

EVALUACIÓN DE BOMBAS

Dr. C. Osvaldo Fidel García Morales¹, Ing. Jesús del Toro Mulet², Ing. Marcos Evelio Artiles Lorenzo³, MSc. Yanán Camaraza Medina⁴

1. *Universidad de Matanzas – Sede “Camilo Cienfuegos”, Vía Blanca Km.3, Matanzas, Cuba. osvaldo.garcia@umcc.cu*

2. *Empresa azucarera Matanzas, Matanzas, Cuba.*

3. *Central Termoeléctrica Antonio Guiteras, Matanzas, Cuba*

4. *Empresa Eléctrica Matanzas*

Resumen

En el trabajo se presentan los resultados fundamentales obtenidos al evaluar dos bombas a partir de las mediciones de sus caudales, parámetros eléctricos de sus motores y determinación de sus cargas. Aplicando el software PSAT también se analizan los resultados de las mismas y de otras dos bombas. Se demuestran las posibilidades de mejora de la eficiencia a partir de la modernización de la tecnología y también de una mejor selección de las bombas acorde al sistema en que trabajan.

Palabras claves: Bombas, evaluación, selección, software.

Introducción

Según el Departamento de Energía de los Estados Unidos los sistemas de bombeo consumen alrededor del 20% de la energía mundial y están en el rango del 25 al 50% del consumo de energía de ciertas plantas industriales (Went, 2008, Mugnolo 2017).

Según (Mugnolo 2017) el costo de vida de una bomba se resume de la siguiente manera: 45% consumo eléctrico, 25% mantenimiento, 10% operación de la bomba, 10% en la compra del equipo, 7% en la instalación, 5% en costos mediambientales y 3% en el tiempo de reposo.

El mayor potencial de ahorro de energía puede alcanzarse con el conocimiento del sistema y de cómo operará la bomba en servicio (Fox et al, 2004)

La auditoría energética en un sistema de agua y saneamiento es la aplicación de un conjunto de técnicas para determinar cómo se administra la energía, así como también para comprobar la eficiencia en cada uno de los componentes consumidores en una instalación de agua y saneamiento. Consiste en el análisis crítico de todos los componentes en una instalación consumidora de energía para determinar dónde y cómo se encuentra la misma, además de especificar cuanta se desperdicia.

El objetivo final es la identificación de medidas técnicas y administrativas rentables para el ahorro de energía en dicha instalación como parte del desarrollo de un Plan Integral De Eficiencia Energética.

Para ejecutar la Auditoría Energética es necesario seguir una secuencia ordenada que lleve a mejores resultados. Dicha secuencia requiere realizar trabajos de campo y oficina.

En la Figura 1 se muestra un diagrama que indica de manera resumida las principales actividades necesarias para realizar una Auditoría Energética. (Ricardo 2011)

Instrumentos utilizados:

Analizador de redes eléctricas

Los analizadores de redes eléctricas son instrumentos que miden directamente o calculan los diferentes parámetros eléctricos de una red, normalmente en baja tensión: tensión, intensidad, potencia y energía activas y reactivas, factor de potencia, etc, así como los parámetros de calidad eléctrica Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución: armónicos, interarmónicos, asimétricos, etc.

Todos los equipos de este tipo disponen, además, de la posibilidad de memorizar y/o registrar dichos parámetros mediante diversas funciones de programación. En este caso se ha usado el modelo Metrel que se ha conectado al cuadro eléctrico de las bombas.

Los instrumentos de la serie Power Q (PowerQ y PowerQ Plus) son aparatos portátiles multifunción para la medición y el análisis de sistemas eléctricos trifásicos. (METREL 2007)

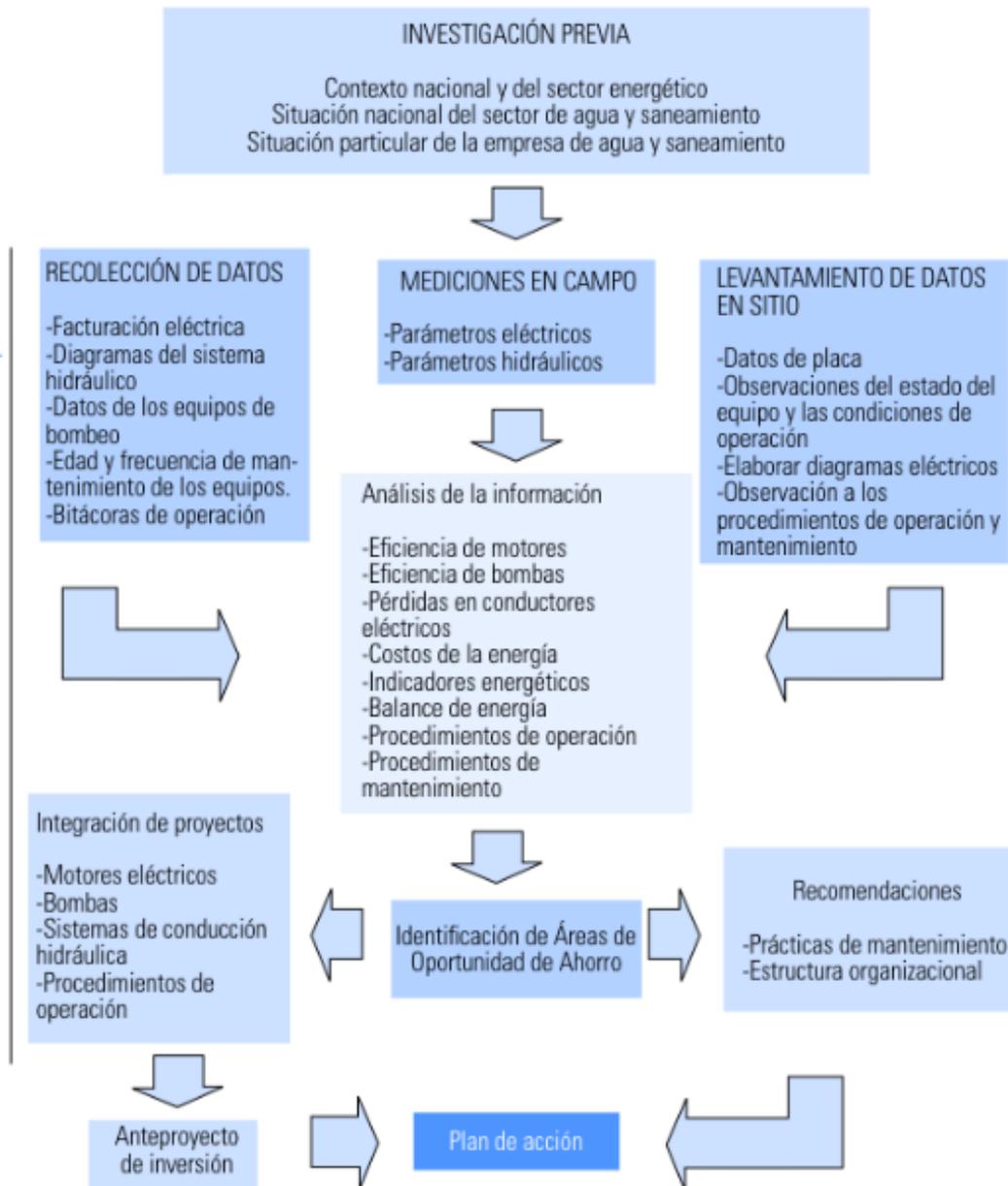


Figura 1: Diagrama para auditoría energética de bombas

Caudalímetro

Los caudalímetros, como su nombre indica, son instrumentos concebidos para medir el caudal de fluido circulante por una tubería, generalmente agua y aire.

El que se utiliza es un caudalímetro ultrasónico portátil, no intrusivo, para la medición del caudal volumétrico sin contacto con el líquido. Básicamente los caudalímetros de ultrasonidos pueden utilizarse en todos aquellos lugares donde tanto las paredes de las tuberías como el líquido que circula por ellas permitan la propagación del sonido.

El caudalímetro ultrasónico portátil consiste de un par de transductores instalados externamente a la cañería, es decir sin intrusión dentro del fluido. Estos transductores se deben colocar alineados y separados a una distancia que depende del diámetro de la cañería. Los transductores y el riel son montados a la cañería mediante un par de cadenas. Ambos transductores son conectados a la electrónica del caudalímetro, en la cual se configura el diámetro de la cañería, el tipo de cañería, el espesor y tipo de fluido, entre otros parámetros.

El empleado por el autor fue el modelo ZML-100P que es usado principalmente para medir fluidos en varias industrias, además es de gran precisión. Este instrumento es muy popular en la industria para medir diferentes parámetros de funcionamiento en los equipos. (Shanghai 2013)

Partiendo de los datos del sistema de tuberías y el flujo se realiza el cálculo de la carga que entrega la bomba al sistema, según la ecuación de la energía mecánica. Para ello es necesario realizar el cálculo de las pérdidas para cada tramo de tubería, ya que los mismos no siempre tienen el mismo diámetro.

Entonces se puede evaluar el rendimiento de la instalación (conjunto motor-bomba), el rendimiento de la tubería (Vyas Pareshkumar 2013), el rendimiento total del sistema y las pérdidas de potencia.

Caracterización de la instalación:

El sistema está compuesto por una cisterna de gran capacidad la cual está alimentada por el acueducto. En el mismo se encuentran situadas dos bombas en paralelo, una en operación y la otra de repuesto por si esta sufre algún daño. El sistema de tuberías está compuesto en la succión por un tramo de tubería de 6 pulgadas y otro de 5 pulgadas. En la descarga tiene un tramo de 5 pulgadas, uno de 4 pulgadas, otro de 5 pulgadas, otro de 4 pulgadas y el último de 10 pulgadas. A su vez se le instaló un cheque en la descarga de las bombas para cuando las mismas dejen de funcionar, el agua que tiene el sistema no retroceda haciendo girar en sentido contrario el rotor y dañando la empaquetadura de la bomba. (González 2012)

Tabla 1: Datos disponibles.

Datos chapa Motor	Bomba 1	Bomba 2
Potencia	22kW	30kW
Frecuencia de rotación	1765 min ⁻¹	3555 min ⁻¹
Voltaje	220V	220V
Frecuencia	60Hz	60Hz
Eficiencia	91,5%	93%
Factor de potencia	0,87	0,87
Datos chapa bomba		
Flujo volumétrico	110 m ³ /h	144 m ³ /h
Carga	35 m	46 m
Potencia del eje	30 kW	30 kW
Rendimiento bomba	84,5 %	85,3%
Frecuencia de rotación	1765 min ⁻¹	3562 min ⁻¹

En la instalación se realizaron las siguientes mediciones:

Bomba1

Bomba 2

Q: flujo=93,776 m³/h

Q: flujo=103,8 m³/h

$N_{el} = 27,2 \text{KW}$

$N_{el} = 22,8 \text{KW}$

Resultados obtenidos

En la siguiente tabla se muestran de las dos bombas analizadas.

Tabla 2 Resultados de los cálculos.

Bomba	Carga calculada Hb(m)	Rendimiento de la instalación η_{inst}	Rendimiento de las tuberías η_t	Rendimiento del sistema η_s	Potencia perdida $N_{per}(\text{kW})$
Bomba-1 (vieja)	27,713	0,26	0,83	0,22	21,22
Bomba-2 (nueva)	28,476	0,35	0,81	0,28	14,42

Teniendo en cuenta que las bombas 1 y 2 cumplen la misma función, es decir trabajan en el mismo sistema se puede analizar, según los resultados de la tabla, que la bomba-1 presenta una menor carga que la bomba-2 ya que esta presenta un menor flujo y las pérdidas en tuberías son menores, la bomba-2 presenta una mayor eficiencia de la instalación ya que mueve un mayor flujo y consume menos potencia, la bomba-2 tiene una eficiencia en tuberías menor ya que esta depende de la carga y de las pérdidas. Se observa que la baja eficiencia del sistema en ambos casos está dada por la baja eficiencia de la instalación (conjunto motor bomba), que si bien está un poco justificada en la bomba 1, por su obsolescencia, no así en la bomba 2, porque a pesar de ser nueva, la bomba 2 trabaja con un caudal alejado del diseño y de su punto de trabajo de máxima eficiencia (BEP). Esto es algo muy importante que los diseñadores de sistemas deben tener en cuenta, cuando se encargan de seleccionar bombas.

Resultados obtenidos con el programa PSAT

Este software permite calcular los parámetros por separado del motor y la bomba, así como proporciona una opción óptima en cada parámetro de funcionamiento obtenido, o sea muestra una bomba óptima que entrega la misma carga y moviendo el mismo flujo. El mismo muestra cuánto consume la bomba anualmente y el costo de la energía consumida en dicho periodo de tiempo. También muestra cuánto se ahorraría al año si se usara la bomba óptima recomendada. Se muestra en la figura el porcentaje de optimización de la evaluación de cada una de ellas. Es importante añadir que los resultados obtenidos por el programa coinciden totalmente con los resultados calculados.

The screenshot displays the PSAT software interface, which is divided into several sections for configuring and comparing two conditions (Condition A and Condition B).

Condition A and Condition B Parameters:

- Pump, fluid:** End suction ANSI/API, Pump rpm (1765), Drive (Direct drive), Units (m³/hr, m, kW), Kinematic viscosity (cS) (1.00), Specific gravity (1.000), # stages (1), Fixed specific speed? (YES/NO).
- Motor:** Line freq. (60 Hz), kW (22), Motor rpm (1765), Eff. class (Standard efficiency), Voltage (220), Full-load amps (77.1), Size margin, % (0), Estimate FLA.
- Duty, unit cost:** Operating fraction (0.083), \$/kwhr (0.1200).
- Field data:** Flow rate, m³/h (93.8), Head tool (Head, m) (27.7), Load estim. method (Power), Motor kW (27.2), Voltage (222).

Comparison Table:

	Condition A			Condition B		
	Existing	Optimal	Units	Existing	Optimal	Units
Pump efficiency	29.0	77.6	%	29.0	79.7	%
Motor rated power	22	9.2	kW	22	9.2	kW
Motor shaft power	24.4	9.1	kW	24.4	8.9	kW
Pump shaft power	24.4	9.1	kW	24.4	8.9	kW
Motor efficiency	89.6	91.3	%	89.6	91.4	%
Motor power factor	83.9	83.0	%	83.9	82.7	%
Motor current	84.4	31.3	amps	84.4	30.5	amps
Motor power	27.2	10.0	kW	27.2	9.7	kW
Annual energy	19.8	7.3	MWh	19.8	7.1	MWh
Annual cost	2.4	0.9	\$1000	2.4	0.8	\$1000
Annual savings potential, \$1,000	1.5			1.5		
Optimization rating, %	36.7			35.7		

Log file controls: Create new log, Add to existing log, Retrieve log entry, Delete log entry.

Summary file controls: Create new summary file, Existing summary files, CREATE NEW.

Documentation section: Condition A Notes, Facility, System, Date, Application, Evaluator, General comments.

Condition B Notes: Facility, System, Date, Application, Evaluator, General comments.

Buttons: Retrieve defaults, Set defaults, Copy A > to B >, Copy B < to A <, Background information, System curve tool: select below, STOP.

Figura 2: Resultados de PSAT para Bomba 1.

Bomba-1

Como se muestra en el esquema el motor se encuentra trabajando sobrecargado. No obstante ello es posible y lo evidencian las normas:IEC 32685, que plantea que las máquinas con partes móviles admiten sobrecargas horarias de hasta dos horas siempre y cuando no sobrepasen el 18% de su capacidad nominal. También se puede apreciar que utilizando la bomba óptima que muestra el software se ahorrarían alrededor de unos 1500 USD al año.

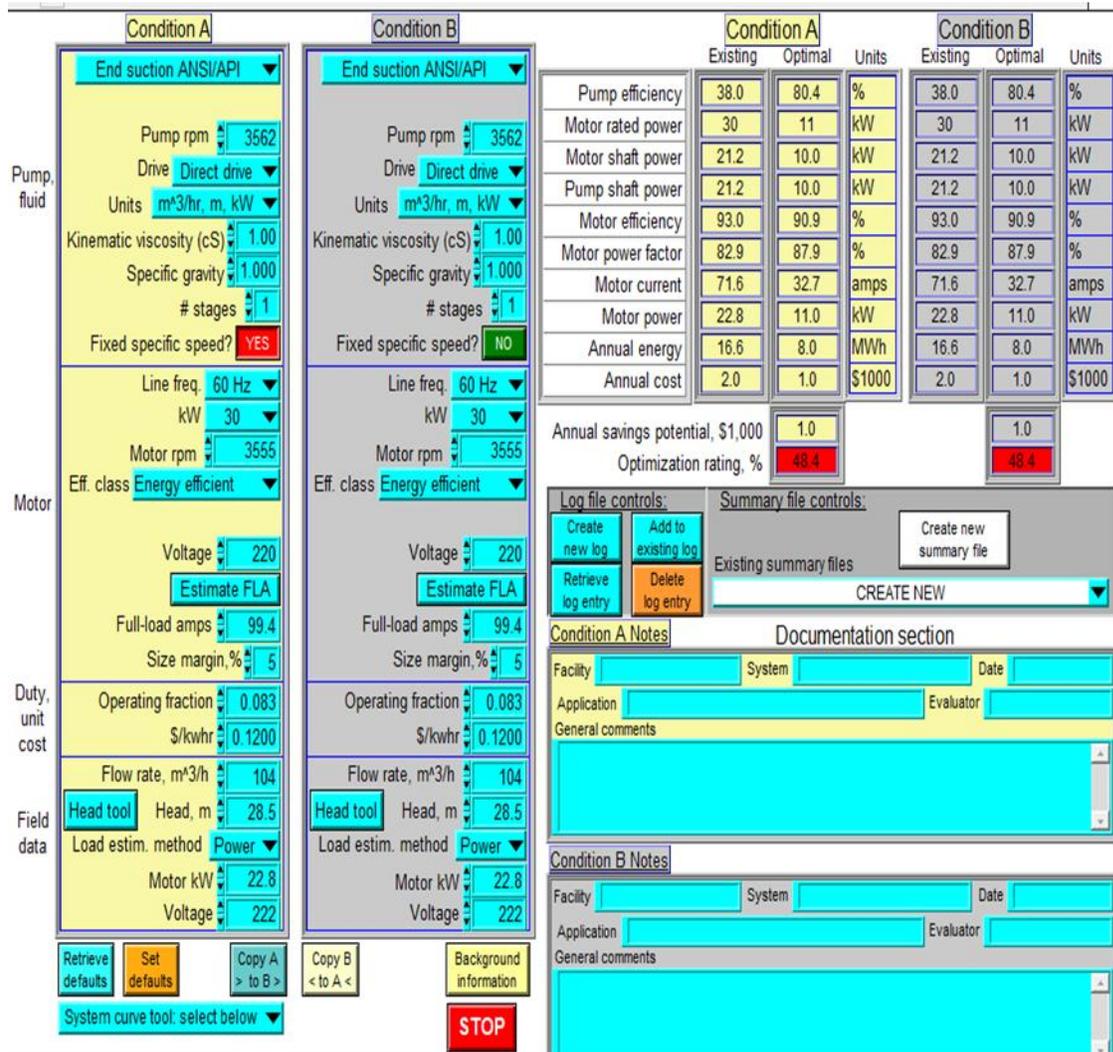


Figura 3: Resultados de PSAT para Bomba 2

Bomba-2

Como muestra el esquema, esta bomba que presenta el mismo sistema de tuberías y cumple la misma función que la bomba anterior (Bomba-1) es más eficiente en todos los parámetros ya que consume menos potencia y mueve un mayor flujo en operación, también muestra que presenta un porcentaje mayor de optimización de la evaluación, aunque esta aún no es suficiente para que la misma trabaje con una eficiencia alta. Con la opción de la bomba óptima se puede apreciar que se ahorrarían anualmente alrededor de 1000 USD anualmente.

Resultados obtenidos con el uso de PSAT en otras instalaciones

Tabla 3: Resultados obtenidos para una bomba de condensado de una termoeléctrica

Características	Bomba de Condensado actual	Bomba de Condensado con velocidad específica fija	Bomba de Condensado con velocidad específica ajustable
Tensión	6kV	6 kV	6 kV
Flujo	810 m ³ /h	810 m ³ /h	810 m ³ /h
Potencia Motor	760.2 kW	672.0 kW	612.4 kW

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos a partir de la evaluación con PSAT, para dos condiciones: Con velocidad específica fija y con velocidad específica ajustable. En el primer caso se muestra el resultado de una bomba óptima de la misma familia y en el segundo de otra familia. Como estas bombas trabajan durante todo el tiempo, la reducción de costos anuales que puede lograrse en ambos casos es la siguiente:

Velocidad específica fija: 92700 USD

Velocidad específica ajustable: 155300 USD

En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos al evaluar con PSAT las bombas de circulación de una termoeléctrica. Se observa la diferencia de consumos importante entre la bomba actual y la óptima para la situación.

Tabla 4: Resultados obtenidos para las bombas de circulación de una termoeléctrica

Características	Bomba de Circulación actual	Bomba de Circulación con velocidad específica fija	Bomba de Circulación con velocidad específica ajustable	Bomba de Circulación oferta
Tensión	6kV	6 kV	6 kV	6 kV
Flujo	19750 m ³ /h	19750 m ³ /h	19750 m ³ /h	19750 m ³ /h
Potencia Motor	869.9 kW	773.7 kW	743.6 kW	792 kW

Como en este caso deben trabajar las dos bombas a la vez, la reducción de costos anuales que puede lograrse en ambos casos es la siguiente:

Velocidad específica fija: $\$101100 * 2 = 202200$ USD

Velocidad específica ajustable: $\$132800 * 2 = 265600$ USD

Conclusiones

Los resultados demuestran las posibilidades de ahorro que existen en varias instalaciones por concepto de modernizar las bombas instaladas y que estas pueden obtenerse con un levantamiento de las características y uso del programa PSAT. También se demuestra que no siempre el cambio de bomba y motor por equipos más modernos, produce el ahorro esperado, sobre todo si no se ha realizado un correcto análisis del sistema de bombeo y la bomba se pone a funcionar alejada de su punto de máxima eficiencia (BEP).

Bibliografía

ARTILES LORENZO M. E., Procedimiento para el Monitoreo de las Bombas de Alto Consumo de energía en La CTE. Antonio Guiteras, Trabajo de diploma. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Matanzas (Cuba). 2018.

DEL TORO MULET J. Evaluación de bombas en la sede Camilo Cienfuegos de la Universidad de Matanzas, Trabajo de diploma. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Matanzas (Cuba). 2018.

FOX, R. W.; A.T. Mc DONAL, P.J.Pritchard, *Introduction to Fluid Mechanics*, John Wiley and Sons, N.J, USA. (2004)

GONZALEZ CARDENAS F., Análisis de las posibilidades de mejorar la eficiencia de la instalación de bombeo de agua de la UMCC. Trabajo de diploma. Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, Matanzas (Cuba). 2012.

METREL. Ljubljanska Cesta 77 1354 Horjul Eslovenia PowerQ (MI 2492) y Power Q plus (MI 2392) Manual de funcionamiento. [Fecha de consulta 3 de abril de 2018]. Disponible en: <http://www.metrel>.

MUGNOLO G., Identifying life cycle cost is key for maintenance. *World Pumps* no. 608 December (2017).

RICARDO CIFUENTES H., Evaluación de sistemas de bombeo de agua. Manual de eficiencia energética. (2011)

SHANGHAI CIXI INSTRUMENT CO., LTD, TDS-100P Portable Ultrasonic Flowmeter User manual,. [Fecha de consulta 3 de abril de 2018]. Disponible en: <http://www.gnflowmeter.com>.

VYAS PARESHKUMAR V. and BHALE PUURNANAD V., *Energy Procedia* no 54 (2014) 199 – 210.