

OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN LOS SISTEMAS ELECTROMECAÑICOS DE BOMBEO DE AGUA SUBTERRÁNEA EN POZOS DESTINADOS AL RIEGO AGRÍCOLA EN LA PROVINCIA DE MENDOZA.

Roberto Gómez Girini⁽¹⁾, Graciela René López⁽²⁾, Jorge F elix Fern andez⁽³⁾

Instituto Regional de Estudio Sobre Energía – IRESE, Facultad Regional Mendoza Universidad Tecnológica Nacional -
Rodríguez 273 C.P. 5500 – Mendoza
Tel.0261-5244527- Fax (54) 0261 5244531
energia.irese@frm.utn.edu.ar

RESUMEN: La Ley 6497 de la provincia de Mendoza fija el Marco Regulatorio Eléctrico. Establece, entre otros temas, un aporte económico del estado, para los usuarios de energía eléctrica en la actividad agrícola productiva. Se lo conoce como Subsidio al Riego Agrícola y se otorga para el desarrollo del sector, si se hace un uso eficiente de la energía eléctrica consumida. La ley no especifica qué se debe entender como “Eficiencia Energética” y cómo ponderarla. El Instituto Regional de Estudios Sobre Energía, perteneciente a la FRM-UTN, realizó estudios para determinar los parámetros necesarios que establezcan la eficiencia a través del rendimiento electromecánico de los sistemas de bombeo, según su comportamiento eléctrico e hidráulico. Se determinaron los sistemas de bombeo ineficientes, para establecer el origen de la ineficiencia y plantear una sustitución de éstos por otros de nueva tecnología que permitan reducir la potencia eléctrica instalada, el consumo de la energía eléctrica demandada y el destino del subsidio.

Palabras clave: riego, rendimiento, eficiencia, subsidio

INTRODUCCIÓN

Con el fin de cumplir con lo establecido en la ley 6497, en cuanto a definir si el productor agrícola cumple con el uso eficiente de la demanda de energía eléctrica, para bombear agua de las napas freáticas a la superficie. Se realizaron mediciones de parámetros eléctricos e hidráulicos en los sistemas de bombeo existentes, permitiendo calcular el rendimiento y definiendo que instalación es eficiente y cuál no. Para con ello direccionar en forma adecuada y correctamente el subsidio hacia el productor eficiente. Debido a que, actualmente, no existen seguimientos de este tipo, la eficiencia energética o rendimiento (η) de los sistemas electromecánicos de bombeo, se determinó en cada caso, mediante la Norma Oficial Mexicana NOM-010-ENER-2004 denominada “Eficiencia energética del conjunto motor bomba sumergible tipo pozo profundo, límites y método de prueba”.

METODOLOGIA Y EQUIPAMIENTO

Para el desarrollo del proyecto se siguieron los siguientes pasos:

1. Se realizaron mediciones de parámetros eléctricos e hidráulicos en los sistemas de bombeo de agua subterránea en pozos destinados al riego agrícola.

1.1. Los parámetros eléctricos que se midieron durante el funcionamiento de los sistemas de bombeo fueron los siguientes:

- -Tensión entre fases (V)
- -Intensidad de corriente por fase (A)
- -Potencia Activa (kW)
- -Potencia Reactiva (KVAr)
- -Factor de Potencia “cos ϕ ”
- -Frecuencia de línea (Hz)

Las mediciones eléctricas se realizaron con el siguiente equipamiento

- Analizador de Energía Eléctrica, Marca CIRCUTOR, Modelo C 80.

1.2. Los parámetros hidráulicos que se midieron en las mismas condiciones, fueron los siguientes:

- -Flujo de agua bombeado (m^3/s)
- -Velocidad de salida de agua (m/s)

¹ Docente Investigador categoría V Ministerio de Educación de la Nación

² Docente Investigador categoría C Universidad Tecnológica Nacional

³ Docente Investigador categoría I Ministerio de Educación de la Nación

Las mediciones se realizaron a través de los siguientes equipos:

- Caudalímetro para fluidos limpios Marca Panametric Transport Modelo PT 868.

1.3. Otros parámetros medidos conjuntamente y calculados fueron:

- Altura del nivel estático del acuífero (m)
- Altura del nivel dinámico del acuífero (m)

Ambas mediciones se realizaron con

- sonda eléctrica de profundidad, Marca Solints Modelo 102.

REGISTRO DE VALORES

Pozo N°	Tens. entre fases (V)	Corr. por fase (A)	Pot. Activa (kW)	Pot. React. (kVAr)	Fact. de Pot. (cosθ)	Frec. (Hz)	Pozo N°	Tens. entre fases (V)	Corr. por fase (A)	Pot. Activa (kW)	Pot. React. (KVAr)	Fact. de Pot. (cosθ)	Frec. (Hz)
1	387	114	65,8	38,6	0,86	50	26	422,7	102,8	61,6	43	0,81	50
2	385	72,4	26,6	39,6	0,55	50	27	373	51	26,6	19,4	0,80	50
3	406,5	42,4	15,6	25,2	0,52	50	28	387	94,6	45	42,6	0,71	50
4	395	42	17,06	22,4	0,60	50	29	409	79,8	47,6	30,2	0,84	50
5	401,7	151	85	61,43	0,81	50	30	401	29	19,91	28,38	0,99	50
6	426,5	26,2	6,6	17,8	0,34	50	31	389	110,2	60,7	42,44	0,82	50
7	399,3	150,8	97,92	35	0,94	50	32	309,4	27,8	16,34	9,69	0,86	50
8	386,8	53,6	35,14	7,13	0,98	50	33	396	125	73,78	43,69	0,86	50
9	378	80	46	15	0,88	50	34	404,5	32,4	12,9	18,74	0,57	50
10	357,5	86,4	42,6	19,7	0,80	50	35	393,5	23,87	13	9,2	0,80	50
11	387	78,6	46,2	28	0,85	50	36	395	151,2	93	45	0,90	50
12	390	80,4	40,7	35,9	0,75	50	37	361	32,59	17	20,36	0,83	50
13	353	64,6	36,3	15,4	0,98	50	38	386	49,79	25,67	21,36	0,77	50
14	380	53,8	24,6	17,05	0,68	50	39	379	55	19	31	0,52	50
15	385	14,2	7,7	3,41	0,81	50	40	367	58	31	18	0,86	50
16	398	57	32,4	22,2	0,81	50	41	385	76,30	43,5	24,8	0,87	50
17	390	45,64	15,4	26,6	0,50	50	42	376	62	37	15,5	0,92	50
18	382	75,5	32,6	37,4	0,65	50	43	388	65,60	36,50	25,10	0,82	50
19	376,9	68	35,6	26,6	0,80	50	44	356	93,74	50,40	28,1	0,87	50
20	407,5	47	25,8	20,4	0,78	50	45	391	44,15	25,50	15,73	0,85	50
21	390,9	21,6	10,6	9,6	0,82	50	46	365	64,50	36,12	19,1	0,88	50
22	360	65	20,4	34,4	0,51	50	47	373	38,20	23	9,07	0,93	50
23	389,5	69,2	36,8	27,4	0,79	50	48	393	65	36	25,03	0,82	50
24	385,5	30	17,2	10,2	0,84	50	49	378	83	49	26,76	0,87	50
25	399	49,8	24,75	23,85	0,72	50	50	376	63,70	35,8	20,86	0,87	50

Tabla 1. Parámetros eléctricos

Pozo N°	Caudal (m³/s)	Veloc. de salida (m/s)	Pozo N°	Caudal (m³/s)	Veloc. de salida (m/s)
1	0,098	3,28	26	0,045	2,38
2	0,028	1,51	27	0,029	1,52
3	0,017	0,75	28	0,056	2,97
4	0,085	1,4	29	0,02	0,96
5	0,066	3,32	30	0,009	1,16
6	0,016	2,09	31	0,076	3,78
7	0,064	2,65	32	0,019	3,43
8	0,045	2,3	33	0,038	1,89
9	0,039	2,21	34	0,028	0,89
10	0,068	2,1	35	0,068	3,1
11	0,054	10,38	36	0,126	2,2
12	0,064	2,04	37	0,039	1,95
13	0,052	3,22	38	0,043	1,66
14	0,016	0,58	39	0,034	2,09
15	0,016	3,21	40	0,038	2,20
16	0,035	1,79	41	0,051	1,49
17	0,031	1,78	42	0,044	1,29
18	0,055	1,67	43	0,055	1,61
19	0,022	1,09	44	0,069	1,76
20	0,033	2,56	45	0,028	4,00
21	0,023	2,71	46	0,038	2,30
22	0,04	2,12	47	0,022	1,35
23	0,045	2,16	48	0,049	2,80
24	0,015	0,97	49	0,056	1,61
25	0,025	2,73	50	0,046	2,28

Tabla 2. Parámetros hidráulicos

Pozo N°	Altura nivel estático (m)	Altura nivel dinámico (m)	Carga total de la bomba(m)	Pozo N°	Altura nivel estático (m)	Altura nivel dinámico (m)	Carga total de la bomba(m)
1	10,30	50,70	62,00	26	42,40	56,30	61,30
2	12,40	42,80	57,20	27	52,40	26,00	70,90
3	6,60	30,20	39,80	28	31,50	33,50	89,50
4	2,90	4,00	10,90	29	62,40	62,40	154,00
5	63,10	63,30	131,40	30	0,80	30,50	58,00
6	9,00	17,70	32,70	31	18,40	21,50	48,50
7	17,35	63,10	87,45	32	26,60	30,90	77,00
8	5,50	16,70	34	33	58,00	63,00	37,00
9	4,50	46,40	73,7	34	10,50	13,50	40,00
10	4,70	19,30	51,60	35	3,25	10,25	41,00
11	17,50	45,20	95,10	36	En operación	41,00	42,00
12	12,90	26,70	81,00	37	11,00	20,78	30,31
13	35,70	46,40	69,50	38	15,47	29,78	37,95
14	24,30	42,70	58,50	39	18,32	32,22	41,02
15	1,40	3,70	68,45	40	19,15	40,60	50,49
16	13,40	29,70	71,00	41	19,48	29,31	38,17
17	12,90	39,60	48,30	42	20,51	40,64	49,10
18	17,00	23,50	73,30	43	18,45	35,13	44,42
19	13,95	35,50	80,90	44	En operación	28,54	35,26
20	14,75	36,25	64,80	45	12,26	24,55	42,68
21	9,00	18,30	104,93	46	18,15	44,65	54,76
22	14,10	37,20	124,70	47	14,23	36,48	43,12
23	17,10	40,80	105,40	48	18,24	35,27	43,55
24	12,60	28,20	93,00	49	16,61	30,60	38,55
25	38,23	41,70	153,80	50	17,57	21,85	33,32

Tabla 3. Niveles estáticos – dinámicos – Carga total de la bomba

2. Con los valores obtenidos se calculó el rendimiento global del sistema electromecánico de bombeo existente, mediante la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{q_v \cdot \rho \cdot g \cdot H}{1,73 \cdot V \cdot I \cdot f_p} \quad (1)$$

Donde

- η Eficiencia del conjunto motor-bomba sumergible en %;
- ρ Densidad del agua bombeada kg/m^3 ;
- q_v Flujo, en m^3/s ;
- g Aceleración de la gravedad, en m/s^2 ;
- H Carga total de bombeo m;
- V Tensión eléctrica, en Volt;
- I Corriente eléctrica, en Ampere;
- f_p Factor de potencia, adimensional.

RESULTADOS[GP2]

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se observa que el 80% de los pozos analizados resultan ineficientes. Además, practicando una reducción de potencia en los mismos para lograr su eficiencia, se obtiene un ahorro global de 577 kW. Que se reflejan en forma individual en cada pozo en la tabla N° 5.

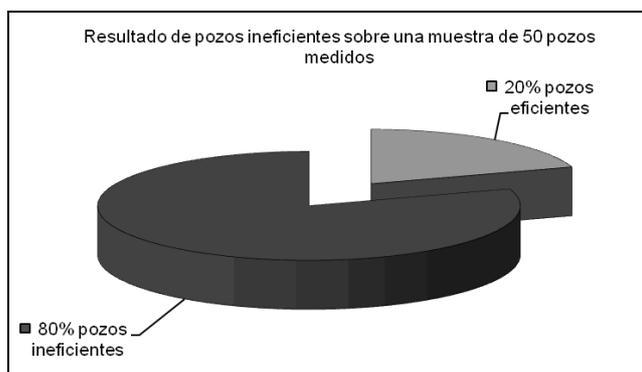


Figura 1. Comparación con sistemas eficientes e ineficientes

Aplicación Norma Mexicana, para obtención de valores de eficiencia							
Pozo N°	Rendimiento sistema de bombeo			Pozo N°	Rendimiento óptimo de referencia		
	Eficiencia calculada	Eficiencia esperada	Resultado		Eficiencia calculada	Eficiencia esperada	Resultado
1	97,58	67,86	eficiente	26	43,70	66,66	ineficiente
2	46,66	61,42	ineficiente	27	30,35	61,42	ineficiente
3	34,23	59,13	ineficiente	28	46,13	66,99	ineficiente
4	8,23	59,13	ineficiente	29	26,56	63,51	ineficiente
5	53,31	67,86	ineficiente	30	14,45	55,89	ineficiente
6	49,26	56,21	ineficiente	31	32,42	67,86	ineficiente
7	46,10	67,86	ineficiente	32	57,28	59,13	eficiente
8	24,36	66,22	ineficiente	33	33,45	66,99	ineficiente
9	41,39	66,89	ineficiente	34	31,86	59,20	ineficiente
10	33,76	67,08	ineficiente	35	40,33	62,40	eficiente
11	120,9	66,99	eficiente	36	57,87	67,86	ineficiente
12	34,37	67,08	ineficiente	37	67,98	62,37	eficiente
13	69,03	66,22	eficiente	38	39,28	63,91	ineficiente
14	28,87	60,59	ineficiente	39	62,47	62,37	eficiente
15	15,03	57,60	ineficiente	40	51,65	66,22	ineficiente
16	34,65	66,22	ineficiente	41	35,39	66,22	ineficiente
17	49,34	62,37	eficiente	42	43,07	66,22	ineficiente
18	42,50	66,22	ineficiente	43	67,60	66,22	eficiente
19	22,71	62,78	ineficiente	44	41,34	67,86	ineficiente
20	50,61	63,91	ineficiente	45	35,87	61,42	ineficiente
21	41,76	57,67	ineficiente	46	50,19	66,22	ineficiente
22	76,35	62,37	eficiente	47	36,32	60,59	ineficiente
23	52,53	66,22	ineficiente	48	52,28	66,22	ineficiente
24	26,22	57,51	ineficiente	49	38,00	66,91	ineficiente
25	46,11	60,59	ineficiente	50	31,15	66,22	ineficiente

Tabla 4. Comparación de valores de rendimiento eficiencia

Optimización de Sistemas de Bombeo									
Pozo N°	Potencia óptima, (kW)	Potencia activa, (kW)	Reducción de potencia (%)	Ahorro de Potencia, (kW)	Pozo N°	Potencia óptima, (kW)	Potencia activa, (kW)	Reducción de potencia	Ahorro de Potencia, (kW)
1	55,80	55,80	0,00	0,00	26	40,00	61,60	35,06	21,60
2	20,00	26,60	24,81	6,60	27	13,00	26,60	51,13	13,60
3	8,00	15,60	48,72	7,60	28	30,00	45,00	33,33	15,00
4	7,00	17,06	58,97	10,06	29	20,00	47,60	57,98	27,60
5	65,00	85,00	23,53	20,00	30	5,00	19,91	74,89	14,91
6	5,00	6,60	24,24	1,60	31	30,00	60,70	50,58	30,70
7	60,00	97,92	38,73	37,92	32	16,34	16,34	0,00	0,00
8	13,00	35,14	63,01	22,14	33	35,00	73,78	52,56	38,78
9	28,00	46,00	39,13	18,00	34	6,50	12,90	49,61	6,40
10	20,00	42,60	53,05	22,60	35	13,00	13,00	0,00	0,00
11	46,20	46,20	0,00	0,00	36	80,00	93,00	13,98	13,00
12	28,00	40,70	31,20	12,70	37	17,00	17,00	0,00	0,00
13	36,30	36,30	0,00	0,00	38	20,00	25,67	22,09	5,67
14	11,00	24,60	55,28	13,60	39	19,00	19,00	0,00	0,00
15	2,00	7,70	74,03	5,70	40	31,00	31,00	0,00	0,00
16	17,00	32,40	47,53	15,40	41	25,00	43,50	42,53	18,50
17	15,40	15,40	0,00	0,00	42	25,00	37,00	32,43	12,00
18	20,00	32,60	38,65	12,60	43	36,50	36,50	0,00	0,00
19	12,00	35,60	66,29	23,60	44	30,00	50,40	40,48	20,40
20	20,00	25,80	22,48	5,80	45	15,00	25,50	41,18	10,50
21	8,00	10,60	24,53	2,60	46	27,00	36,12	25,25	9,12
22	20,40	20,40	0,00	0,00	47	13,00	23,00	43,48	10,00
23	30,00	36,80	18,48	6,80	48	30,00	36,00	16,67	6,00
24	7,00	17,02	58,87	10,02	49	27,00	49,00	44,90	22,00
25	18,00	24,75	27,27	6,75	50	17,00	35,80	52,51	18,80

Tabla 5. Valores de potencia optimizados

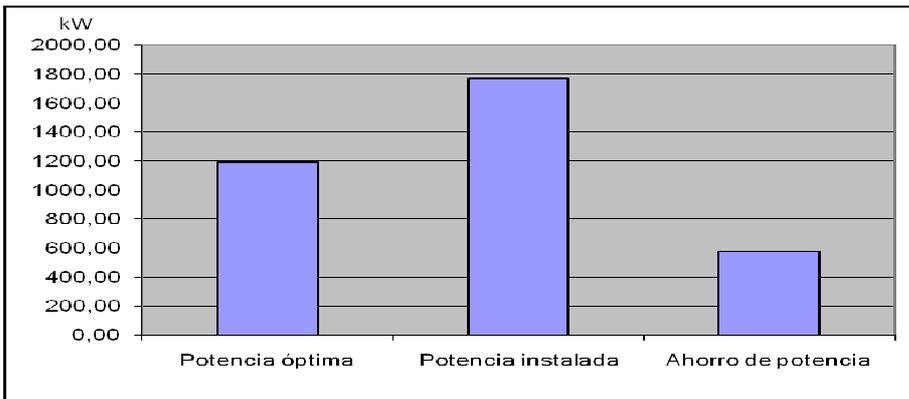


Figura 2 Potencia instalada vs Potencia optimizada - Ahorro de potencia

FOTOGRAFÍAS DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS Y PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS



Figura 3. Analizador de Energía, Circutor C80, midiendo parámetros eléctricos



Figura 4. Toma de datos, con pozo en funcionamiento

CONCLUSIONES

- 1) La potencia eléctrica instalada en un alto porcentaje en los sistemas de bombeo analizados es superior a la que se requiere con sistemas de bombeo de nueva tecnología.
- 2) Como consecuencia de lo señalado se desprende:
 - a) En los suministros que gozan del subsidio al riego agrícola el Estado aporta a las distribuidoras de energía eléctrica un mayor monto por el cargo fijo de "Uso de Red".
 - b) Al haber mayor potencia instalada en el sistema de bombeo se registra mayor consumo de energía eléctrica, lo cual también perjudica al productor dado que esto impacta en el precio del producto.
 - c) No hay una señal clara hacia los regantes que gozan del beneficio del subsidio para que éstos se vuelvan eficientes.
 - d) No se cumple en muchos casos lo estipulado por la Ley de Transformación del Sector Eléctrico, por la cual se implementa el beneficio del subsidio al riego agrícola, que expresa que éste beneficio se otorga para los productores que hagan un uso eficiente de los recursos energéticos.

RECOMENDACIONES Y ACCIONES

1. Continuar estudiando los sistemas de bombeo de agua subterránea, comprendidos en el subsidio al riego agrícola.
2. Implementar un programa de reconversión de los sistemas de bombeo existentes ineficientes por otros de nueva tecnología, empleando para ello recursos económicos de:
 - a) Parte del dinero que el estado emplea para subsidiar los sistemas ineficientes.
 - b) Dinero proveniente del ahorro de energía y potencia, que se lograrían con sistemas de bombeo de nueva tecnología.
 - c) Aporte económico proveniente por parte del productor.
- 3) Implementar una eficaz campaña de capacitación en el campo del Uso Eficiente de la Energía, destinada a los productores agrícolas de la Provincia a través del IRESE de la UTN Facultad Regional Mendoza (en desarrollo).
- 4) Requerir a las Distribuidoras de Energía Eléctrica; al Ente Provincial Regulador Eléctrico (EPRE); a la Subsecretaría de Servicios Públicos y otros organismos Provinciales vinculados con la energía, que apoyen y participen de la misma.

REFERENCIAS

(1) Norma Oficial Mexicana NOM-010-ENER-2004

BIBLIOGRAFIA

Norma Oficial Mexicana NOM-010-ENER-2004

Merino Azcarraga J. (1991) Manual de Eficiencia Energética en Instalaciones de Bombeo, CADEM Bilbao.

Mc. Naughton K. (2000), Bombas selección, usos y mantenimiento, M. Graw-Hill, New York.

Molina Igartua, L. A y Molina Igartua, G. (1993) Manual de Eficiencia Energética en la Industria. CADEM (Grupo Eve) Bilbao.

ABSTRACT: The 6497 Law of Mendoza specifies an Electric Regulatory Standard. It establishes an economic contribution from the state for all electric energy users in productive agro-activities. It is known as Subsidio al Riego Agrícola (Subsidy for Agriculture Irrigation). Its aim is sector development as long as efficient electric energy use is achieved. The law does not specify what is meant by “energetic efficiency” nor how to measure it.

The Regional Institute of Energy Studies, belonging to FRM-UTN (Mendoza Regional Faculty-National Technological University) has studied how to achieve the necessary standards to determine efficiency through the electromechanic performance of pump systems as regards electric and hydraulic behaviour.

Pump systems inefficiency was determined as well as its causes. Its substitution by new technology was studied to reduce installed electric power, the demand on electric energy and the use of state subsidy.

Key words: Irrigation – Output – Efficiency – Subsidy