

Operación óptima de bombas en paralelo empleando variadores de velocidad

Mariano David Zerquera Izquierdo, Juan José Sánchez Jiménez

Universidad de Guadalajara

mariano_zerquera_izquierdo@hotmail.com



RESUMEN

En este artículo se presentan los resultados del análisis de un sistema de bombeo compuesto por bombas centrífugas, con motor con variador de velocidad, operando en paralelo, que entrega un caudal determinado a una salida común. Se codificó un programa en Matlab para determinar la distribución del flujo a entregar por cada bomba, para un caudal total demandado, de modo que las pérdidas totales del sistema sean mínimas.

Palabras claves

Ahorro energético, bombas, optimización, Matlab.

ABSTRACT

Results of the analysis of a pumping system made of variable speed centrifugal pumps operating in parallel and delivering a given flow to a common output are presented in this paper. A Matlab program for determining the flow distribution delivered by each pump, according to the total required flow, was coded in such a way that the system losses are minimal.

KEYWORDS

Energy saving, pumps, optimization, Matlab.

INTRODUCCIÓN

En la práctica se encuentran sistemas de bombeo en los que se utilizan bombas centrífugas con motor con variador de velocidad operando en paralelo, entregando un determinado caudal a una salida común^{1,2,3} (figura 1). Resulta tedioso determinar el caudal que debe entregar cada una de las bombas, de modo que se obtenga una operación óptima desde el punto de vista económico.

Existe un amplio trabajo sobre bombas individuales movidas por motores de velocidad variable.⁴⁻¹² También hay reportes relativos a la operación y ahorro en sistemas de bombeo en paralelo empleando variadores de velocidad, pero no hay tantos en los que se determine el mínimo costo en cuanto a pérdidas. En¹³ se lleva a cabo un estudio en un sistema de riego, pero con la limitante de emplear bombas en paralelo idénticas. En¹⁴ solamente se mencionan las ventajas de la operación en paralelo de las bombas empleando variadores inteligentes de velocidad variable y la forma gráfica de la determinación del comportamiento del sistema.

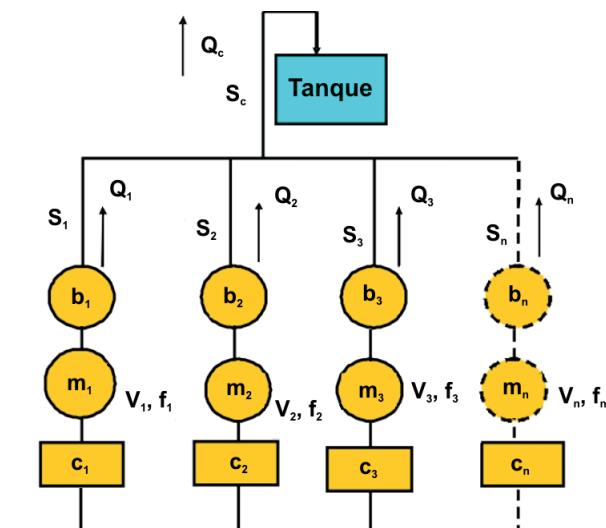


Fig.1. Operación de bombas en paralelo.

En¹⁵ se muestra un caso de estudio para un sistema de dos bombas en paralelo, pero operando a dos velocidades fijas. Un sistema de bombas en paralelo para un sistema de refrigeración es presentado en¹⁶ mostrándose resultados de ahorros empleándose un método de control mediante diferencia de presión, pero no se hace referencia a la optimización del costo. En otros manuales y cursos ofrecidos por firmas que fabrican variadores, también se presentan las ventajas del uso de éstos pero sin mencionar los aspectos de la optimización.^{17,18}

DESARROLLO

Para llevar a cabo el trabajo planteado, se partirá de un sistema con n bombas descargando a un tronco común tal como se muestra en la figura 1, el cual bombea líquido hacia un tanque. Se considera que las bombas b_1, b_2, \dots, b_n están accionadas por los motores m_1, m_2, \dots, m_n , los cuales a su vez están alimentados por variadores de frecuencia c_1, c_2, \dots, c_n . Estos convertidores alimentan los motores con voltajes y frecuencias $V_1, f_1, V_2, f_2, \dots, V_n, f_n$, ajustables, desde un sistema eléctrico con voltaje y frecuencia V, f fijos. Cada conjunto motor-bomba forman sistemas S_1, S_2, \dots, S_n por los que se alimentan caudales de líquido Q_1, Q_2, \dots, Q_n a un sistema común S_c que demanda un caudal total Q_c .

Para un caudal total de líquido Q_c a bombear, habrán infinitas combinaciones de caudales

a repartirse entre cada bomba. Cada una de estas distribuciones arroja un comportamiento técnico económico diferente, existiendo una única combinación que arroje como resultado un mínimo costo de operación. Para cada combinación de distribución de caudales, cada bomba es accionada a una determinada velocidad y por tanto cada motor debe ser alimentado con el voltaje y la frecuencia requerida. Como ejemplo, para explicar la metodología, se partirá de un sistema sencillo formado por dos bombas, con los parámetros de comportamientos mostrados en la tabla I. Se conoce que los pares de valores de comportamiento de la bomba corresponden a una velocidad de 1 800 RPM y que la densidad del líquido tiene el valor de $\rho = 1\ 000\ \text{kg/m}^3$

Se desea:

- Determinar el comportamiento del sistema si se requiere bombear un caudal total $Q_c=100$ litros/s cuando las velocidades de los motores se ajustan de modo que las bombas No.1 y No.2 entreguen flujos: $Q_1=40$ litros/s, $Q_2=60$ litros/s
- Llevar a cabo un estudio para determinar cuál debe ser el caudal a entregar por cada bomba para suministrar el caudal total común $Q_c=100$ litros/s de modo que la operación del sistema dé como resultado el menor costo de la demanda eléctrica.

DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA

Ajuste de las curvas de las bombas y de los sistemas

Con los datos dados en la tabla I, se realizó un ajuste a curvas, mediante Matlab,^{19, 20} lo que arrojó como resultado los coeficientes mostrados en la tabla II.

De acuerdo con estos coeficientes, se corresponden las siguientes ecuaciones:

$$\text{Bomba No.1: } H = -0,0022Q^2 - 0,22Q + 100 \quad (\text{m}) \quad (1)$$

$$\text{Bomba No.2: } H = -0,001Q^2 - 0,0066Q + 48 \quad (\text{m}) \quad (2)$$

Sistemas No.1 y No.2:

$$H = 1,37 \cdot 10^{-20}Q^3 + 0,006Q^2 + 7,258 \cdot 10^{-17}Q + 2 \quad (\text{m}) \quad (3)$$

Sistema común:

$$H = -6,94 \cdot 10^{-7}Q^3 + 0,0031Q^2 - 0,0031Q + 10,099 \quad (\text{m}) \quad (4)$$

Bomba No.1:

$$P_b = 0,0576Q_b^3 - 11,4822Q_b^2 + 1,37 \cdot 10^3 Q_b + 0,4666 \cdot 10^3 \quad (W) \quad (5)$$

Bomba No.2:

$$P_b = 0,1224Q_b^3 - 20,6077Q_b^2 + 1,3366 \cdot 10^3 Q_b + 1,0179 \cdot 10^3 \quad (W) \quad (6)$$

Donde:

P_b - Potencia demanda por la bomba

Q_b -Caudal entregado por la bomba

DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS DEL SISTEMA Y POTENCIAS DE LAS BOMBAS

Para determinar la carga correspondiente a cada bomba es necesario primeramente conocer la carga H total que le presenta el sistema. Para un gasto total Q_c suministrado, la bomba No.1 entregará un caudal Q_1 y la bomba No.2 un caudal Q_2 . La altura total correspondiente a la bomba No.1 está dada por la suma de la altura del sistema No.1 con la del sistema común. De igual forma la altura que ve la bomba No.2 es la suma de la altura correspondiente al sistema No.2 sumado con la del común.

En la figura 2 se muestran las curvas de H vs Q de los sistemas No.1 y No.2 y la del común, basado

en los datos de la tabla I, así como los puntos de operación para los caudales dados. De acuerdo con estos caudales, las alturas correspondientes a cada una de las bombas están dadas por:

$$\text{Bomba No.1: } H_{s1c} = H_{s1} + H_c = 11,6 + 40 = 51,6 \text{ m}$$

$$\text{Bomba No.2: } H_{s2c} = 23,6 + 40 = 63,6 \text{ m.}$$

Es decir que la bomba No.1 debe bombear un caudal de 40 litros/s contra una altura de 51,6 m; la bomba No.2 un caudal de 60 litros/s contra una altura de 63,6 m y para ello deben ser giradas a una velocidad que se le definirá velocidad de

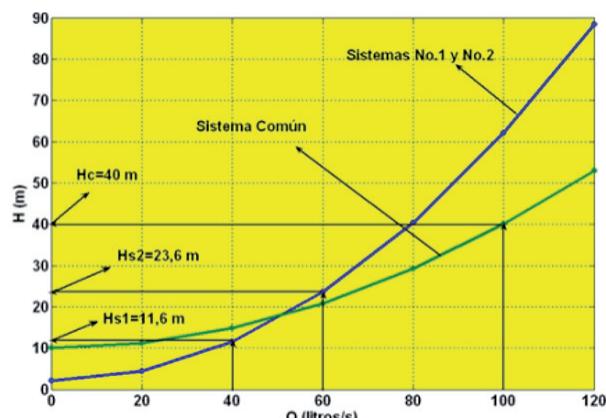


Fig. 2. Características de H vs Q . Pares de valores correspondientes a la tabla I.

Tabla I. Datos del sistema. Q: Caudal (litros/s) H: Altura (m) E_{fb} : Eficiencia de la bomba (%).

	Q	0	20	40	60	80	100	120
Bomba 1	H_{b1}	100	94,32	87	77,8	67,7	56	41,19
Bomba 2	H_{b2}	48	47,8	46,16	44	41,12	33,74	32,88
Sistema 1 y 2	H_{s1}, H_{s2}	2	4,4	11,6	23,6	40,4	62	88,4
Sistema común	H_{sc}	10	11,2	14,8	20,8	29,2	40	53
Bomba 1	E_{fb1}	0	75	85	87	82	67	50
Bomba 2	E_{fb2}	0	40	66	78	80	75	70

Tabla II. Coeficientes de los polinomios obtenidos mediante el ajuste de las curvas de H vs Q de las bombas y los sistemas.

Coeficientes	Orden 3	Orden 2	Orden 1	Independiente
Bomba 1 (b1)	-	-0,0022	-0,22	100
Bomba 2 (b2)	-	-0,001	-0,0066	48
Sistema 1 (S1)	$1,37 \cdot 10^{-20}$	0,006	$7,258 \cdot 10^{-17}$	2
Sistema 2 (S2)	$1,37 \cdot 10^{-20}$	0,006	$7,258 \cdot 10^{-17}$	2
Sistema común (Sc)	$-6,944 \cdot 10^{-7}$	0,0031	-0,0031	10
Bomba 1 (b1)	0,0576	-11,4822	$1,37 \cdot 10^3$	$0,4666 \cdot 10^3$
Bomba 2 (b2)	0,1224	-20,6077	$1,3366 \cdot 10^3$	$1,0179 \cdot 10^3$

operación. Sin embargo los pares de valores de H y Q introducidos como datos se corresponden con la velocidad de dato, 1 800 RPM para cada una de las bombas. Esto plantea la necesidad de calcular las velocidades de operación a las cuales deben ser giradas las bombas por sus motores primarios. En la figura 3 se muestran las características de H vs Q de la bomba No.1 a la velocidad de dato $n=1\ 800$ RPM y un punto de la característica (punto A) que se corresponde con el punto de operación el cual debe pasar por el par: $Q_1=40$ litros/s, $H_1=51,6$ m.

Para determinar la velocidad de la bomba correspondiente a la característica que pasa por el punto A de la figura 3, es necesario aplicar la ley de afinidad de las bombas centrífugas.^{1,21,22,23}

Si se considera el punto A como el 2 en la figura 3 al aplicar la ecuación de afinidad correspondiente se tiene:

$$H_1 = H_2 \frac{Q_1^2}{Q_2^2} \quad (7)$$

$$H_1 = 51,6 \frac{Q_1^2}{40^2} = 0,0323 Q_1^2 \quad (8)$$

Si se considera como la condición 1, la correspondiente a un punto de la característica de la bomba a la velocidad de dato, se pueden igualar las ecuaciones (8) y (1), obteniéndose la siguiente ecuación:

$$0,0323 Q_1^2 = -0,0022 Q_1^2 - 0,22 Q_1 + 100 \quad (9)$$

De la ecuación (9) se obtiene: $Q_1=50,7441$ litros/s

El valor del caudal Q_1 hallado se encuentra señalado en la figura 3.

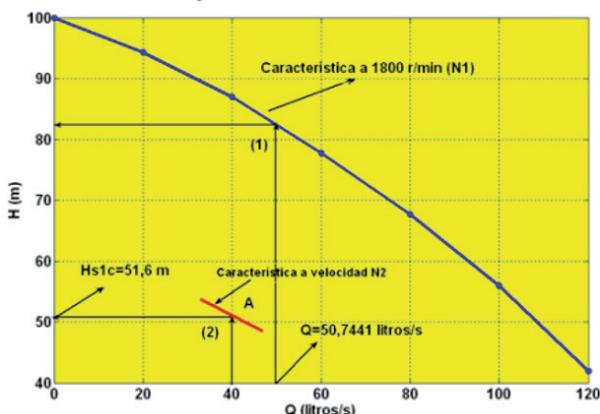


Fig. 3. Característica de H vs Q correspondiente a la bomba No.1

Puesto que la característica de la bomba se corresponde con la velocidad de dato y de acuerdo con la nomenclatura planteada, se puede escribir aplicando la ecuación de afinidad correspondiente:

$$\frac{50,7441}{40} = \frac{1800}{N_2}$$

$$\text{Entonces: } N_2=1\ 419 \text{ RPM}$$

De acuerdo con los resultados anteriores, para que la bomba impulse un caudal de 40 litros/s a la altura de 51,6 metros debe ser girada a 1 419 RPM. La potencia de la bomba, si la misma fuera movida a la velocidad de 1 800 RPM, se puede determinar mediante la ecuación (5), al sustituir el caudal por su valor: $Q_1=50,7441$ litros/s: $P_b=47\ 946 \text{ W}=47,946 \text{ kW}$.

La potencia demandada por la bomba a la velocidad de operación $N_1=1\ 419$ RPM se obtiene aplicando la ecuación de afinidad de las potencias:

$$\frac{47,946}{P_2} = \left(\frac{1800}{1419} \right)^3$$

$$P_2=23,464 \text{ kW}$$

Por un procedimiento similar al anterior para la bomba No.2 se obtiene:

$$Q_1=50,5563 \text{ litros/s}$$

$$N_2=2\ 136 \text{ RPM}$$

$$P_b=31,997 \text{ kW}$$

$$P_2=53,485 \text{ kW}$$

Si se repite el procedimiento anterior para varias combinaciones de caudales, se obtienen los resultados mostrados en la tabla III y su representación gráfica en la figura 4. Puede observarse que en este caso la condición de mínimo se corresponde con una potencia total demandada igual a 75,5 kW (señalado en color gris). En este procedimiento no se han considerado las pérdidas en los motores eléctricos, aspecto que se tomará en cuenta a continuación.

PROGRAMA DE OPTIMIZACIÓN

Cuando existe un número de bombas mayor a dos, el procedimiento seguido anteriormente resulta muy tedioso, además de que en éste no se consideraron las pérdidas en los motores, ni los costos. Es por ello que para salvar todo esto, se ha codificado un programa de optimización, empleando la librería de optimización (fmincon) del Matlab,²⁴ considerando como función objetivo a optimizar las pérdidas

Tabla III. Potencia demandada por las bombas para un caudal total $Q_c=100$ litros/s

Bomba No.1		Bomba No. 2		P_T (kW)		
Q_1 (lts/s)	P_{b1} (kW)	N_{b1} (RPM)	Q_2 (lts/s)	P_{b2} (kW)	N_{b2} (RPM)	
10	5,5	1 198	90	102,44	2 591	107,94
20	10,68	1 251	80	82,82	2 429	93,5
30	16,44	1 325	70	66,66	2 777	83,11
40	23,46	1 417	60	53,48	2 136	76,96
50	32,78	1 524	50	42,77	2 009	75,55
60	43,74	1 645	40	33,92	1 899	77,67
70	59,11	1 776	30	26,27	1 808	85,38
80	75,99	1 915	20	18,96	1 741	94,95
90	97,1	2 060	10	10,94	1 698	108,05

P_T : Potencia total del sistema. P_{b1} , P_{b2} : Potencia demandada por las bombas.
 Q_1, Q_2 : Caudal entregado por cada bomba. N_{b1}, N_{b2} : Velocidad de cada bomba.

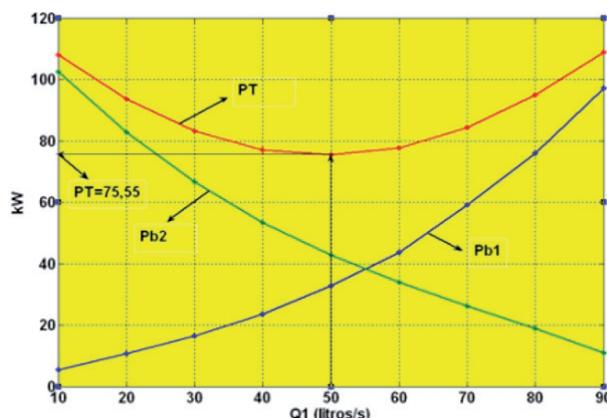


Fig. 4. Potencia mecánica demandada por las bombas para diferentes gastos.

P_{b1} : Potencia demandada por la bomba No.1

P_{b2} : Potencia demandada por la bomba No.2

P_T : Suma de las potencias P_{b1} y P_{b2} .

Tabla IV. Pares de valores de las bombas y los sistemas.

	Q	0	20	40	60	80	100	120
Bomba 1 y 3 (75 hp, 1 800 RPM)	H	100	94,32	87	80	67,7	56	41,9
Bomba 2 (50 hp, 1 800 RPM)	H	48	47,8	46,16	44	41,12	33,74	32,88
Sistema 1 y 3	H	4	6,16	12,7	23,5	38,6	58	82
Sistema 2	H	2	4,4	11,6	23,6	40,4	62	88,4
Sistema común	H	10	11,2	14,8	20,8	29,2	40	53
Bomba 1 y 3	Ef	0	75	85	87	82	67	50
Bomba 2	Ef	0	40	66	78	80	70	50

totales, o sea: $P_{TS}=P_{sb1}+P_{sb2}+ \dots +P_{sbn}+P_{ml}+P_{m2}+ \dots +P_{mn}+P_{sc}$. Para emplear esta función objetivo es necesario plantear las siguientes restricciones de desigualdad para las potencias de las bombas y de los motores respectivamente: $P_{bn} \leq P_{Nbn} \geq 0$ $P_{mn} \leq P_{Nmnn} \geq 0$

Donde:

P_{TS} - Pérdidas totales del sistema.

P_{sbn} - Pérdidas del sistema y bomba n.

P_{mn} - Pérdidas del motor n.

P_{sc} - Pérdidas del sistema común.

P_{Nbn} - Potencia nominal de la bomba n.

P_{Nmnn} - Potencia nominal del motor n.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos del programa, correspondientes a un sistema formado por tres bombas. Los sistemas individuales S_1 , S_2 , S_3 , el común S_c y las bombas (velocidad 1 800 RPM), presentan los parámetros de comportamientos mostrados en la tabla IV. Se desea, como ejemplo:

a) Determinar el comportamiento del sistema si se requiere bombear un caudal total $Q_c=125$ litros/s cuando las velocidades de los motores se ajustan de modo que las bombas No.1, No.2 y No.3 entreguen flujos: $Q_1=50$ litros/s, $Q_2=25$ litros/s y $Q_3=50$ litros/s.

b) Determinar cual debe ser el caudal a entregar por cada bomba para suministrar el caudal total común $Q_c=125$ litros/s de modo que la operación del sistema dé como resultado el menor costo de la demanda eléctrica.

El programa presenta dos opciones:

a) Operación no óptima de bombas en paralelo

b) Operación óptima de bombas en paralelo.

Mediante la primera opción el usuario debe introducir entre otros datos, los parámetros del circuito equivalente del motor,^{25,26} el caudal que se

desea suministre cada una de las bombas, los pares de valores de altura y caudal, etc. Como resultado se obtiene el punto de operación del sistema, incluyendo el costo total por demanda de energía eléctrica. Con la segunda opción, debe darse el caudal total a bombear por el conjunto de bombas, con esto el programa en forma automática mediante un subprograma de optimización, determina que caudal debe bombear cada bomba de modo que las pérdidas de todo el sistema resulten mínimas y por tanto la mínima demanda de energía eléctrica. Al comparar los resultados de estas dos opciones, el usuario puede determinar el ahorro que se obtiene, al emplear una distribución óptima de los caudales. Para realizar los cálculos con el programa, en una de sus ventanas deben ser introducidos los datos económicos, según se muestra en la figura 5.



Fig. 5. Ventana para introducción de datos económicos.

RESULTADOS

De los cálculos del programa se obtuvieron los resultados mostrados en las tablas V, VI, VII y VIII IX y X.

En las tablas V y VI se presentan los parámetros de comportamiento de los motores y las bombas respectivamente, correspondientes a la operación no óptima, donde:

- I- Corriente demandada por los motores.
- f- Frecuencia del voltaje aplicado a los motores.
- P-Pérdidas en los motores o las bombas.
- n₂- Velocidad de los motores.
- P_e- Potencia eléctrica demandada por los motores.
- V₁- Voltaje aplicado a los motores.
- C- Costo de las pérdidas totales.
- P_s- Potencia mecánica demandada por las bombas.

Tabla V. Comportamiento de cada motor (operación no óptima).

Motor	I(A)	f(Hz)	n ₂ (RPM)	P _s (kW)	E _f (%)	V ₁ (V)	P(kW)	C(\$/año)
1	60,55	57,08	1 703	45,85	91,43	437,6	3,93	16 879,4
2	40,96	71,78	138,12	38,9	91,49	550	3,309	14 212,4
3	60,55	57,08	1 703	45,85	91,43	437,6	3,93	16 879,4

Tabla VI. Comportamiento de cada bomba (operación no óptima).

Bomba	Q(l/s)	H(m)	P _e (kW)	E _f (%)	P(kW)	C(\$/año)
1	50	73,63	41,83	86,07	5,83	25 070
2	25	66,9	35,43	46	19,192	82 443
3	50	73,63	41,83	86,07	5,83	25 070

Tabla VII. Comportamiento de cada motor (operación óptima).

Motor	I(A)	f(Hz)	n ₂ (RPM)	P _s (kW)	E _f (%)	V ₁ (V)	P(kW)	C(\$/año)
1	73,8	60,8	1 813,52	59,46	92,14	455,1	4,673	20 070,8
2	13,16	67,9	2 032,6	11,87	79,6	520,5	2,42	10 398,8
3	73,8	60,8	1 813,52	59,46	92,14	455,1	4,673	20 070,8

Tabla VIII. Comportamiento de cada bomba (operación óptima).

Bomba	Q(l/s)	H (m)	P _e (kW)	E _f (%)	P(kW)	C(\$/año)
1	60	80,23	54,74	86,11	7,6	32 776,6
2	5	61,15	9,42	31,72	6,448	25 695,9
3	60	80,23	54,74	86,11	7,6	32 776,6

Tabla IX. Pérdidas totales y costos de los conjuntos motor-bomba.

Conjunto Motor Bomba	Operación no óptima		Operación óptima	
	P(kW)	C(\$/año)	P(kW)	C(\$/año)
1	9,7675	41 949	12,2817	52 747,3
2	22,504	96 655,7	8,87	38 094,8
3	9,7675	41 949	12,2827	52 747,3

Tabla X. Pérdidas y costos de todo el sistema.

	Operación no óptima	Operación óptima
P _s (kW)	42,04	33,433
C(\$/año)	180 555	143 589
Ahorro total:	180 555-143 589=36 966 (\$/año)	

En las tablas VII y VIII se muestran los resultados correspondientes a la operación óptima. En la tabla IX se muestran los resultados de los conjuntos motor-bomba. Por último en la tabla X se muestran las pérdidas y costos del sistema total. De esta tabla puede observarse que este sistema hipotético con una operación óptima presenta un ahorro anual de 36 966 pesos. Puede comprobarse que en la condición óptima las pérdidas totales en los motores y por tanto el costo de éstas, es superior si se compara con la operación no óptima. Sin embargo, respecto a las pérdidas en el sistema hidráulico ocurre lo contrario y como un todo el costo de las pérdidas es inferior en la operación óptima.

CONCLUSIONES

Se propone una metodología que considera tanto los aspectos económicos como los técnicos en el diseño y operación de sistemas de bombas en paralelo con motores de velocidad variable.

En sistemas de bombeo compuestos por bombas en paralelo, para un caudal total de líquido a suministrar, sólo existe una distribución de caudales para cada una de las bombas, con los que se lograr una operación económica óptima.

El programa desarrollado resulta de gran utilidad en regiones en las que se aplican tarifas de energía eléctrica diferenciadas, con lo que se abre la posibilidad de obtener ahorros de energía y por lo tanto ahorros en la operación de plantas de bombeo.

Las conclusiones anteriores se ilustraron utilizando un ejemplo típico de dos bombas operando en paralelo en las que se compara la operación en condiciones óptimas con respecto a una operación típica basada sólo en criterios técnicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Karachi, Manual sobre bombas centrífugas, Alfaomega, 2002.
2. Frank M. White, Mecánica de fluidos, McGraw Hill, 1994.
3. Kenneth Mc Naughton, Bombas, selección, uso y mantenimiento. Mc. Graw Hill, 1999.
4. De León Benítez, C., Viego Felipe P, Ahorro de energía por control de velocidad en el sistema de bombeo de Guarapo, Revista Centro Azucar, No. 1, 2000.
5. García Arvisu F., Ventajas del uso de motores de altas eficiencia y variadores de velocidad en Hoteles, Fideicomiso para el ahorro de energía, 1999.
6. Using variable speed drives in pump applications, ABB Drives, Application Guide No.2, 2008.
7. N. N. Kozhevnikov : Prospects of Frequency Control of the Dredge Suction Pump, Power Technology and Engineering Vol. 40, No. 6, 2006.
8. Aníbal T. De Almeida, Fernando J. T. E. Ferreira: VSDs for Electric Motor Systems, Reporte de Investigación, University of Coimbra, 2000.
9. Pardo García A., Díaz Rodríguez J.L., Ahorro energético con convertidor de frecuencia, Revista Colombiana de Tecnologías Avanzadas, Vol. 1, 2003.
10. Richard Michael Villegas Fernández: Variadores de frecuencia para el ahorro de energía en moto-bombas del proyecto Park Plaza. Tesina, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Unidad Culhuacán, 2009.
11. Macias Uribe L., Programa de lenguaje visual para determinar las características de las bombas centrífugas:, Tesis de Maestría, Universidad de Guadalajara, 2008.
12. Edward Charles Lemmer: Wind Electric Pump System Design, Master of Science and Engineering Thesis, Stellenbosch University, 2009.
13. Planells P., Tarjuelo J.M. y Ortega J.F.: Optimización de estaciones de bombeo en riego a la demanda, Ingeniería del Agua, Vol.8, 2001.
14. L.I Jinguo: Parallel Pumping, ABB Review, 2004.
15. Department of Energy Washington: Industrial Technologies Program Energy Efficiency and Renewable Energy U.S: Optimize Parallel Pumping Systems, Oct 2006.
16. XY Wu, CZ Yang, DS Wu, and F Zhan: Energy Saving Analysis of Pressure Difference Control

- of Frecuency Conversion Variable Water Flow System, Proceedings: Building Simulation, 2007.
- 17.J.W.de Wekker V.: Sistemas de Bombeo, características y dimensionamientos, maual de Wekker and Asociados, 2004.
- 18.Greg A. Jonson: Pumping Systems Audites , Crane Ingineering, Feb 2009.
- 19.Báez López D., Matlab con aplicaciones a la Ingeniería, Física y Finanzas, Alfaomega, 2006.
- 20.Delores M. Etter, Solución de problemas de Ingeniería con Matlab, Prentice Hall, 1997.
- 21.Ron Carlson, "The correct method of calculating energy savings to justify adjustable-frequency drives on pumps," IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 36, dic. 2000.
- 22.Viedma A., Zamora B.: Teoría y problemas de máquinas Hidráulicas, Horacio Escarbajal Editores, 2000.
- 23.White F. M.: Mecánica de Fluidos, Mc Graw Hill, 2004.
- 24.P. Venkataraman, Applied Optimization with Matlab Programming, John Wiley, 2002.
- 25.McPerson G., Laramore R: "An introduction to Electrical Machines and Transforms", Second Edition, Prentice Hall, 1994.
- 26.Jimmie J. Cathey Mc., Máquinas Eléctricas: Análisis y diseño aplicando Matlab. Garw Hill, 2001.

2^a. REUNIÓN PANAMERICANA E IBÉRICA DE ACÚSTICA

160th ASA meeting
7° Congreso FIA
17° Congreso IMA

15 - 19 de Noviembre 2010
CANCÚN - MÉXICO

ÁREAS TÉCNICAS

1. Acústica Oceanográfica
2. Bioacústica Animal
3. Acústica Arquitectónica
4. Ultrasonido y Vibraciones Biomédicas
5. Ingeniería Acústica
6. Acústica Musical
7. Ruido y su Control
8. Acústica Física
9. Acústica Fisiológica y Psicológica
10. Comunicación Hablada
11. Acústica y Vibraciones Estructurales
12. Acústica Submarina
13. Proceso de Señales Acústicas
14. Acústica en Educación
15. Audio-Acústica, etc.

COMITÉ ORGANIZADOR

James West (ASA), Co-Chair
Sergio Beristain (IMA) Co-Chair
Samir Gerges (FIA) Co-Chair
Charles Schmid, Vice-Chair
Rebeca de la Fuente, Programa Cultural

ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA
Suite INOI, 2 Huntington Quadrangle
Melville, NY 11747-4502, USA
Tel. 516-576-2360 - FAX 516-576-2377
asa@aip.org
<http://asa.aip.org>

FEDERACIÓN IBEROAMERICANA DE ACÚSTICA
Universidad Federal de Sta. Catarina
Cx Postal 476 Florianópolis SC 88040900 Brasil
Tel. 55-48-234-4074 - FAX 55-48-331-9677
fia@mbox1.ufsc.br
<http://fia.ufsc.br>

INSTITUTO MEXICANO DE ACÚSTICA
P.O. Box 12-1022, México, D.F. 03001, México
Tel. 52-55-5682-2830, 5682-5525
sberista@gmail.com
<http://acustica-cancun.blogspot.com>

