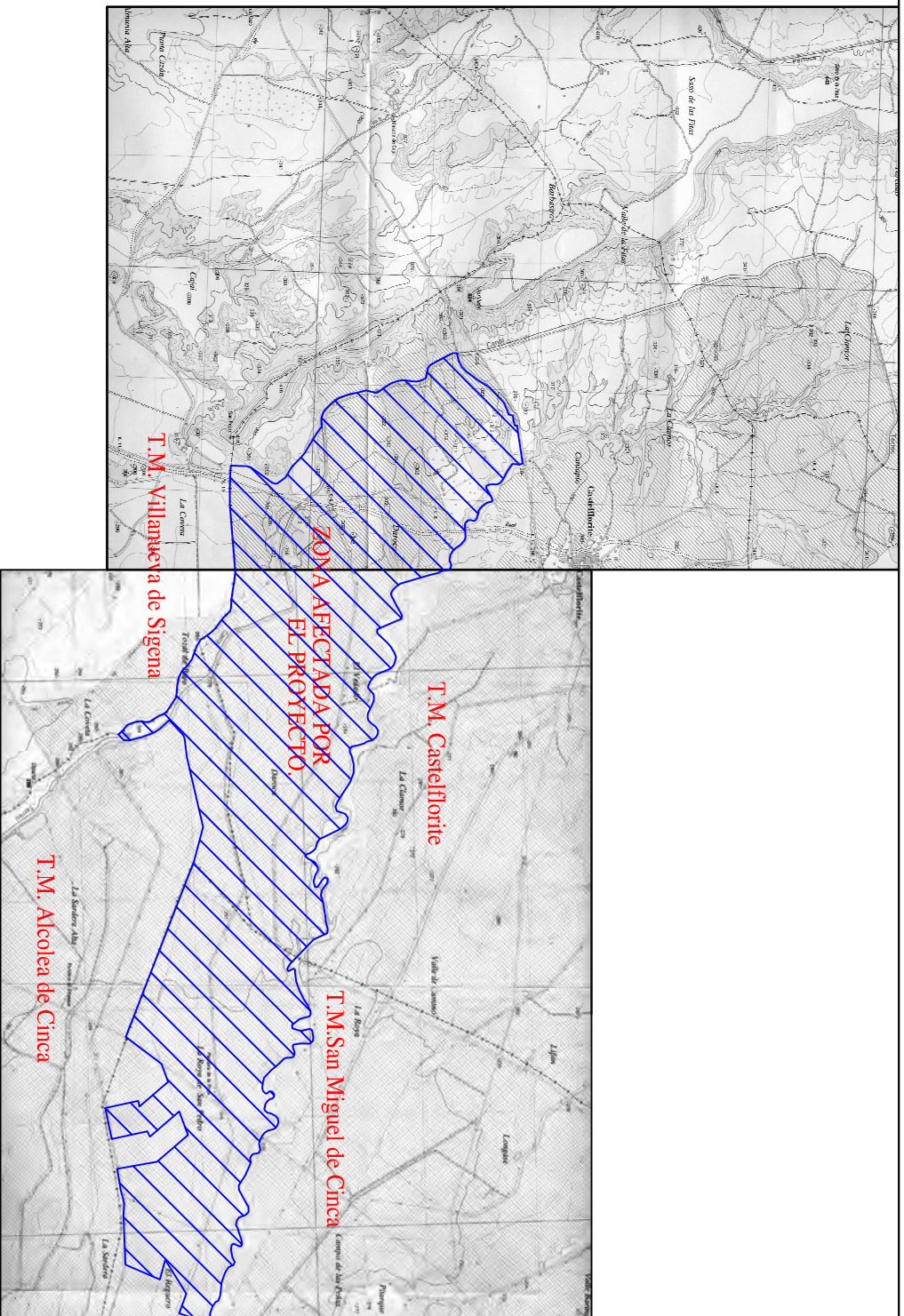


*Fig. 41. Parcela con goteo (hidrante 50)*

## **ANEJO N° 6**

# **PLANOS**





Estudio de la eficiencia energética del sector XXI de la Comunidad de Regantes San Pedro de Castelflorite (Huesca)

Proyecto Final de Carrera

Autor: Javier Bareche Sahún

Elaborado a partir de plano 1.2. "Proyecto modificado nº 1 del proyecto de puesta en riego por presión del sector XXI del Canal del Cinca (Huesca)". (SIRASA, 2004)

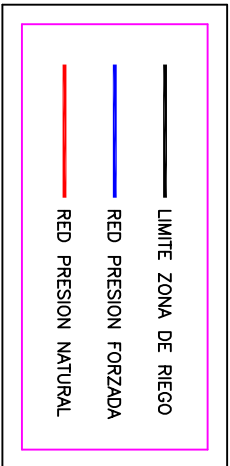
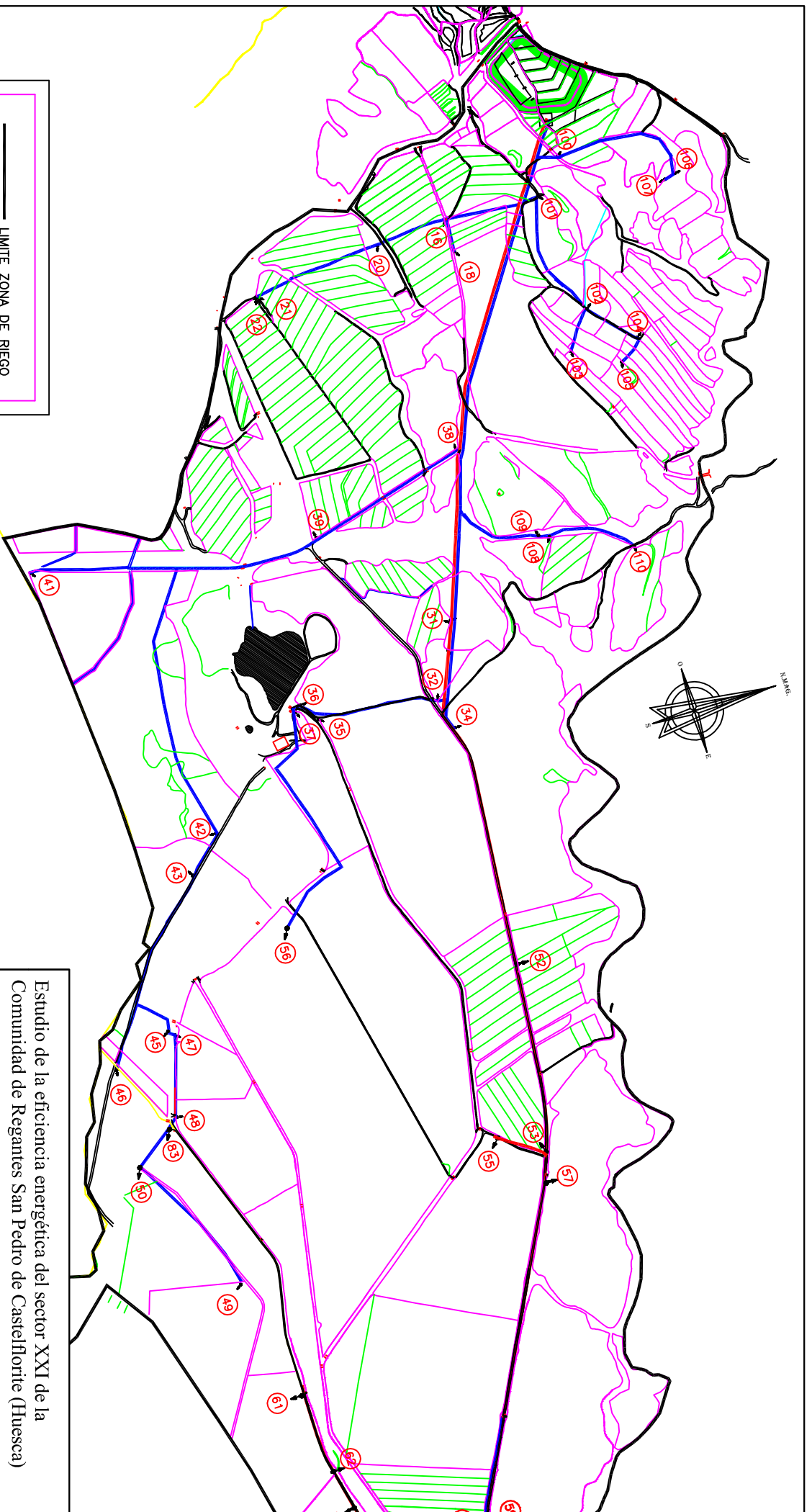
Emplazamiento

Escala:  
1:60000

Plano Nº 2

Agosto 2010





Estudio de la eficiencia energética del sector XXI de la Comunidad de Regantes San Pedro de Castelflorite (Huesca)

Proyecto Final de Carrera



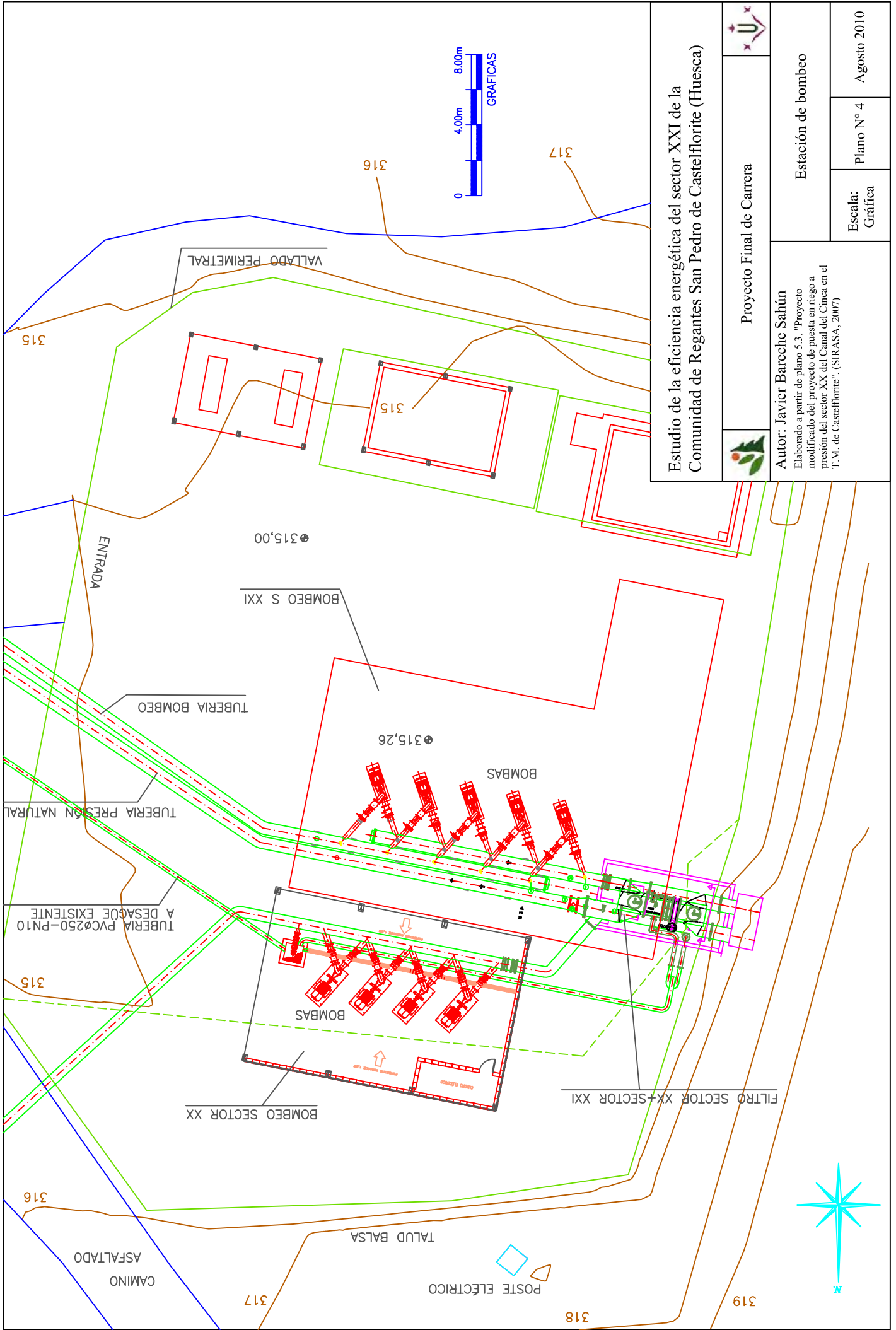
Autor: Javier Bareche Sahún

Elaborado a partir de plano 2.2. "Proyecto modificado nº 1 del proyecto de puesta en riego por presión del sector XXI del Canal del Cinca (Huesca)". (SIRASA, 2004)

Planta general

Escala: Gráfica Plano Nº 3 Agosto 2010





**Estudio de la eficiencia energética del sector XXI de la Comunidad de Regantes San Pedro de Castellflorite (Huesca)**



**Autor: Javier Bareche Sahún**

Elaborado a partir de plano 5.3, "Proyecto modificado del proyecto de puesta en riego a presión del sector XX del Canal del Cinca en el T.M. de Castellflorite". (SIRASA, 2007)



Proyecto Final de Carrera

Estación de bombeo

Escala:  
Gráfica

Plano N° 4

Agosto 2010

## **BIBLIOGRAFÍA**

ALASTRUEY LUNA, J. N. (2007). *Proyecto modificado del proyecto de puesta en riego a presión del sector XX del Canal del Cinca en el T.M. de Castelflorite*. SIRASA, Gobierno de Aragón.

ALASTRUEY LUNA, J. N. (2004). *Proyecto modificado N° 1 del proyecto de puesta en riego por presión del sector XXI del Canal del Cinca (Huesca)*. SIRASA, Gobierno de Aragón.

BLANCO PÉREZ, M.; CAMACHO POYATO, E.; RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A. *Análisis de la eficiencia energética en el uso del agua de riego en Comunidades de Regantes de Andalucía*. XXVII Congreso Nacional de Riegos. Murcia, 16-18 de junio de 2009.

CABAÑAS TRINCADO, M. (2007). *Análisis y uso del agua en la estación de bombeo y red de riego de los campos de prácticas de la E.T.S.I. Agrónomos*. Universidad Politécnica de Madrid.

CABRERA, E.; ESPERT, V.; GARCÍA-SERRA, J.; MARTÍNEZ, F. (1996). *Ingeniería Hidráulica. Aplicaciones a los sistemas de distribución de agua*. Ud. Mecánica de Fluidos. UP Valencia.

CARRILLO COBO, M. T.; RODRÍGUEZ DÍAZ, J. A.; CAMACHO POYATO, E. *Eficiencia energética en la Comunidad de Regantes de Fuente Palmera*. XXVII Congreso Nacional de Riegos. Murcia, 16-18 de junio de 2009.

CLEMENT, R.; GALAND, A. (1986). *El riego por aspersión y las redes colectivas de distribución a presión*. Editores Técnicos Asociados. Barcelona.

FENACORE, SERINA, IDAE, UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ (2010). *Curso de gestor energético de Comunidades de Regantes*.

GRUPO CREA: MORENO, M. A.; MORALEDA, D.; CORCOLES, J. I.; TARJUELO, J. M.; GRUPO UMH: ABADÍA, R.; ROCAMORA, M. C.; RUIZ, A.; MORA, M.; VERA, J.; PUERTO, H.; ANDRÉU, J.; CÁMARA, J. M.; MELIÁN, A. *Estudio comparativo sobre eficiencia energética de Comunidades de Regantes*. XXVII Congreso Nacional de Riegos. Murcia, 16-18 de junio de 2009.

GRUPO CREA: MORENO, M. A.; MORALEDA, D.; CORCOLES, J. I.; TARJUELO, J. M.; GRUPO UMH: ABADÍA, R.; ROCAMORA, M. C.; RUIZ, A.; MORA, M.; VERA, J.; PUERTO, H.; ANDRÉU, J.; CÁMARA, J. M.; MELIÁN, A. *Estudio comparativo sobre medidas de ahorro energético y económico en Comunidades de Regantes*. XXVII Congreso Nacional de Riegos. Murcia, 16-18 de junio de 2009.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA – IDAE (2005). *Ahorro y eficiencia energética en agricultura de regadío*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA – IDAE (2008). *Ahorro y eficiencia energética en las Comunidades de Regantes*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA – IDAE (2008). *Protocolo de auditoría energética en Comunidades de Regantes*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

OLLÉS GRÚAS, J.; HERNÁNDEZ, A.; BUÑUEL, F. *Mejora de la gestión energética en Comunidades de Regantes*. Encuentro Nacional de Asesoramiento al Regante. Zaragoza, 2-5 de marzo de 2010.

PAÑO, J.; GARCÍA, S.; ALIOD, R.; GONZÁLEZ, C.; SERAL, P. (2009). *Evaluación y optimización de costes energéticos en regadíos a presión mediante GESTAR*. Área de mecánica de fluidos. Equipo GESTAR Escuela Politécnica Superior Huesca. Universidad de Zaragoza.



SALA SOLÉ, J. (2010). *Estudi de l'eficiència energètica del sector “D” de la Comunitat de Regants de Carrassumada (Torres de Segre)*. ETSEA, Universitat de Lleida.

### **Bibliografía electrónica**

RODRÍGUEZ, J. I. *Buen provecho* [en línea]. *Ambienta*. Mayo 2002, pp. 45-52. <  
<http://hispagua.cedex.es/documentacion/revistas/ambienta/n11/articulo6.pdf> > [Consulta:  
20 dic. 2010].

OFICINA DEL REGANTE: < <http://servicios.aragon.es/oresa/> >