



CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE BOMBAS. UN CASO PRÁCTICO EN CALIFORNIA

Luis Pérez Urrestarazu¹, Charles M. Burt²

¹ Área de Ingeniería Agroforestal, ETSIA. Universidad de Sevilla. Ctra. Utrera km.1, 41013. Sevilla. E-mail: lperez@us.es

² Irrigation Training and Research Center, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, CA 93407-0730. E-mail: cburt@calpoly.edu

Resumen

En la parte Central de California se usan muchas bombas para riego pero un gran número de ellas trabajan de forma ineficiente. En este trabajo se analiza la información recogida en 15000 ensayos realizados a bombas eléctricas para riego en California. Los objetivos de este estudio son definir las características comunes atribuidas a las bombas con mejor y peor comportamiento e identificar los posibles grupos que puedan ser objeto de mejora, obteniendo los ahorros energéticos potenciales. Los resultados muestran que las bombas con menor altura manométrica total (TDH, Total Dynamic Head) y menor caudal (Q) presentan normalmente peores valores de eficiencia general (OPPE, Overall Pumping Plant Efficiency). Por otro lado, bombas con mayor caudal y potencia se asocian con mejores valores de OPPE. Según este análisis, se pueden obtener ahorros energéticos de más de 100000 MWh/año para bombas de pozo, siendo el ahorro medio por bomba de 50 MWh/año. En el caso de bombeos de aguas superficiales, se han estimado ahorros potenciales de 16500 MWh/año, con una media por bomba de 34 MWh/año.

Palabras Clave: Eficiencia energética, bombeos.

Abstract

Many pumps are used for irrigation in Central California but a great number of them are operating inefficiently. In this work, the information recovered from over 15,000 electric irrigation pump tests in Central California is analyzed. The objectives of this study are to define the common characteristics attributed to pumps with best and worst performance and to identify the possible target groups that might benefit from improvements, obtaining potential energy savings. The results showed that pumps with lower total dynamic head (TDH) and flow rate (Q) usually have poorer overall pumping plant efficiency (OPPE) values but high flow rates and input power are typically associated with better OPPE values. According to this analysis, energy savings of more than 100,000 MWh/year could be achieved for well pumps, being the average per pump 50 MWh/year. For non-well pumps, the total potential savings are 16,500 MWh/year and the average per pump is 34 MWh/year.

Keywords: Energy efficiency, pumping stations.

1. INTRODUCCIÓN

La agricultura de regadío representa un 22% de la energía total consumida por el sector agrícola en España y el 1% del consumo total nacional. Por otro lado, la energía eléctrica es el recurso energético más utilizado en el regadío, representando el 1.8% del consumo nacional, la mitad del cual se destina al suministro de las estaciones de bombeo. Con el aumento de la superficie regada y la modernización de regadíos, el consumo de energía eléctrica se incrementa de igual forma. Para 2012, el 95% de la energía consumida por la agricultura de regadío será eléctrica (IDAE, 2007).

En California, se consumen unos 10 millones de MWh en los bombeos agrícolas y la mayor parte de ese consumo se da en los valles de San Joaquín y Sacramento, donde se encuentran la mayoría de las explotaciones agrícolas (Burt et al., 2003). Los costes de bombeo son normalmente superiores a lo que deberían ser debido fundamentalmente a dos razones: se bombea más agua de la necesaria y el funcionamiento de los equipos de bombeo es ineficiente.

De forma ideal, la eficiencia general (OPPE, Overall Pumping Plant Efficiency) para los sistemas de bombeo eléctricos nuevos debería ser al menos del 70 % (para equipos de más de 25 kW) y en toda nueva estación de bombeo debería comprobarse el valor inicial de OPPE. Por otro lado, bombas que en un principio son eficientes, pueden dejar de serlo debido a desgaste en sus elementos o cambios del sistema de riego (Hanson, 1988). Las opciones para mejorar OPPE incluyen el ajuste de los impulsores, la reparación o la sustitución de bombas o la conversión a motores eléctricos energéticamente más eficientes (Hanson, 2002). Los variadores de frecuencia, aunque no mejoran OPPE, reducen el consumo energético ya que permiten obtener la combinación de presión y caudal requerida en cada momento.

Las estaciones de bombeo deberían ser evaluadas periódicamente para determinar el estado de las bombas y las posibles causas de las bajas eficiencias. Para ello es necesario llevar a cabo un examen de las bombas donde se mide su caudal, elevación, presión de descarga y potencia consumida. En California, las compañías eléctricas como *Pacific Gas and Electric Company* han realizado esas evaluaciones durante 70 años para minimizar el consumo de energía en el sector. Otros programas parecidos han sido promocionados por la *California Energy Commission* (Burt and Howes, 2005).

Aunque la reparación y sustitución de las bombas puede mejorar sustancialmente el comportamiento de las estaciones de bombeo, los ahorros energéticos dependen también del diseño y manejo del sistema de riego. Para reducir el consumo eléctrico, los kilovatios-hora deben reducirse bien empleando menos potencia o bien reduciendo las horas de funcionamiento para proporcionar el mismo caudal.

Las bombas para riego están normalmente sobredimensionadas para trabajar en las condiciones más desfavorables que no se corresponden con las normales por lo que en estos casos es interesante instalar variadores de frecuencia. Por otro lado, si se utilizan motores de alta eficiencia energética deberían ahorrarse entre 3 y 5 % de los costes de funcionamiento, aunque algunos motores considerados de “alta eficiencia” han demostrado tener menores eficiencias que los estándar (Burt et al., 2008).

Todas estas consideraciones son bien conocidas aunque es complicado obtener información del comportamiento real de las bombas. Este trabajo describe un análisis realizado sobre unas 15000 evaluaciones de bombas eléctricas para riego en la parte central de California.

El objetivo principal de este trabajo es definir las características comunes atribuidas a las bombas con mejor y peor funcionamiento y consumo energético, identificando los grupos sobre los que actuar para obtener las mayores reducciones en el consumo de energía. Además, se pretende estimar los ahorros potenciales si se actúa sobre distintos grupos de bombas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para poder establecer las acciones necesarias para reducir el consumo energético de las bombas y mejorar su eficiencia, es necesario realizar una caracterización energética de las mismas. En este trabajo, se ha recopilado información de más de 15000 grupos de bombeo de distintos tipos en los valles de Salinas, Sacramento y San Joaquín (California) durante un periodo de 5 años (2004 – 2009).

Las variables utilizadas para la caracterización fueron: altura manométrica total (TDH, Total Dynamic Head, m), caudal registrado (Q, l/s), potencia registrada (kW), consumo de energía por volumen (kWh/m³) y eficiencia general del grupo de bombeo (OPPE, %). Se establecieron dos grandes grupos: bombeos de pozo (12887 bombas) y bombeos de aguas superficiales (2875 bombas). Dentro de esa base de datos, se obtuvieron valores de consumo de energía anual (MWh/a) en 5436 bombeos de pozo y 896 de aguas superficiales.

Se estudiaron las correlaciones entre las distintas variables usando el programa *Minitab*[®] 16.1.0 y se agruparon las bombas atendiendo a sus diferentes características usando gráficos de dispersión con ajuste de funciones. Dentro de cada categoría, aquellas bombas con OPPE por debajo de la media del grupo se consideraron susceptibles de mejora. De este modo, se estimaron los ahorros potenciales de energía comparando la eficiencia de cada una de las bombas con la media del mejor cuarto en cada categoría.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El valor medio obtenido para la eficiencia general en el caso de bombeos de pozo es del 53 % mientras que para bombeos de aguas superficiales es ligeramente inferior, del 52 %. Estos valores son similares a los obtenidos por Burt y Howes (2005 y 2008) como media para sistemas de bombeo en California, una media de OPPE de 57.5 % y 55 % respectivamente. De estos resultados se desprende que el 35 % de los bombeos de pozo y el 51 % de los superficiales presentan valores bajos de eficiencia (inferiores al 50 %). Únicamente el 6 % de los bombeos de pozo y el 9 % de los superficiales tienen OPPE superior al 70 %.

Los valores de OPPE tienden a ser mejores cuando TDH, Q y la potencia son altas. Esta tendencia es más clara en el caso de bombas de pozo, sobre todo para TDH, ya que el 85 % de las bombas con OPPE < 50 % presentaban una TDH < 75 m mientras que el 70 % de las bombas con OPPE < 30 % tenían una TDH < 45 m. Cuando la TDH superaba los 120 m, únicamente el 16 % de las bombas obtenían valores de OPPE inferiores al 50 % (Figura 1a).

Las bombas que impulsan caudales pequeños están mayormente asociadas a menores eficiencias. De hecho, el 75 % de las bombas con OPPE < 50 % trabajan con caudales inferiores a 50 l/s. Si el caudal impulsado es alto, se observa como incluso cuando los valores de TDH son bajos, la eficiencia es mejor (Figura 1b). Por otro lado, el 76 % de las bombas con OPPE < 50 % tenían potencias inferiores a 50 kW mientras que solo el 9 % de las mayores de 150 kW presentaban bajas eficiencias (Figura 1c). Valores altos de consumo de energía por m³ se relacionan con baja OPPE (Figura 1d). Las tendencias comentadas se observan también para bombeos de aguas superficiales aunque no de forma tan patente.

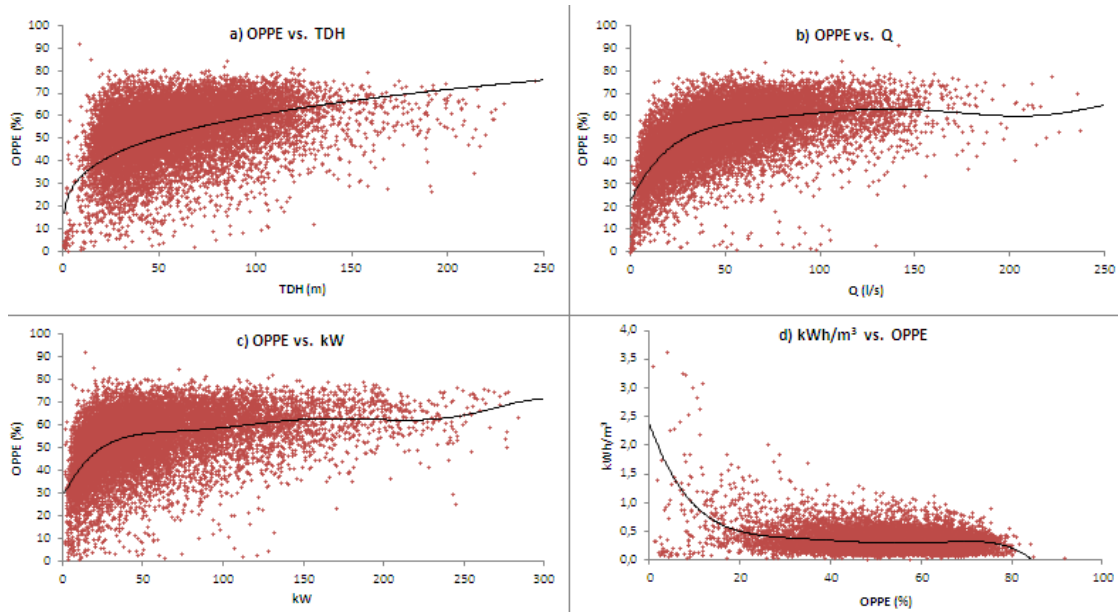


Figura 1. Correlaciones para bombas de pozo. OPPE (%) vs. otras variables: a) TDH (m); b) Q (l/s); c) potencia (kW); d) kWh/m³

Al enfrentar el consumo energético anual con el resto de variables (Figura 2) se observa como obviamente éste es mayor para valores superiores de TDH, Q y consumo por m³. No obstante, se observan valores mayores para ciertos intervalos de las variables en bombes de pozo (75-150 m para TDH; 100-125 l/s para Q, y 0.3-0.6 kWh/m³). De hecho, grandes bombas que impulsan caudales elevados con alta TDH no necesariamente presentan un gran consumo anual ya que no están funcionando un gran número de horas.

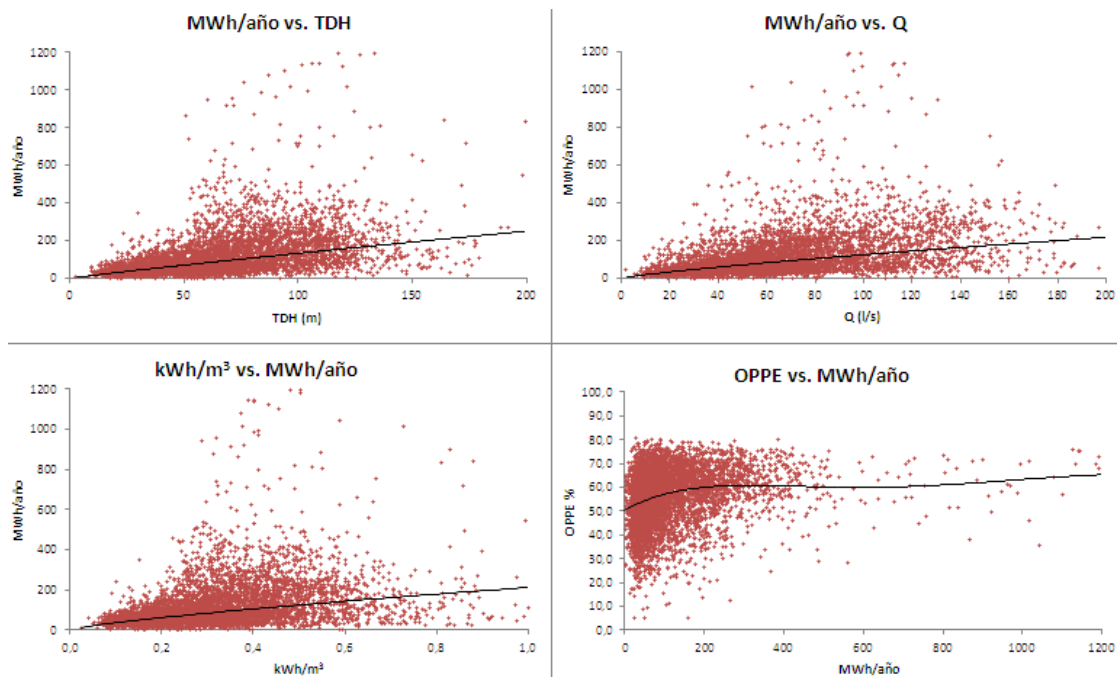


Figura 2. Correlaciones para bombas de pozo. MWh/año (%) vs. otras variables: a) TDH (m); b) Q (l/s); c) kWh/m³; d) OPPE (%)

Las bombas que consumen mucha energía no necesariamente presentan eficiencias altas pero sí que se observan valores bajos de OPPE para bombas con bajos consumos (el 92 % de las bombas con OPPE < 50 % consumen menos de 200 MWh/año).

El consumo total anual de los grupos de bombeo estudiados ascendió a más de 724000 MWh con una media por bomba de 118 MWh para pozos y 92 MWh para aguas superficiales. El consumo energético medio por unidad de volumen se estableció en 0.33 kWh/m³ para pozos y 0.16 kWh/m³ para aguas superficiales.

Para facilitar el análisis de los datos y obtener los ahorros de energía potenciales se han establecido distintas categorías atendiendo al consumo energético anual, TDH y Q tanto para los bombeos de pozo (Tabla 1) como para los de aguas superficiales (Tabla 2). Los rangos de las distintas categorías se seleccionaron atendiendo a la distribución del número de bombas con determinados valores de las variables consideradas.

Tabla 1. Ahorros potenciales de energía para distintas categorías de bombeos de pozo

MWh/año	TDH (m)	Q (l/s)	OPPE (%)	Media MWh/a	MWh ahorrados	MWh ahorrados por bomba	Número de bombas	% de bombas susceptibles de mejora
>800	60-75	>100	52.7	921.8	554.7	138.7	5	80
	75-90	>100	59.4	1041.5	777.3	194.3	5	80
	90-120	<100	61.3	973.1	784	196	5	80
		>100	69.3	1170.8	1056.7	105.7	11	90.9
	> 120	<100	64.7	948.3	784.7	112.1	8	87.5
		>100	66.7	1357.5	329.7	109.9	4	75
400-800	<60	<100	47.4	520.4	415.7	103.9	5	80
		>100	60.7	472.8	258.7	51.7	6	83.3
	60-75	<100	51.7	527.9	1023.5	93	12	91.7
		>100	57.2	512.1	1065.8	106.6	12	83.3
	75-90	<100	63.1	460.9	730.6	48.7	17	88.2
		>100	63.1	444.7	628.5	57.1	12	91.7
	90-120	<100	60.7	502.7	1888	89.9	24	87.5
		>100	64.7	518.2	485.8	54	10	90
	> 120	<100	60.6	576	823.7	117.7	8	87.5
		>100	71.2	447.9	133.1	22.2	7	85.7
300-400	<60	<100	51.3	320.2	209.8	52.4	5	80
		>100	61	336.3	142.4	23.7	7	85.7
	60-75	<100	58	353.1	1320.2	69.5	21	90.5
		>100	64.3	345.1	631.9	42.1	17	88.2
	75-90	<100	58	335.6	782	52.1	16	93.8
		>100	65.1	344.8	963.4	45.9	23	91.3
	90-120	<100	55.4	344.8	1345.7	84.1	18	88.9
		>100	63.8	344.4	2295.2	47.8	55	87.3
	> 120	<100	64.8	335.9	446.6	63.8	8	87.5
		>100	69.5	363.9	282.1	23.5	13	92.3
200 - 300	<60	<100	51.3	234.7	766	76.6	12	83.3
		>100	57.2	239.5	1074.4	39.8	31	87.1
	60-75	<100	56.5	235.9	2233.8	42.1	58	91.4
		>100	61.8	245.8	1544.6	40.6	44	86.4
	75-90	<100	54.3	236.1	3071.7	55.8	62	88.7
		>100	64.6	247.9	2657.2	40.3	77	85.7
	90-120	<100	57.7	231.6	4106.8	39.1	117	89.7
		>100	67.1	255.8	1902.6	28	81	84
	>120	<100	58.4	243.1	1750.7	38.1	51	90.2
		>100	71.9	262.5	134.5	16.8	9	88.9

MWh/año	TDH (m)	Q (l/s)	OPPE (%)	Media MWh/a	MWh ahorrados	MWh ahorrados por bomba	Número de bombas	% de bombas susceptibles de mejora	
100 - 200	<60	<100	51	134.3	5558.9	33.1	190	88.4	
		>100	58.7	135.8	3136.9	22.7	154	89.6	
	60-75	<100	55.1	141.2	5652.8	29.9	208	90.9	
		>100	64.6	149.8	1093.6	17.6	69	89.9	
	75-90	<100	56.9	146.8	5142.2	31.5	186	87.6	
		>100	68.4	156	362.7	16.5	26	84.6	
	90-120	<100	59.4	144.5	6403.1	27.5	263	88.6	
		>100	68.2	167.5	734.5	21	41	85.4	
	>120	<100	61.8	141.7	2067.7	23.8	99	87.9	
		>100	73.3	160.4	33.3	8.3	5	80	
	50 - 100	<45	<100	51.1	67.8	5545.6	16.3	378	89.9
			>100	56.5	73	2570.5	15	192	89.1
45-75		<100	56.5	70.7	7850.7	14.2	615	89.9	
		>100	65.6	83.3	378.7	11.1	39	87.2	
75-100		<100	59.1	74.9	3426	14.6	267	87.6	
		>100	<100	60.5	77.9	1480.1	12.7	129	90.7
< 50	<45	<100	50.9	32.9	6221.5	7.9	875	89.5	
		>100	58	37	485.9	6.8	79	89.9	
	45-75	<100	54.5	34.4	3652.3	6.8	594	90.1	
		>100	63.4	20.2	13.2	2.2	8	75	
	75-100	<100	55.9	35.8	738.7	7.5	113	87.6	
		>100	<100	55.2	31.3	163.6	6.8	29	82.8
Medias Total						49.6	5435	86.9	
					102114				

Tabla 2. Ahorros potenciales de energía para distintas categorías de bombeos de aguas superficiales

MWh/año	Q (l/s)	TDH (m)	OPPE (%)	Media MWh/a	MWh ahorrados	MWh ahorrados por bomba	Número de bombas	% de bombas susceptibles de mejora
> 300	<60	>30	52.8	488.8	1853.9	154.5	13	92.3
		>30	59.7	637.4	448.7	89.7	7	71.4
	130-250	>30	53.9	398.6	179.2	35.8	5	80
		<30	54.2	357.7	538.2	89.7	6	83.3
	250-500	>30	69.3	551.1	156.2	31.2	6	83.3
		<30	50.2	438.2	992.3	99.2	11	90.9
100-300	<60	>30	55.8	166.1	1284.8	45.9	35	80
		>30	63.2	156.6	1193.4	27.8	50	86
	130-250	<30	56.9	189.2	81.2	27.1	4	75
		>30	64.4	171.4	436.0	20.8	23	91.3
	250-500	<30	53	141.2	484.0	44	13	84.6
		<30	51.6	162.7	1576.9	46.4	39	87.2
50-100	<60	<30	40.4	66.8	163.6	32.7	6	83.3
		>30	52.7	65.2	842.3	15.9	61	86.9
	60-130	<30	45.1	65.3	682.7	19.5	40	87.5
		>30	59.0	70.4	1228.8	14	101	87.1
	130-250	<30	54.2	70.1	392.4	17.8	25	88
		>30	68.6	83.8	68.2	9.7	8	87.5
	250-500	<30	50.4	71.6	519.9	20	29	89.7
		<30	55.5	75.7	681.3	20	40	85

MWh/año	Q (l/s)	TDH (m)	OPPE (%)	Media MWh/a	MWh ahorrados	MWh ahorrados por bomba	Número de bombas	% de bombas susceptibles de mejora
< 50	<60	<30	40.5	23.9	231.6	7.7	35	85.7
		>30	50.6	31.4	1101.5	8.7	141	89.4
	60-130	<30	47.7	31.2	524.2	9.7	59	91.5
		>30	61.3	39.9	87.5	6.3	16	87.5
	130-250	<30	44.8	27.7	302.6	8	44	86.4
	250-500	<30	53	30.6	281.6	6.4	48	91.7
>500	<30	53.5	32	253.5	8.7	32	90.6	
Medias Total						34	897	86
					16586.6			

Así pues, se ha estimado que más del 85 % de los bombeos estudiados son susceptibles de mejora. En el caso de los bombeos de pozo, los ahorros energéticos potenciales podrían alcanzar más de 102000 MWh anuales con una media de 50 MWh por bombeo. Si se actuara sobre los bombeos con consumos superiores a 400 MWh al año (2.5 % del total de bombeos de pozo) se obtendrían el 12 % de los ahorros energéticos totales.

En el caso de bombeos de aguas superficiales, los ahorros potenciales se estimaron en torno a los 16500 MWh al año, con una media de 34 MWh/año por cada bombeo.

4. CONCLUSIONES

1. La proporción de bombeos de aguas superficiales y de pozo susceptibles de mejora es similar pero los ahorros potenciales de energía que se pueden obtener actuando sobre los bombeos de pozos son más elevados.
2. Los bombeos de pozos con valores bajos de presión total tienden a presentar eficiencias menores. Valores altos de potencia y caudal suelen estar asociados con mejores eficiencias.
3. Se observan valores bajos de eficiencia en el caso de bombeos de aguas superficiales cuando se bombean grandes caudales a baja presión o pequeños caudales a elevada presión. En estos casos también se tiende a mayores consumos anuales de energía.
4. Bombeos de pozo con grandes requerimientos de caudal y presión no presentan valores de consumo energético total anual mayores que otras categorías.
5. Existe un intervalo amplio de valores de eficiencia para bombeos con elevado consumo de energía. Esto significa que no por tener un mayor gasto energético se presta más atención a mejorar la eficiencia del grupo de bombeo.
6. Los bombeos con bajos consumos energéticos anuales presentan eficiencias por debajo de la media.
7. Para maximizar los ahorros energéticos actuando sobre el menor número de bombeos posibles, el objetivo sería mejorar aquellos bombeos con altos consumos energéticos anuales, especialmente los bombeos de pozo con baja presión total y menor potencia o los bombeos de aguas superficiales con bajo caudal.

8. Resulta más económico actuar sobre bombeos con alto consumo pero baja potencia (que trabajan muchas horas al año) ya que el tamaño de la bomba es normalmente menor y las modificaciones necesarias suelen ser más baratas.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al Programa Nacional de movilidad de recursos humanos Jose Castillejo (Plan Nacional de I-D+I 2008-2011) y al programa PIER de la California Energy Commission (CEC-500-06-040).

6. BIBLIOGRAFIA

Burt, C.M., Howes, D. J., and Wilson, G. (2003). *California Agricultural water electrical energy requirements*. ITRC Report No. R 03-006. Irrigation Training and Research Center, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California, USA. 154 p.

Burt, C. M., and Howes, D.J. (2005). *CEC Agricultural peak load reduction program final report*. ITRC Report No. R 05-003. Irrigation Training and Research Center, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California, USA. 90 p.

Burt, C.M., Piao, X., Gaudi, F., Busch, B., and Taufik, N.F.N. (2008). *Electric motor efficiency under variable frequencies and loads*. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 134(2), 129-136.

Burt, C.M., and Howes, D.J. (2008). *Irrigation district energy survey*. ITRC Report No. R 08-002. Irrigation Training and Research Center, California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California, USA.

Hanson, B.R. (1988). *Benefits and costs of improving pumping efficiency*. *California Agriculture*, 42(4), 21-22.

Hanson, B.R. (2002). *Improving pumping plant efficiency does not always save energy*. *California Agriculture*, 56(4), 123-127.

IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (2007). *Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Madrid.