

Auditoría Energética de estaciones de bombeo. Caso de Estudio

C. Giner González ¹, P. Gómez Pajares ¹, F. Sanz Tárrega ¹, J. García-Serra
García ², J. Soriano Olivares ²

¹Aguas de Valencia, S.A.

²ITA - Departamento de Ingeniería Hidráulica. Universidad Politécnica de Valencia

1 Introducción

Los sistemas de bombeo se diseñan para operar en determinados puntos de funcionamiento definidos por el proyectista, en base a los datos aportados por el fabricante. Sin embargo, la realidad hace que el sistema de bombeo tenga que funcionar adaptándose a los caudales y presiones demandados. En muchos casos, estos puntos de funcionamiento distan de los de diseño (por cambio en la demanda, estrategia de regulación y control, adaptaciones y modificaciones en la estación de bombeo y en la red de abastecimiento, etc.).

Adicionalmente, en los datos aportados por el fabricante no se tiene en cuenta factores como el estado de los equipos, o el efecto del cambio de velocidad de giro. Por éstas y otras razones la mayoría de veces se desconocen los puntos reales de funcionamiento, la cantidad de horas que funcionan en cada punto y el rendimiento con el que están trabajando. Por todo ello es necesario definir un procedimiento que permita evaluar el funcionamiento real de los equipos en una estación de bombeo.

El **objetivo** principal de este estudio es optimizar el funcionamiento de una estación de bombeo, lo que repercutirá directamente en una disminución de los costes de explotación. Para ello, se establecen los siguientes objetivos:

- Analizar los flujos energéticos y pérdidas asociadas a cada transformación.
- Identificación de los puntos de mejora de rendimiento.
- Declaración de escenarios alternativos al actual.
- Evaluación y valoración de los ahorros de los escenarios alternativos.

2 Principios Básicos

Dada una instalación de bombeo equipada con variador de frecuencia (Variable Speed Drive , VSD según sus siglas en inglés), motor eléctrico y bomba, se definen las siguientes potencias asociadas a cada uno de los elementos de las etapas de transformación energética (ver Figura 1):

- P_{VSD} : Potencia absorbida por el variador de frecuencia (VSD).
- P_M : Potencia absorbida por el motor eléctrico (ME).
- P_p : Potencia en el eje de la bomba hidráulica.
- P_H : Potencia suministrada al fluido.

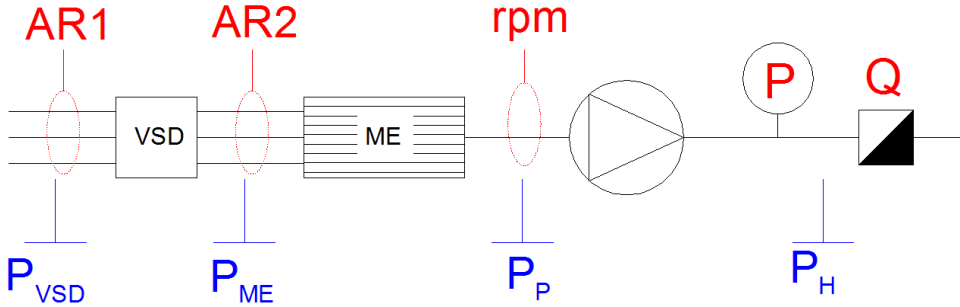


Figura 3. Diagrama de flujo energético del conjunto

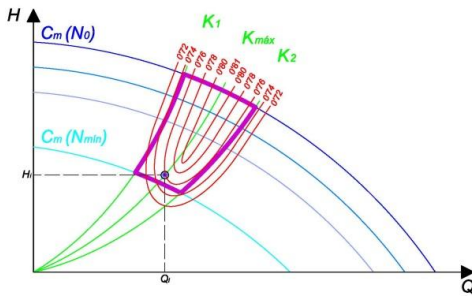
El rendimiento global (η_{TOT}) es el cociente entre la potencia suministrada al fluido (P_H) y la absorbida por el variador de frecuencia (P_{VSD}). De forma equivalente este rendimiento es el producto de los rendimientos individuales de cada transformación:

$$\eta_{TOT} = \eta_{VSD} \cdot \eta_M \cdot \eta_P = \frac{P_H}{P_{VSD}} \quad [1]$$

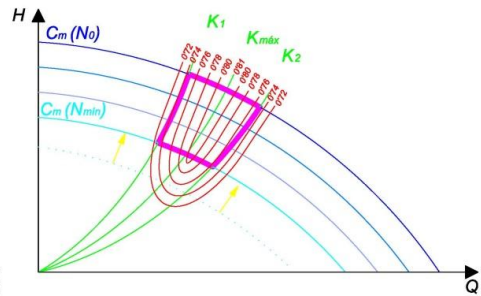
siendo η_{TOT} el rendimiento total, η_{VSD} el rendimiento del variador de frecuencia, η_M el rendimiento del motor eléctrico, η_P el rendimiento de la bomba

Para determinar el rendimiento de una bomba de velocidad variable (η_{BVV}) a distintas velocidades de giro ($\alpha = N/N_0$) se acude a la teoría de la semejanza. Según ésta, los puntos con igual rendimiento (homólogos) se sitúan sobre una parábola que pasa por el origen del gráfico H-Q, y toma como rendimiento el valor a velocidad nominal. Sin embargo, en la realidad estas parábolas sufren una deformación, convirtiéndose en las conocidas colinas de isorrendimiento, viéndose que, a medida que disminuye la velocidad de giro, los valores del rendimiento van reduciéndose respecto a los que predice la teoría de la semejanza (E. Cabrera, 2009). Existen algunas expresiones que corrigen la teoría de la semejanza para tener en cuenta la deformación de las parábolas de isorrendimiento (Ioan Sârbu, 1998).

A falta de ensayos para determinar de manera exacta el rendimiento de la bomba, para fijar la zona útil (rendimiento superior a un valor mínimo aceptable $\eta \geq \eta_{min}$) se suelen usar las parábolas de isorrendimiento pero limitando la velocidad de giro de la bomba a un valor mínimo (α_{min}). De esta forma se acota la merma de rendimiento (Figuras 2 y 3). Siendo así, la zona útil se asemeja a un trapecio curvo. Cuando se asocian varias BVV en paralelo la zona útil del acoplamiento es consecuencia de las zonas útiles de cada una de las BVV que intervienen.



**Figura 4. Zona útil BVV.
Curva de α_{min} mal elegida**



**Figura 5. Zona útil BVV.
Curva de α_{min} bien elegida**

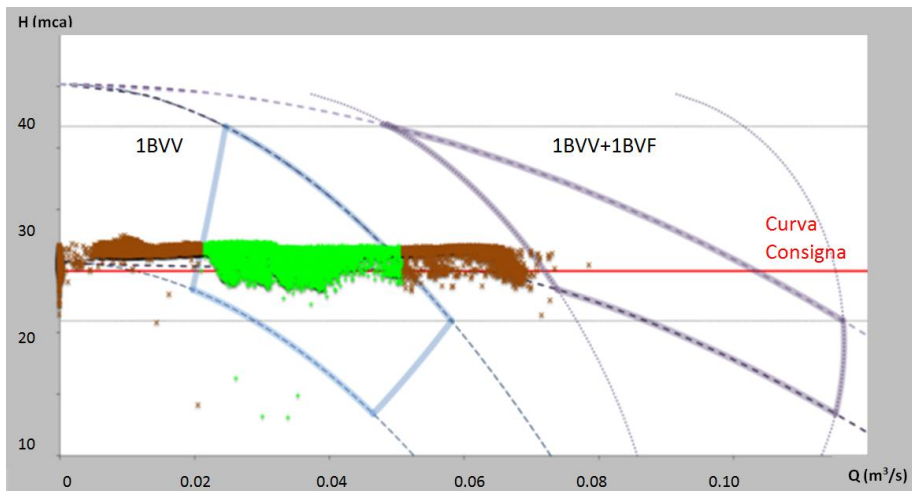


Figura 6. Puntos observados sobre zona útil BVF+BVV

Cuando se trabaja con varias bombas se puede realizar una regulación escalonada o una regulación compartida (E. Cabrera, 2009). En la Figura 4 (regulación escalonada), una BVV cubre la zona de bajos caudales y, a partir de que alcanza el 100 % de la velocidad de giro, se pone en marcha una BVF (o la variable permanece al 100 %) en paralelo con una BVV que realizará la regulación fina. Dado que a bajos caudales la BVV presenta mal rendimiento, se observa hay varias zonas de funcionamiento con rendimientos bajos y no existe recubrimiento entre la forma de funcionar de 1 BVV y de las dos en paralelo.

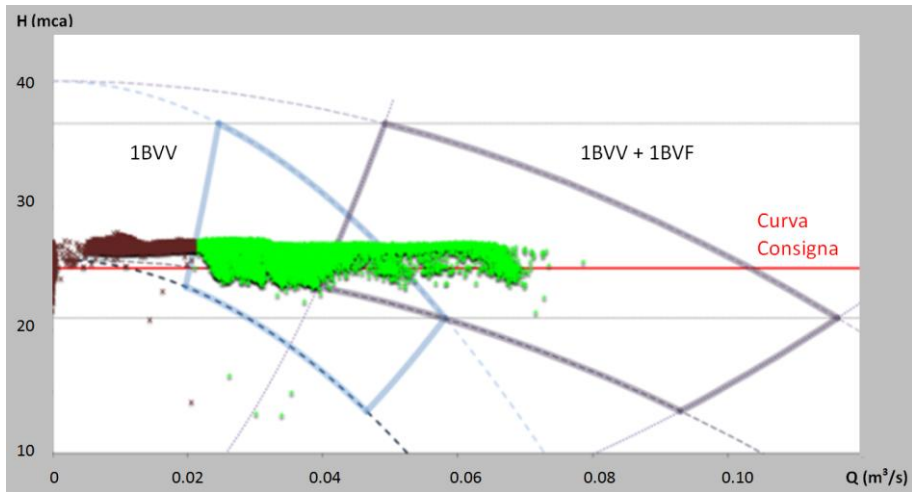


Figura 7. Puntos observados sobre zona útil 2x BVV

En la Figura 5 se puede apreciar el recubrimiento (Gómez Pajares, 2013) que existe entre las dos posibilidades de funcionamiento disponiendo de 2 BVV en paralelo en regulación compartida, lo que implica que una BVV funciona hasta alcanzar el 100 % de su velocidad de giro y, a partir de ese momento funcionan 2 BVV en paralelo a la misma velocidad.

El trapecio curvo que delimita la zona útil es también teórico, dado que no sigue estrictamente las parábolas de isorrendimiento y además, con el paso del tiempo, existirá una cierta deformación de la superficie útil (valores del rendimiento por encima de un valor prefijado), debido a la acumulación de horas de funcionamiento de la estación de bombeo que provoca el consiguiente desgaste en los equipos (Figura 6).

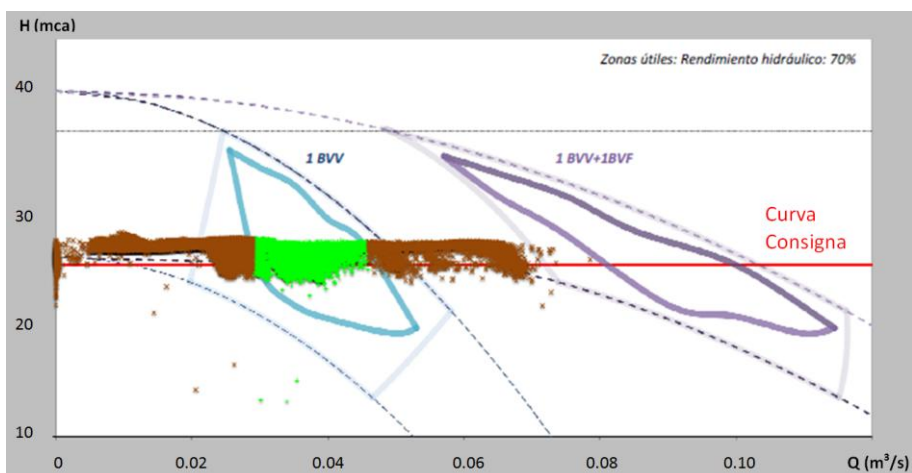


Figura 6. Puntos observados sobre zona útil real BVF+BVV

3 Metodología

Por distintos motivos la realidad de los elementos instalados no siempre es la descrita por el fabricante (horas de funcionamiento acumuladas, errores en la descripción del fabricante, etc.). De ahí la necesidad de realizar mediciones que describan su estado, a ser posible en el entorno de funcionamiento de los equipos.

3.1 Ensayos en campo

Para construir el modelo matemático de simulación se deben conocer los peajes impuestos por cada una de las transformaciones energéticas que acontecen. En Figura 3se presenta el proceso típico de un bombeo, compuesto por un variador de frecuencia, un motor eléctrico y una bomba. Para determinar los rendimientos de cada uno de los elementos es necesario medir las siguientes magnitudes:

- P_{VSD} mediante un analizador de redes instalado a la entrada al variador de frecuencia
- P_M mediante un analizador de redes instalado a la entrada del motor eléctrico
- P_P mediante tacómetro y medidor de par en el eje de la bomba
- P_H mediante la observación de:
 - H mediante manómetros (aspiración e impulsión)
 - Q mediante caudalímetro en la tubería

Para realizar la toma de datos es necesario sistematizar el camino a seguir desde el punto de funcionamiento ensayado al siguiente. Básicamente existen dos formas de recorrer toda la zona a parametrizar:

- Dada una curva resistente, variar la frecuencia y régimen de giro de la bomba.
- A una frecuencia de giro constante, variar la curva resistente a vencer.

Es recomendable el uso de registradores de datos. De esta forma se asegura la simultaneidad de las medidas, se reducen errores de transcripción y se facilita el posterior tratamiento estadístico de los datos ensayados. Para la toma de medidas se debe seguir un procedimiento contrastado (BID, 2011). En caso de disponer de variador de frecuencia, éste debe ser tenido en cuenta en las mediciones (P_{VSD}).

Como visión general, los variadores de frecuencia transforman la corriente alterna de la red en continua (rectificación), para posteriormente transformarla de nuevo en alterna (inversión) a la frecuencia deseada. Estas transformaciones llevan asociada una pérdida energética, con la consecuente penalización del rendimiento global. Para cuantificar estas pérdidas es necesario medir P_{VSD} , además de la Potencia a la entrada del motor (P_M). Para ello se debe instalar un analizador de redes en los bornes de entrada del variador de frecuencia. En muchos casos es posible despreciar las pérdidas en el cableado, pues no tiene una longitud significativas para que éstas sean relevantes (<1%), salvo en determinados casos como el de pozos de elevada profundidad.

3.2 Histórico de datos

Los datos registrados por un sistema SCADA pueden ser de utilidad para cubrir dos funciones importantes; ser input para validar el modelo de simulación (creado a partir de los ensayos de campo o, en su defecto, para crear un modelo basado en ésta), y para disponer de datos que permitan comparar el escenario actual con otras alternativas de mejora.

En cualquier caso es conveniente un tratamiento estadístico con el objetivo de depurar la serie de datos. Los errores más comunes suelen ser de dato erróneo (error de medida) y de dato ausente (medida no observada).

3.3 Modelo de visualización y Modelo de simulación

En un sistema típico de bombeo las variables a tener en cuenta son muy numerosas, lo que conlleva la imposibilidad de plantear todas las alternativas de configuración posibles. Es conveniente disponer de herramientas que nos permitan filtrar las posibles configuraciones a estudiar, reduciendo el campo de soluciones posibles. Estas herramientas pueden denominarse modelos de visualización, y se basan en plantear los datos disponibles de una forma fundamentalmente visual y fácilmente interpretables. En las figuras 4 a 6 pueden verse salidas gráficas de la herramienta de visualización desarrollada en (Gómez Pajares, 2013).

Por otro lado, el modelo de simulación es la herramienta que permite estimar, para distintos escenarios de funcionamiento, los resultados energéticos, económicos o medioambientales. Para ello implementa las ecuaciones generales para el cálculo de potencias, energías y costes. Se ha programado con lenguaje VBA en base Excel.

El modelo utiliza como inputs los datos obtenidos en las mediciones, los datos históricos disponibles (recogidos por ejemplo con un SCADA) o las simples ecuaciones.

Mediante el modelo de simulación y utilizando el mismo input (serie H-Q) se valoran las alternativas elegidas desde el punto de vista energético (kW.h/año), económico (Euros) y medioambiental (TCO₂). Estos resultados son la base de la comparación de los escenarios alternativos simulados. Los resultados sirven de soporte para la toma de las decisiones sobre la estrategia de funcionamiento a implantar.

4 Caso de estudio

El estudio se centra en las bombas que impulsan directamente contra red el agua producto de una planta desnitrificadora por electrodiálisis reversible (EDR). Esta planta se encuentra situada en el litoral mediterráneo, alimentando un sistema con una elevada estacionalidad de caudales.

Se trata de cuatro bombas instaladas en paralelo alimentadas desde un depósito situado anexo a ellas. Estas bombas abastecen dos redes de distribución ubicadas a distinta cota.

Cada bomba incluye un variador de frecuencia. Todo ello está monitorizado por un sistema SCADA.

Cualquiera de las 4 bombas puede alimentar cualquier red. Todas las bombas son iguales excepto la bomba P3D que tiene el rodete recortado.

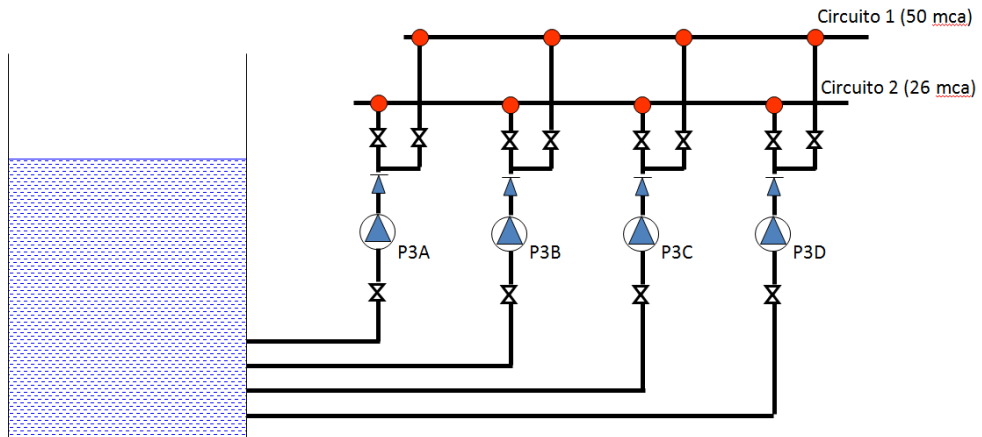


Figura 8. Esquema de principio hidráulico. Bombas de producto

4.1 Serie de datos y tratamiento

Gracias al sistema SCADA implantado se dispone de histórico de datos. Ello permite conocer los valores observados de las principales magnitudes asociadas al funcionamiento de la planta (caudales demandados, magnitudes eléctricas, presiones, altura depósito aspiración, etc...). El paso de tiempo entre medidas es de cinco minutos.

Tras la primera observación de la serie de datos se detectan datos erróneos (un 6,4% del total, lo que supone 6.763 medidas) y datos ausentes (8,2% del total, es decir, 8.548 medidas). Por este motivo se realiza la reconstrucción y tratamiento de los datos en base a valores de posiciones temporales semejantes.

4.2 Ensayos de campo

Se dispone del montaje de los siguientes equipos instalados según la Figura 3:

- AR1: Analizador de redes instalado en la entrada al variador de frecuencia.
- AR2: Analizador de redes instalado en bornes del motor eléctrico.
- Q: Caudalímetro con registro de datos instalado en la aspiración de la bomba.
- P: Registrador de presión en la impulsión de la bomba.

Con el desarrollo explicado anteriormente se pueden realizar de forma simultánea las medidas de las magnitudes necesarias para cada punto de funcionamiento medido (ver epígrafe 3.1). El paso de un punto a otro se ha realizado variando la frecuencia de alimentación del motor eléctrico de la bomba a ensayar y el grado de la válvula que conecta

la bomba con el colector, y todo ello como si de una impulsión a depósito se tratase pues se mantiene mediante el funcionamiento del resto de bombas, la presión constante en el colector (50 mca). Se ensayan las bombas hasta una frecuencia de 44 Hz, debido a que siendo la presión en el colector de impulsión de 50 mca, por debajo de 43.5 Hz la bomba no es capaz de suministrar alcanzar esa altura de presión, no trasegando fluido.

La representación gráfica de los puntos ensayados para una de las bombas, clasificándolos por colores en función del rendimiento, se recoge en la Figura 8.

A partir de los valores medidos, y mediante regresión, se determinan las expresiones que permiten modelizar el funcionamiento de la bomba para diferentes velocidades de giro:

- Altura-Caudal (H-Q)
- Potencia a la entrada del variador-Caudal (P_{VSD} -Q)
- Potencia a la entrada del motor eléctrico-Caudal (P_M -Q)

En la Tabla 1 se muestran los valores de los parámetros de las curvas de regresión para la bomba P3B a diferentes velocidades de giro.

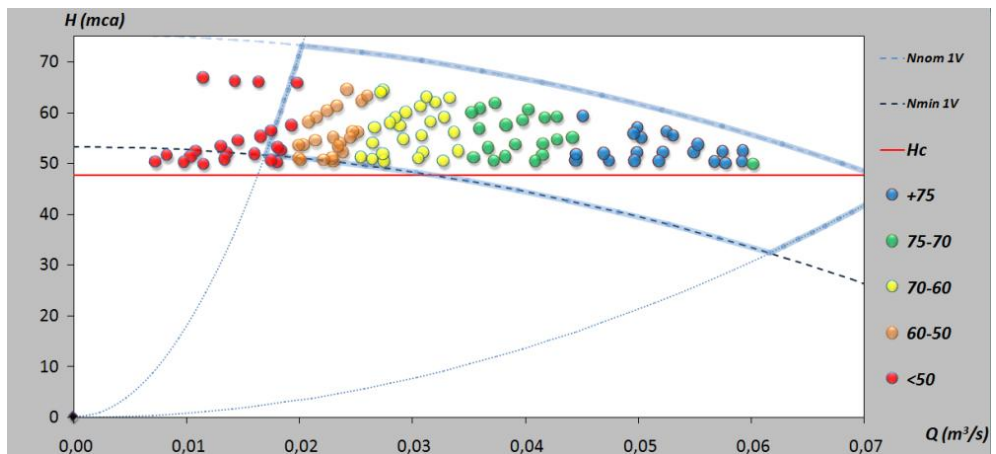


Figura 8. Zona útil teórica y valores del rendimiento (rangos) en los puntos ensayados

f (Hz)	$H=A+BQ+CQ^2$			$P_M=LQ^2+MQ+N$			$P_{VSD}=OQ^2+PQ+R$		
	A	B	C	L	M	N	O	P	R
50,0	67,37	0	-4374	781,0	273,4	20,30	-271,1	429,1	19,84
49,5	66,51	0	-4467	-910,5	402,7	17,24	-1090,0	536,0	17,01
49,0	65,21	0	-4368	-332,0	343,9	17,75	-314,2	471,1	17,12
48,5	63,42	0	-4137	-1030,0	388,2	16,65	-2282,0	599,8	14,83
48,0	62,47	0	-4401	-668,1	351,7	16,74	195,2	416,1	16,98
47,5	61,08	0	-4288	735,7	251,3	17,65	2123,0	279,7	18,24
47,0	59,80	0	-4180	864,3	342,5	15,98	-980,0	470,6	15,04
46,5	58,55	0	-4170	1152,0	205,8	17,47	277,0	382,1	15,79
46,0	57,39	0	-4278	2300,0	129,3	18,09	4223,0	134,1	18,68
45,5	56,07	0	-4159	1031,0	196,0	16,75	-636,6	389,4	14,90
45,0	55,25	0	-4762	1140,0	184,2	16,40	2628,0	226,3	16,19
44,5	54,16	0	-5060	1526,0	154,4	16,28	1795,0	240,3	15,55
44,0	52,93	0	-5327	-7903,0	490,5	12,91	-20840,0	1096,0	6,84

Tabla 1. Coeficientes de las curvas que modelizan el comportamiento de la bomba P3B. Q (m³/s), H (mca) y P (kW)

La consigna del sistema es mantener 50 mca en el colector que alimenta el circuito 1 y 26 mca en el colector que alimenta el circuito 2. Par el caso particular del circuito 1 y la bomba B, es posible determinar, para mantener 50 mca, cuál es el caudal impulsado por la bomba a diferentes frecuencias. A partir de esos valores puede construirse la Figura 9, en la que se representan, para la bomba P3B, las ecuaciones que relacionan las potencias a la entrada del variador y del motor eléctrico, con los caudales trasegados para mantener 50 mca. Cada uno de los puntos señalados representa una frecuencia de alimentación diferente.

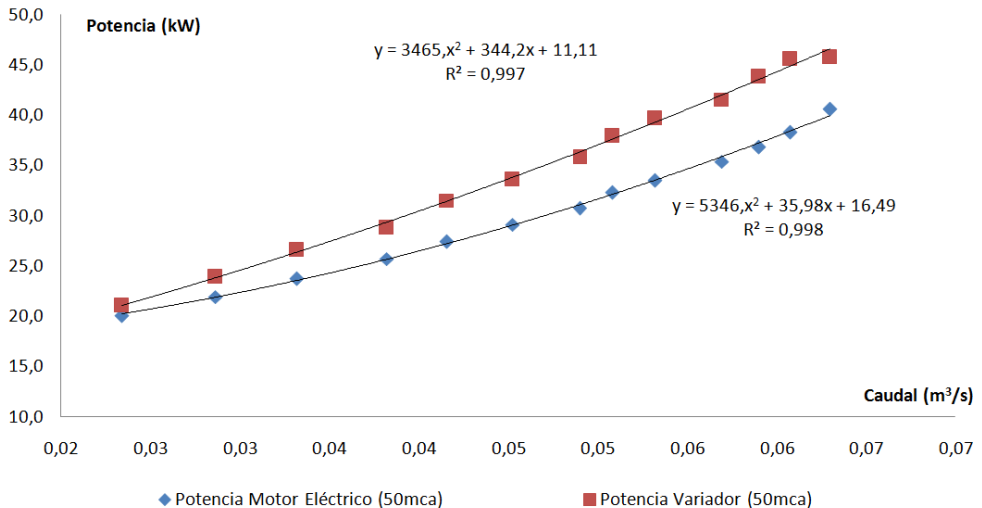


Figura 9. Bomba P3B. Potencias vs Caudal trasegado

4.3 Planteamiento de alternativas a analizar utilizando modelos de visualización

Del análisis de los datos de campo se observa que, en este caso, la pérdida energética introducida por los variadores de frecuencia supera lo que se podría considerar razonable (del orden de un 10 % de rendimiento a 50 Hz). Ello nos lleva a pensar en un sistema que funcione en regulación escalonada, de manera que una de las bombas trabaje como BVF, eliminando el variador, mientras que la otra trabajará como BVV suministrando el caudal complementario para mantener la consigna. Solo a caudales muy bajos estará en funcionamiento una sola BVV.

Observando el histórico de datos llama la atención el número de horas de variador regulando. Cualquiera de los cuatro variadores instalados supera el 80% del año estudiado. Se necesita un método de visualización que permita concluir si el sistema permite que las bombas funcionen más horas a régimen nominal.

Se ha usado la curva de caudales clasificados para visualizar el número de horas que la asociación de bombas de la planta hipotéticamente podría haber funcionado sin necesidad de variador de frecuencia (50 Hz) en algunas de las bombas. Por ejemplo, se puede ver que un caudal superior a 180 m³/h (caudal a régimen nominal de la primera bomba en la secuencia de arranque) se da más de 8.000 horas al año. Esto quiere decir que esta primera bomba podría funcionar sin variador de frecuencia más de 8.000 horas al año, completando el caudal necesario una segunda bomba con variador. De la misma manera podríamos concluir que la segunda bomba podría funcionar sin variador casi 2000 horas al año (para caudales superiores a 440 m³/h).

La mejor estrategia de regulación y control será aquella que optimice el compromiso entre las pérdidas introducidas por el variador en la primera bomba y la merma de rendimiento que se produce por el alejamiento del punto de funcionamiento de la segunda bomba con respecto a su óptimo a régimen nominal. Esta cuantificación se obtendrá como resultado de la simulación.

Al margen de lo comentado, dado el peaje energético que impone el variador de frecuencia, es evidente que instalar un by-pass que permita a la bomba funcionar directamente con alimentación de red producirá un ahorro en las horas de funcionamiento a régimen nominal.

Observando la Figura 9, la superficie delimitada por las líneas en trazo azul es la zona útil derivada de las condiciones especificadas por el fabricante y aplicando la teoría de la semejanza (zona útil teórica). Contrastando esta zona útil con los datos obtenidos en los ensayos se puede visualizar la merma de prestaciones y rendimientos que ocurre en la realidad.

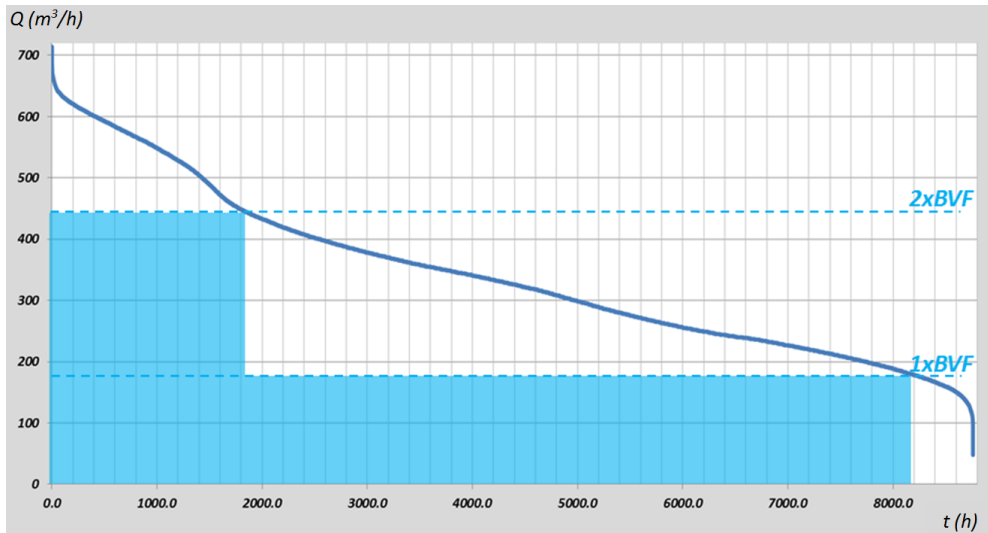


Figura 10. Curva de caudales clasificados con horas de funcionamiento a 50 Hz

4.4 Simulaciones mediante modelo matemático

Con estas ecuaciones sólo falta introducir la serie de caudales trasegados durante un año para calcular P_M y P_{VSD} . Para cada caudal total demandado de la serie, éste se reparte entre las distintas bombas, siguiendo una estrategia de regulación escalonada. Esta decisión se toma tras el análisis realizado con las herramientas de visualización, de manera que hay una secuencia de arranque determinada para cada conjunto de bombas actuando contra cada circuito. Cuando la primera bomba llega al 100 % de su velocidad de giro, arranca la 2ª a la velocidad que sea necesario para mantener la presión de consigna (la primera queda al 100 %), y así sucesivamente con las otras. Las secuencias son:

-Circuito 1: P3A, P3B y P3C

-Circuito 2: P3D, P3C, P3B y

P3A

Con las ecuaciones anteriormente mencionadas (ver 4.2) se obtienen las potencias absorbidas, calculándose de forma inmediata la energía para cada intervalo de tiempo (el paso temporal en la serie de datos es de 5 minutos).

A partir de la serie de energías consumidas se procede a asignar una tarifa eléctrica, teniendo en cuenta los periodos tarifarios vigentes (ITC2794/2007) y los precios de la energía pactados con la compañía comercializadora.

La forma elegida para estructurar los resultados es mediante la evaluación de cada medida de ahorro por separado. El resultado final de cada escenario alternativo procede de simular de forma conjunta aquellas medidas que incluye. Estos resultados se presentan en la siguiente tabla.

Las medidas básicas de ahorro (MB1) y (MB2) implican el instalar un by-pass en los variadores de frecuencia. Todo ello mediante un contactor gobernado por el propio variador, ahorrándose las pérdidas energéticas introducidas por el variador cuando éste no es necesario. El by-pass debe entrar en funcionamiento cuando la frecuencia a la que debe funcionar la bomba sea 50 Hz, manteniéndose activo en tanto en cuanto la bomba no tenga que disminuir su frecuencia de alimentación.

La medida básica de ahorro (MB3) comprende la elección del parámetro α_{\min} . Este valor, que se fija en 44 Hz, marca la frecuencia a la cual la bomba no suministra caudal contra el circuito 1. Por lo tanto, será la frecuencia de paro de la bomba que está actuando como BVV cuando los caudales estén disminuyendo. Consecuentemente el rango de frecuencias para regular las bombas será entre 44.0 Hz y 50.0 Hz.

La medida básica de ahorro (MB4), aplicable al circuito 1, se basa en la diferencia de precio de la energía que existe en los distintos periodos. En este caso, la red de abastecimiento permite aprovechar los depósitos existentes de capacidad suficiente para llenarse con agua procedente del bombeo funcionando los equipos solo en horas valle (periodo tarifario 6). De esta manera es posible detener la planta el resto de horas.

ID	Descripción	Ahorro			Inv. Inicial	Tpo Retorno
		kWh/año	€/año	t CO ₂ /año	€	Años
MB1	By-Pass en VSD de P3A	31,323	2,926	20.3	1,021	0.35
MB2	By-Pass en VSD de P3D	11,080	993	7.2	1,021	1.03
MB3	Cambio de α_{\min} en VSD (circuito 1)	44,104	3,903	28.6	0	0.00
MB4	Desplazamiento de cargas circuito 1	66,134	22,612	42.9	0	0.00
MB5	5ª Bomba para circuito 2	141,832	11,665	92.0	18,000	1.54
MB6	Reducción Potencia contratada	*	*	*	*	*
EC1	MB1+MB2+MB3	86,507	7,821	56.1	2,042	0.26
EC2	MB1+MB3+MB4+MB6	199,218	49,653	129.3	1,021	0.02
EC3	MB1+MB2+MB3+MB4+MB5+MB6	348,806	62,014	226.4	20,042	0.32

* Varía con la composición final de cada escenario

Tabla 3. Tabla de resultados de simulaciones

En la medida básica de ahorro (MB5) se plantea la instalación de una bomba nueva para abastecer el circuito 2. Esto implica un cambio en el número de bombas y en el tipo de las mismas. Adicionalmente esta bomba tendrá su punto de máximo rendimiento para una altura manométrica de 26 mca.

La medida básica de ahorro (MB6) consiste en la reducción de la potencia contratada con la compañía comercializadora. De esta manera se reducirán los costes de la tarifa de acceso y se optimizará el balance entre ésta y los pagos por exceso de potencia.

Los escenarios alternativos (EC1, EC2 y EC3) surgen como combinación de las medidas de ahorro planteadas anteriormente y no son suma directa de ellas sino que responden a la correspondiente simulación.

5 Conclusiones

- Se demuestra que el procedimiento encuentra soluciones alternativas que, siendo atractivas y quedando cuantificados sus ahorros, sirven de base a la decisión final. Durante el proceso, el procedimiento desecha aquellas opciones no factibles.
- El histórico de datos de una instalación es una importante fuente de información que se convierte en el INPUT de las simulaciones y sirve de base para la comparación de las mismas. Asimismo, los valores registrados pueden utilizarse para, mediante regresiones, disponer de ecuaciones que modelicen el comportamiento real del sistema.
- Tener una serie de datos fiable se traducirá en estudios de costes más cercanos a la realidad y en una mayor precisión en la evaluación de las medidas de ahorro.
- Los métodos de visualización aportan gran información respecto a la dirección de búsqueda de escenarios alternativos y sirven de filtro para eliminar opciones poco atractivas.
- Para valorar la desviación de los datos aportados por el fabricante frente a las prestaciones reales de los equipos es crucial realizar ensayos de campo.
- Para una cuantificación rigurosa de los ahorros se hace imprescindible el uso de modelos matemáticos de simulación.
- Observando los resultados de ciertas medidas básicas se intuye un gran potencial de ahorro con baja o nula inversión inicial.

Agradecimientos

Agradecemos al Grupo Aguas de Valencia su desinteresada colaboración prestando las instalaciones en las que se han realizado los ensayos de campo. Especial agradecimiento al personal de la planta.

Bibliografía

Alcázar Ortega, M. (2011). *Auditorías Energéticas. Material didáctico Master en Tecnología Energética para el Desarrollo Sostenible*. Valencia.

BID, B. I. (2011). *Evaluación para sistemas de bombeo de agua. Manual de Eficiencia Energética*. Washington, D.C.

E. Cabrera, V. E.-S. (2009). *Ingeniería hidráulica aplicada en los sistemas de distribución de agua*.

García-Serra, J. (2011). *Hidráulica Avanzada. Material didáctico*. Valencia.

García-Serra, J. (2011). *Regulación de Estaciones de Bombeo. Material Didáctico*. UPValencia.

Gómez Pajares, P. (2013). *Procedimiento para la selección de la estrategia de regulación más adecuada desde el punto de vista energético en instalaciones con grupos de bombeo*. Valencia.

IDAE. (s.f.). *Guías Técnicas de Eficiencia Energética*.

Ioan Sârbu, I. B. (1998). *Energetic optimization of water pumping in distribution systems*.

ITC2794/2007. (s.f.). *Regulación tarifas electricas*.