

Procedimiento para la selección óptima de equipos de bombeo. Caso de estudio.

Gómez Pajares P.^{a1}, Giner González C.^{a2}, Soriano Olivares J.^{b1}, García-Serra García J.^{b2}

^aGlobal Omnium-Aguas de Valencia. ^{a1}pegopa@globalomnium.com ^{a2}cargigon@globalomnium.com

^bITA-Dep. – Ingeniería Hidráulica. Universitat Politècnica de València. ^{b1}jasool@ita.upv.es ^{b2}garcias@ita.upv.es

Línea temática | Estructuras hidráulicas

RESUMEN

Esta comunicación explica un caso práctico de selección de equipos de bombeo en una instalación real. El objetivo es presentar la opción más ventajosa, desde el punto de vista energético, económico y medioambiental.

El procedimiento se estructura en dos pasos: el primero es un filtro visual rápido para identificar las opciones inicialmente válidas; el segundo, es un modelo matemático que implementa la metodología del cálculo del coste del ciclo de vida para cada opción finalista. Como resultado se obtendrá una comparativa de costes de ciclos de vida con la que se seleccionará la opción a instalar.

Las conclusiones más relevantes que se derivan del estudio son:

- El filtro inicial cumple a la perfección con su cometido, desestimando rápidamente aquellas opciones que, siendo válidas, son menos adecuadas.
- El coste del ciclo de vida, alimentado con datos de cada proveedor, permite decidir qué opción será la más rentable en términos energéticos, económicos y medioambientales.

Palabras clave | estación de bombeo; selección de bombas; eficiencia energética; coste del ciclo de vida; inyección directa

INTRODUCCIÓN

La tendencia tradicional a la hora de estudiar y plantear el cambio de equipos en un sistema de bombeo, ha necesitado como información de partida, el conocimiento del punto de funcionamiento de la instalación. Conocidas estas premisas de presión y caudal, argumentando el número de equipos elegido y en posesión de la información suministrada por los fabricantes de equipos de bombeo, el técnico proyectista elige aquel equipo que considera más oportuno según su criterio. Este criterio puede ser que el equipo elegido dé el máximo rendimiento posible, que el equipo de un rendimiento aceptable a un precio razonable (relación calidad precio), que los costes de mantenimiento del equipo sean mínimos, etc. Dicho de otro modo, no existe unificación de criterios sobre cuál es la mejor forma de elegir un equipo de bombeo.

Por otro lado, cuando la estación de bombeo inyecta directamente a red, el planteamiento tradicional queda obsoleto y es incapaz de elegir una solución con garantías. En una inyección directa, las condiciones cambian en función de las necesidades que esta red exija. Siendo así, el punto de funcionamiento varía en el tiempo de forma desconocida y obliga a disponer de herramientas que consigan sacar a la luz las diferencias entre un equipo adecuado y aquél que no lo es.

Adicionalmente, la inmensidad del mercado, en cuanto a fabricantes y modelos de equipos de bombeo, complica en extremo la elección. Esto se debe a la imposibilidad de estudiar, en tiempo y forma, todas las opciones que dicho mercado ofrece. Esta situación deriva en una primera elección parcialmente arbitraria, alentada muchas veces por la necesidad de decidir el equipo con premura para reducir, en la medida de lo posible, tiempos de espera en las fases instalación y puesta en marcha del nuevo equipo.

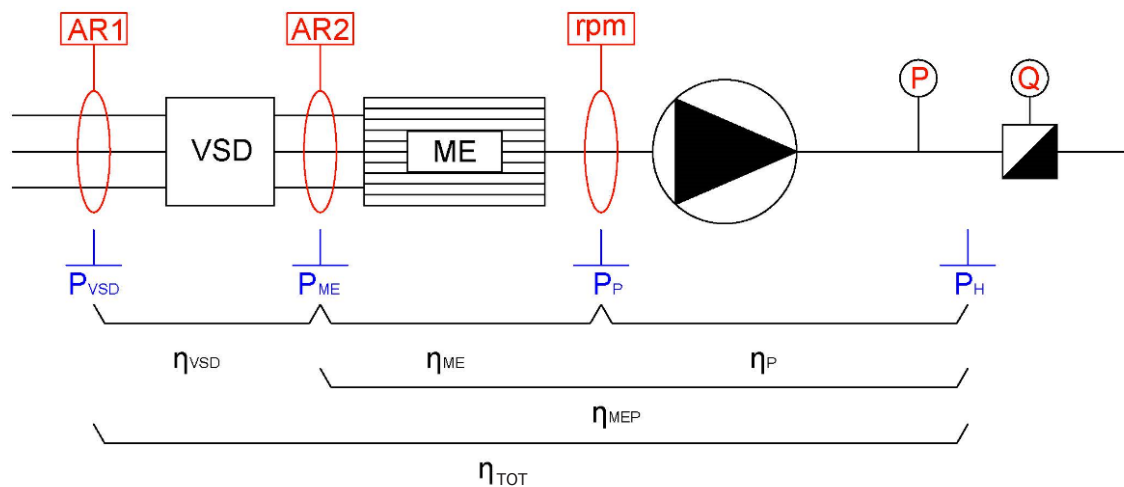
El objetivo principal de este estudio es presentar un procedimiento real que se pueda implementar en situaciones de estudio de cambio de elementos con el fin de elegir el mejor equipo de bombeo, de entre los disponibles en el mercado. Esta elección debe fundamentarse en la cuantificación de un ahorro en términos energéticos, económicos y medioambientales.

Principios básicos

ZONA ÚTIL DE UNA BOMBA Y ELECCIÓN DE LA CURVA DE α MÍNIMO

En un equipo de bombeo con variador de frecuencia, los principales elementos, atendiendo a su implicación energética son: variador de frecuencia (VSD), motor eléctrico (ME) y la bomba hidráulica (P). Los estados de potencia derivados de los elementos nombrados se definen como: potencia absorbida por el variador de frecuencia (P_{VSD}), potencia absorbida por el motor eléctrico (P_{ME}), potencia en el eje de la bomba hidráulica (P_P) y la potencia suministrada al fluido (P_H).

Figura 1 | Esquema de flujo energético, potencias y rendimientos.



El rendimiento global (η_{TOT}) es el cociente entre P_H y P_{VSD} . De forma equivalente este rendimiento es el producto de los rendimientos individuales de cada transformación:

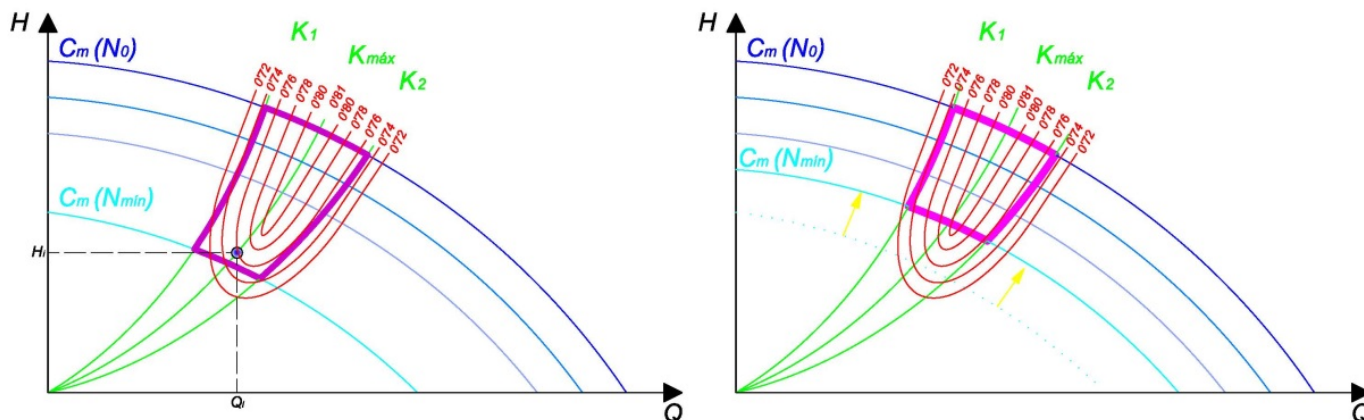
$$\eta_{TOT} = \eta_{VSD} \cdot \eta_{ME} \cdot \eta_P = \frac{P_H}{P_{VSD}} \quad [1]$$

siendo η_{VSD} el rendimiento del variador de frecuencia, η_{ME} el rendimiento del motor eléctrico y 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 acepta la teoría de la semejanza. De esta forma, los puntos con igual rendimiento, o puntos homólogos, se sitúan sobre una parábola que pasa por el origen del espacio HQ 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 determinar 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 ($\alpha_{\min}$). De esta forma se acota la merma de rendimiento, siendo así, la zona útil se asemeja a un trapecio curvo (Figura 2). Cuando se asocian varias bombas de velocidad variable (BVV) en paralelo la zona útil del acoplamiento es consecuencia de la asociación de las zonas útiles de cada una de las BVV que intervienen.

Figura 2 | Izquierda: Zona útil BVV con curva $\alpha_{\min}$ mal elegida. Derecha: Zona útil BVV con curva $\alpha_{\min}$ bien elegida.



ESCENARIO ENERGÉTICO

Cuando una estación de bombeo dispone de sistemas de monitorización, es posible conocer la realidad acontecida. Los datos serán una serie temporal que incluirán como mínimo registros de presión y caudal. Esta información contiene todas las características y matices de la estación del bombeo al que pertenece. Si se plasma esta serie temporal en el espacio HQ se puede observar una panorámica que incluye el total de puntos de funcionamiento. Una distribución energética con el aspecto de una nube de puntos que suele delatar las estrategias de bombeo utilizadas o, en su caso, la ausencia de ellas.

Por otro lado, la posibilidad de funcionamiento de un modelo de bomba concreto se puede expresar de forma gráfica en el espacio HQ a través de curva motriz. Esta información se recibe del fabricante o proveedor. Mediante la decisión de un rendimiento mínimo por debajo del cual no se considera aceptable su funcionamiento, se puede construir su zona útil. Todos los puntos incluidos en esta zona útil tendrán un rendimiento igual o mayor al elegido.

Se define escenario energético a la suma de la serie temporal histórica acontecida en un bombeo, en el espacio HQ y la energía consumida en cada punto. Como resultado se obtiene el total de energía consumida por la instalación para satisfacer los puntos de funcionamiento planteados con la configuración elegida. Si a este escenario energético se le aplica el precio de la energía en cada punto de funcionamiento observado se obtiene el coste energético de dicho escenario.

Este coste energético es uno de los costes a tener en cuenta para la toma de decisión, sin embargo, la ISO 15686-5 plantea un objetivo más ambicioso. En este estándar a nivel mundial se plantea el concepto Coste de Ciclo de Vida (LCC, Life Cycle Cost). Este concepto contempla todos los costes asociados al equipo en cuestión desde su concepción hasta su desmantelamiento, teniendo en cuenta el diseño, instalación, operación y mantenimiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

Instalación existente

La estación de bombeo de estudio está compuesta por 4 bombas idénticas en paralelo. Las bombas 1 y 2 están gobernadas por variadores de frecuencia mientras que las bombas 3 y 4 lo están mediante arrancadores estáticos. La tabla 1 muestra las características principales de los equipos.

Figura 3 | Esquema principio de la instalación

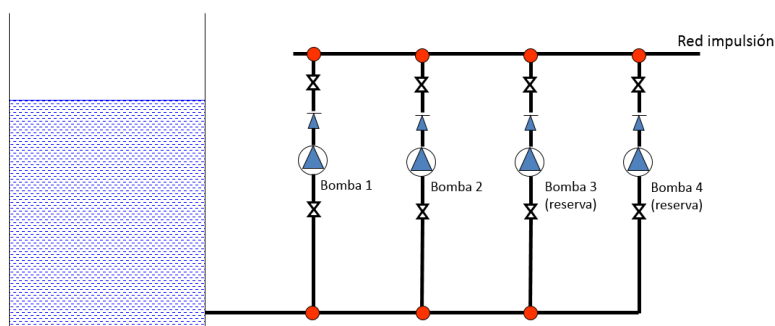
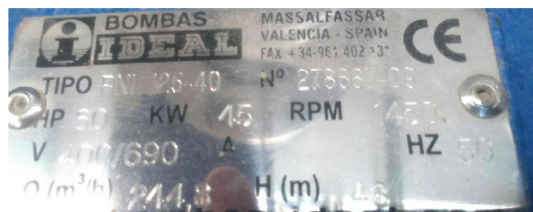


Tabla 1. Características de los equipos existentes (bomba, motor y variador de frecuencia)

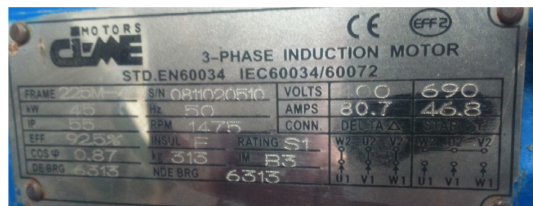
CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA

MARCA	Bombas Ideal
TIPO	RNI 125-40
POTENCIA (kW)	45
RPM	1.450
Q (m ³ /h)	244'8
H (mca)	43



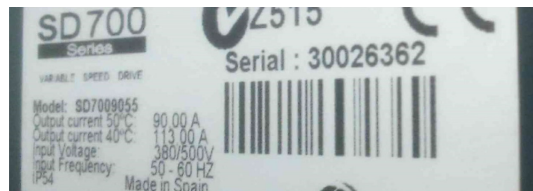
CARACTERÍSTICAS DEL MOTOR ELÉCTRICO

MARCA	CIME
CLASIFICACIÓN	IFF2
POTENCIA (kW)	45
TENSIÓN (V)	400/690
INTENSIDAD (A)	80'7/46'8
RENDIMIENTO (%)	92'5



CARACTERÍSTICAS DEL VARIADOR DE FRECUENCIA

MARCA	Power Electronics
TIPO	SD700
TENSIÓN (V)	400
INTENSIDAD (A)	90



En el momento del estudio, la estación solo funcionaba con las bombas 1 y 2. Esto se debe a los cambios sufridos, tanto en la red abastecida, como en la estrategia de funcionamiento. Resaltan 2 acciones que han influido en los cambios comentados:

- La puesta en marcha de servicio de búsqueda de fugas. El éxito de las campañas realizadas por este servicio ha reducido el caudal solicitado a la estación de bombeo de forma significativa.
- El cambio de estrategia de funcionamiento pasando de una sola consigna de presión a una estrategia de dos consignas de presión (noche-día).

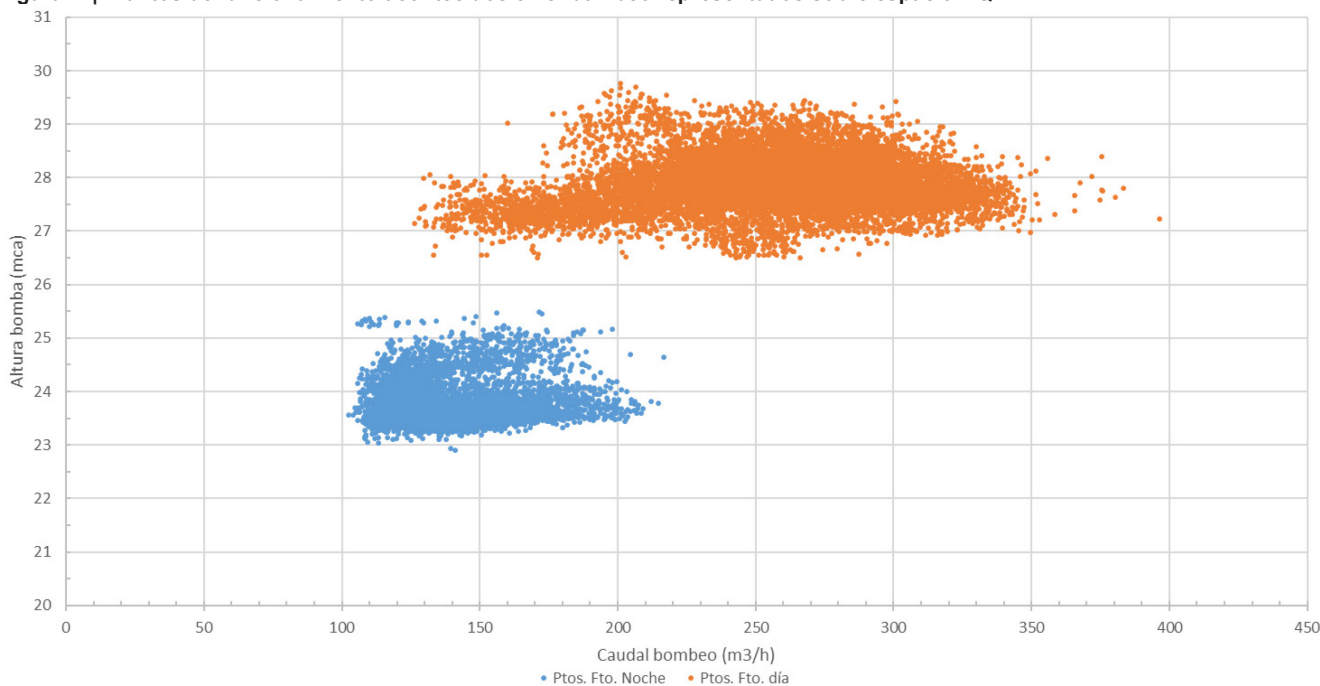
En consecuencia y a los efectos de diseño, se considera la instalación compuesta por dos bombas en paralelo y otras dos de reserva (configuración 2+2) tal como indica la Figura 3.

Descripción de la solución requerida

De forma previa a la aplicación del procedimiento, es necesario realizar un estudio que analice la realidad del bombeo. Como consecuencia de este estudio se obtendrá la descripción de la solución a adoptar y debe incluir aquellas premisas exigidas a cualquier opción que se presente. El desarrollo del estudio mencionado queda fuera del alcance de esta comunicación. Sin embargo, como introducción a los siguientes apartados y para que el lector entienda la naturaleza del bombeo estudiado, se describe brevemente como puede iniciarse el estudio y las decisiones finalmente tomadas sobre este.

En el caso propuesto, esta tarea se puede realizar con facilidad dado que la instalación incluye monitorización de las principales variables. En la siguiente imagen se representan los puntos de funcionamiento acontecidos en el espacio HQ. El intervalo de tiempo asignado a cada punto es de 15 minutos siendo, tanto la presión como el caudal, valores medios de cada intervalo. El total de la serie histórica utilizada debe abarcar un periodo de tiempo representativo del funcionamiento de la instalación. En este caso se ha tenido en cuenta un año. Observando la figura 4, se deduce la estrategia de funcionamiento con dos consignas de presión (funcionamiento noche-día). Los puntos naranjas corresponden a horario diurno mientras que los puntos de funcionamiento azules corresponden a horario nocturno.

Figura 4 | Puntos de funcionamiento acontecidos en el bombeo representados sobre espacio HQ



De cualquier forma, la distribución energética obtenida, a través de la representación de los puntos de funcionamiento, se convierte en la base del estudio comentado. En este caso, dada la distribución, se deciden las siguientes premisas:

- Instalación de 2 bombas en paralelo. El modelo elegido deberá posibilitar que cuando funcione una sola bomba, su curva motriz a régimen nominal, cubra la nube de puntos azules (funcionamiento nocturno), preferiblemente, por su parte superior. Además, cuando funcionen las 2 bombas en paralelo, la curva motriz del conjunto debería cubrir la nube naranja (funcionamiento diurno) de forma similar.
- Debido al amplio rango de caudales ocupado por cada nube, se decide equipar cada una de las bombas con un variador de frecuencia. De esta forma, a través de los variadores, las bombas podrán funcionar fuera de su régimen nominal. Este rango se limita desde 45 Hz hasta 55 Hz y, de forma prioritaria, en las cercanías del régimen nominal (50 Hz). Se debe tener en cuenta que cuando se plantean regímenes de funcionamiento en sobrevelocidad ($f > 50\text{Hz}$), el motor debe estar redimensionado a esta nueva premisa.

Siendo así, el siguiente paso es realizar una búsqueda en el mercado, sondeando tantos fabricantes como se desee, para encontrar conjuntos formados por 2 equipos de bombeo similares.

Figura 5 | Esquema proceso de selección



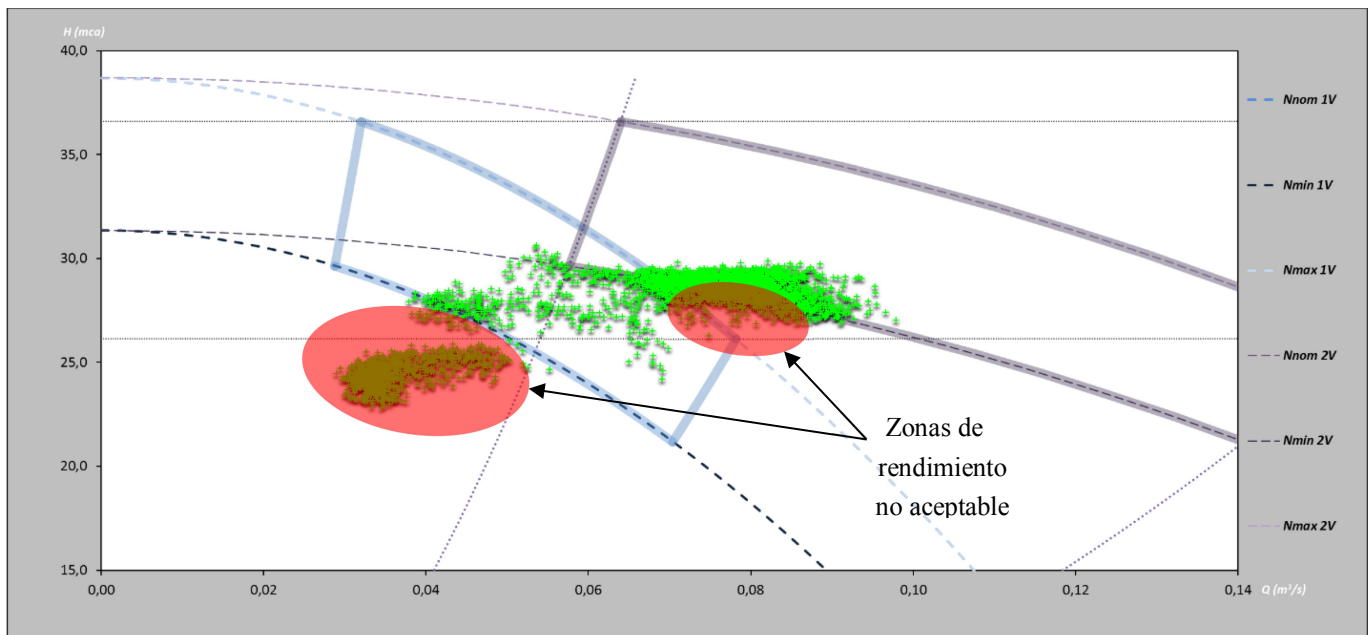
Uso de herramientas de visualización

En la actualidad existen en el mercado muchos fabricantes de equipos de bombeo. Cada fabricante incluye en su catálogo multitud de modelos (equipos de bombeo monobloc, bombas de cámara partida, equipos con unión bomba-motor mediante eje horizontal, etc.) y cada modelo tiene la posibilidad de entregarse para distintos tamaños de rodete. Existe también la posibilidad de plantear requisitos sobre el motor eléctrico que acompañará a la bomba. Este requisito pueden afectar a su eficiencia, al número de pares de polos, etc. En consecuencia, existe la posibilidad de buscar, entre todas las opciones, aquella que más se ajuste a los requerimientos marcados. Pero esta elección se tendrá que hacer mediante el uso de herramientas que acoten, a un tiempo razonable, el proceso de aceptación o descarte de cada una de las opciones sometidas a juicio.

La herramienta utilizada construye el escenario energético de cada modelo de bomba que se propone como alternativa. Dado un modelo de bomba, su escenario energético está constituido por la superposición, en el mismo plano HQ, de las zonas útiles de las asociaciones posibles para el número de bombas que se decida y por los puntos de funcionamiento acontecidos en el bombeo. A través de la visualización de este escenario, el técnico puede deducir cualitativamente, de una forma rápida y eficaz, si el modelo criticado hubiese sido capaz de satisfacer los puntos de funcionamiento requeridos con un rendimiento aceptable y, en la medida de lo posible, cercano a las curvas motrices a régimen nominal.

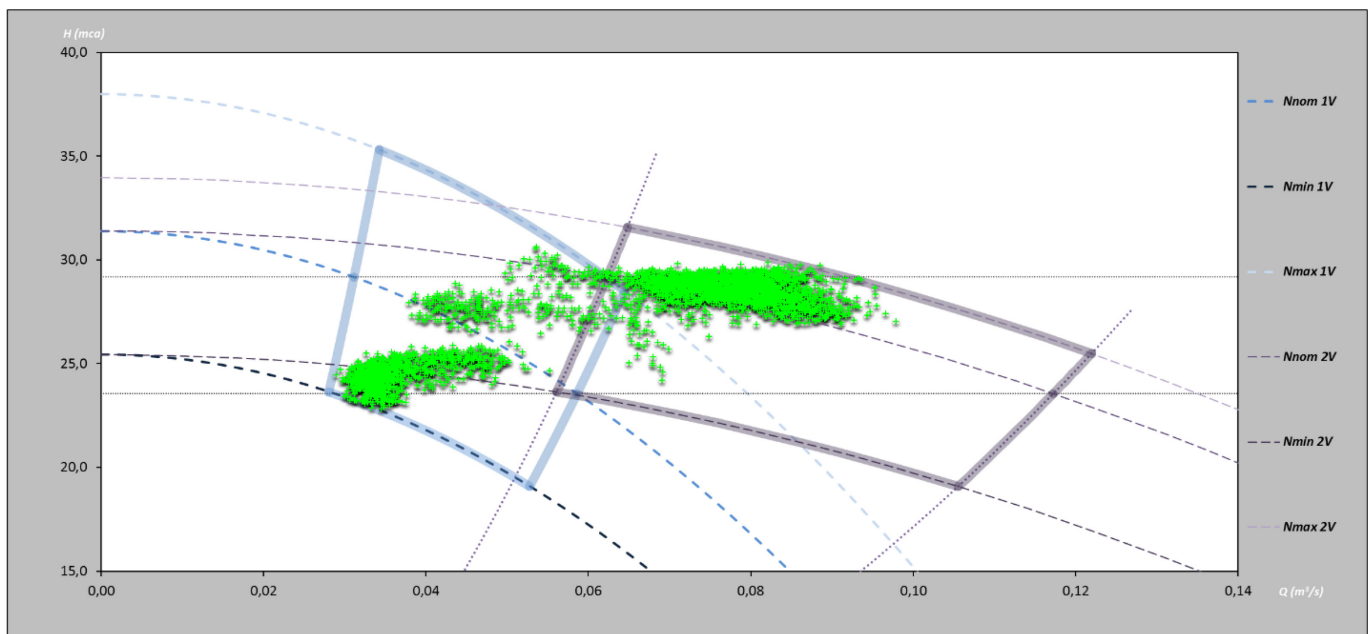
La figura 6 muestra un escenario energético donde las zonas útiles están limitadas por las curvas motrices a 50 Hz y 45 Hz mientras que el rendimiento mínimo aceptado es del 70%. Siendo así, prácticamente la totalidad de la nube de puntos nocturnos queda por debajo de la zona útil de la primera asociación (funcionamiento de 1 BVV). De los puntos de funcionamiento diurno, hay una parte que quedan fuera de la zona de rendimiento mínimo aceptable. Como consecuencia de esto y de lo anteriormente especificado el escenario se considera no aceptable.

Figura 6 | Escenario energético no aceptado



A continuación, se presenta otro modelo de bomba con posibilidad de operación entre 45 y 55 Hz y un rendimiento mínimo aceptado del 70%. En este caso se puede observar que la práctica totalidad de los puntos de funcionamiento están dentro de las zonas de rendimiento mínimo. Como consecuencia de esto el escenario energético planteado se considera aceptable.

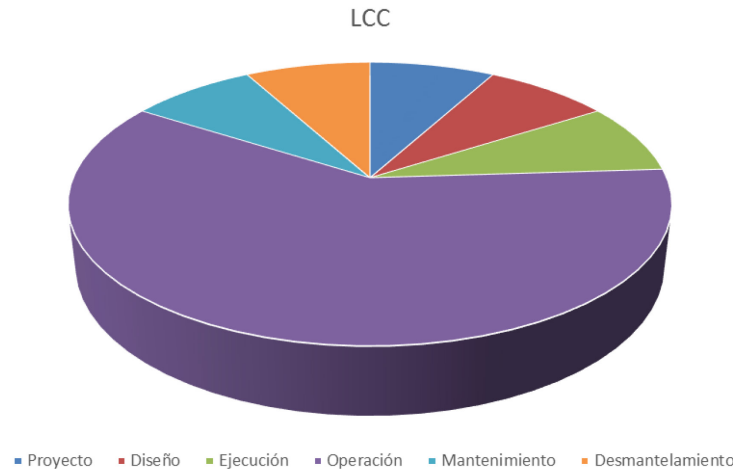
Figura 7 | Escenario energético aceptado



Cálculo del coste del ciclo de vida

El coste del ciclo de vida (LCC, siglas inglesas, ISO 15686-5), estándar reconocido mundialmente, plantea un estudio económico de amortización del proyecto a ejecutar, entendiéndolo de forma completa, a lo largo de toda su vida. Es decir, este estándar dicta que se deben tener en cuenta los principales costes derivados de la ejecución de un proyecto (fases de diseño, proyecto, construcción, explotación, mantenimiento y desmantelamiento) para el tiempo que esté en servicio.

Figura 8 | Componentes económicos intervinientes en un proyecto



El segundo paso del caso práctico presentado utiliza, para cada opción finalista, el cálculo del coste del ciclo de vida. En la adaptación para este tipo de proyectos se han simplificado aquellos impactos económicos que, aunque incluidos en la versión original del estándar, son similares para todas las opciones finalistas estudiadas o no se puede asegurar que su comparación sea homogénea para todas las opciones. De esta forma, se ha suprimido del estudio los siguientes conceptos:

- **Diseño y proyecto:** Global Omnium-Aguas de Valencia actúa de oficio en todas sus instalaciones, revisando y estudiando los principales indicadores energéticos a través de sus sistemas de monitorización, de sus campañas de mediciones en campo y de la realización de auditorías energéticas. Siendo así, la auditoría energética, las mejoras de ahorro energético que surjan de estas auditorías, el estudio en profundidad de la implantación de la medida y cualquier otra actividad que sea necesaria en este ámbito se considera cubierta y sin impacto económico sea cual sea la opción finalmente elegida. Incluso si se decidiese no actuar.
- **Gestión del equipo desmantelado:** En este caso, tras consulta con empresa de gestión de residuos en el momento del estudio, el equipo desmantelado tiene cierto valor residual. Este valor residual coincide con los gastos de gestión de residuos del equipo retirado y de la expedición de los certificados de gestión oportunos. En consecuencia, el único impacto a tener en cuenta en este punto es el desmontaje o desmantelamiento del equipo retirado que, aun siendo un impacto reducido, se ha tenido en cuenta incluyéndolo en el montaje del equipo nuevo a instalar que finalmente se elija.
- **Variadores de frecuencia:** Tal como se ha explicado, la solución final pasa por incorporar 2 variadores de frecuencia. De forma previa al estudio se decide actuar con los variadores existentes sea cual sea la opción elegida. Esta decisión se fundamenta en que los variadores, a fecha del estudio, no acumulan excesivas horas de funcionamiento y son de un calibre adecuado para su uso con cualquiera de las opciones. Siendo así, su impacto económico no se tiene en cuenta.

Los impactos económicos incluidos en el estudio son los siguientes:

- Costes de adquisición del equipo: Inversión inicial. Incluye la compra del equipo, la instalación y la configuración y puesta en marcha. La cuantificación se ha realizado a partir de ofertas negociadas con proveedores y ofertas negociadas con instaladores.
- Costes de operación: Valor de la energía consumida mediante el cálculo del consumo específico en kWh/m³ y un valor medio ponderado del coste de la energía (0.10 €/kWh). El consumo específico se obtendrá a través de la realización de modelo matemático caracterizado para cada opción finalista. La caracterización de los equipos que componen cada opción se obtendrá a partir de los datos aportados por fabricante. El modelo debe reflejar con fidelidad la estrategia utilizada durante el periodo de estudio (consignas, paros y arranques de bombas, etc).
- Costes de mantenimiento: Derivados de la posible instalación de cada una de las opciones. Incluye mantenimiento de naturaleza preventiva, predictiva y correctiva. Esta cuantificación de costes se ha realizado a partir de información de cada fabricante, ofertas de mantenimiento externas para cada equipo y utilizando el histórico de correctivos acumulado por las empresas para bombas de mismo modelo o de modelos similares.

Con toda la información comentada se prepara la comparativa que dará soporte a la decisión final.

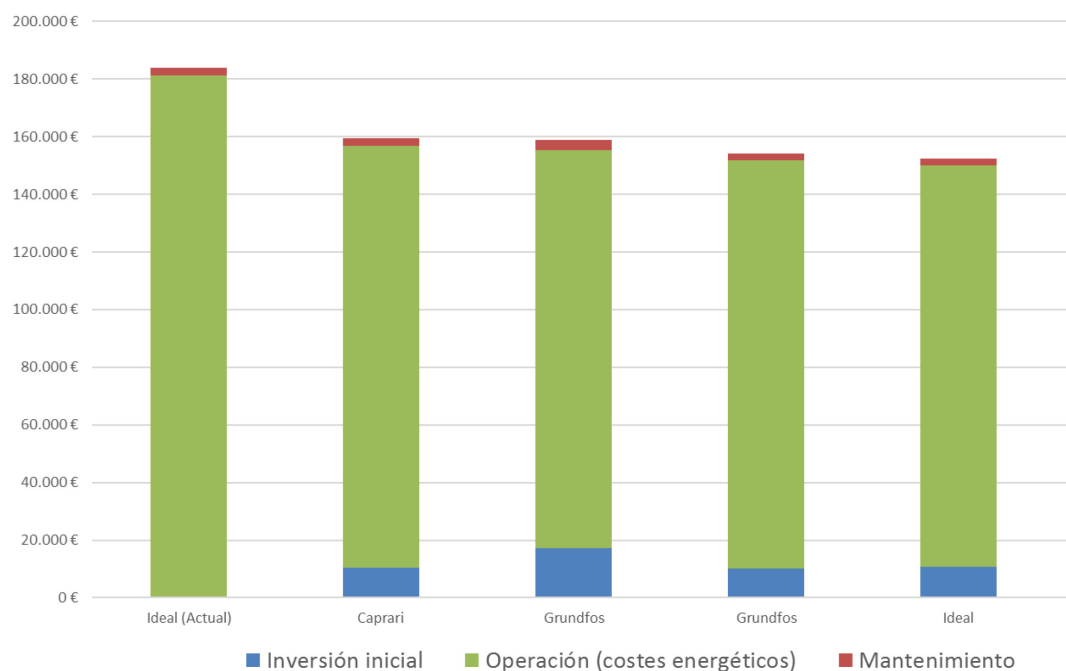
RESULTADOS

Los resultados obtenidos son fruto de la aplicación de todas las acciones incluidas en el estudio y se pueden sintetizar en:

- Planteamiento inicial de premisas. A través del estudio de la realidad del bombeo.
- Aplicación de herramientas de visualización: Como filtro de opciones que inicialmente parezcan aceptables.
- Cuantificación del coste del ciclo de vida: Para cada opción finalista.

Como se puede apreciar el principal coste de la bomba es el asociado a la energía consumida por el equipo durante su vida útil. Este coste está directamente influido por el rendimiento del equipo en los puntos de funcionamiento. De ahí se deduce que en la elección del equipo de bombeo es crucial el rendimiento del equipo en los puntos de funcionamiento en los que va a trabajar a lo largo de su vida útil. Esto se puede apreciar en el siguiente gráfico.

Figura 9 | Expresión gráfica del coste de ciclo de vida (LCC)



En la siguiente tabla se sintetizan los resultados obtenidos en el presente estudio. Tal como se puede observar, de los 5 equipos analizados, los nuevos equipos presentan un menor coste de operación y mantenimiento, siendo el modelo HS125-100 de Grundfos el que menor coste anual presenta (aproximadamente 28.312 €). Sin embargo, los costes de adquisición de este equipo son los mayores con diferencia (en torno a los 17.307 €). Si se atiende al coste del ciclo de vida para un periodo de 5 años, se observa que ninguno de los equipos anteriores presenta la mejor ventaja competitiva, siendo el equipo RNI 125-32 de Bombas Ideal el que menor coste total presenta (152.450 €).

Tabla 2. Resultados de la simulación de las distintas opciones

	Ideal (Actual)	Caprari	Grundfos	Grundfos	Ideal
Modelo	RNI125-40	NC 125-315	HS125-100	NB100-315	RNI125-32
Diámetro rodete (mm)	350mm	300 mm	305 mm	312 mm	300 mm
Velocidad de giro (rpm)	1500	3000 rpm	1500 rpm	1500 rpm	1500 rpm
Tipo de bomba	Bancada	Bancada	Cámara partida	Monobloc	Bancada
Datos técnicos bombeo					
Energía consumida bombeo:	4.452 kWh				
Volumen bombeado a red:	24.550 m3				
Consumo específico	0,181 kWh/m3	0,146 kWh/m3	0,138 kWh/m3	0,142 kWh/m3	0,139 kWh/m3
Altura media suministrada por la bomba	27,4 mca	27,4 mca	27,4 mca	27,4 mca	27,4 mca
Índice de bombeo medio (Wh/m3/mca)	6,62	5,34	5,04	5,17	5,08
Rendimiento medio	41%	51%	54%	53%	54%
Datos anuales					
Volumen anual trasgado anual:	2.000.000 m3	2.000.000 m3	2.000.000 m3	2.000.000 m3	2.000.000 m3
Coste energía:	0,10 €/kWh	0,10 €/kWh	0,10 €/kWh	0,10 €/kWh	0,10 €/kWh
Coste mantenimiento:	500 €/año	500 €/año	700 €/año	500 €/año	500 €/año
Coste operación (energía):	36.268 €/año	29.280 €/año	27.612 €/año	28.320 €/año	27.846 €/año
Coste anual total (O&M):	36.768 €/año	29.780 €/año	28.312 €/año	28.820 €/año	28.346 €/año
Vida equipo	5,00 años	5,00 años	5,00 años	5,00 años	5,00 años
Tasa de descuento	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%	5,00%
Costes instalación					
Adquisición equipo:		8.445 €	14.807 €	8.034 €	8.620 €
Instalación equipo:		1.300 €	1.700 €	1.300 €	1.300 €
Configuración y puesta en marcha:		800 €	800 €	800 €	800 €
Total inversión inicial:		10.545 €	17.307 €	10.134 €	10.720 €
Datos económicos					
Ahorro anual:		6.988 €/año	8.456 €/año	7.948 €/año	8.422 €/año
Tiempo de retorno simple:		1,51	2,05	1,28	1,27
Estudio financiero. 5% anual. Vida útil = 5 años					
VAN		19.710 €	19.303 €	24.277 €	24.142 €
TIR		59,94%	39,66%	73,43%	70,89%
Costes (acumulado)					
Año 0	0 €	10.545 €	17.307 €	10.134 €	10.720 €
Año 1	36.768 €	40.325 €	45.619 €	38.954 €	39.066 €
Año 2	73.536 €	70.105 €	73.931 €	67.774 €	67.412 €
Año 3	110.304 €	99.885 €	102.243 €	96.594 €	95.758 €
Año 4	147.072 €	129.665 €	130.555 €	125.414 €	124.104 €
Año 5	183.840 €	159.445 €	158.867 €	154.234 €	152.450 €
Coste ciclo de vida (según naturaleza)					
Inversión inicial	0 €	10.545 €	17.307 €	10.134 €	10.720 €
Mantenimiento	2.500 €	2.500 €	3.500 €	2.500 €	2.500 €
Operación (costes energéticos)	181.340 €	146.400 €	138.060 €	141.600 €	139.230 €

DISCUSIÓN

Con la exposición realizada se observa claramente que el proceso de selección de equipos de bombeo no es nada trivial y se puede convertir en una tarea bastante compleja, pues son muchos los factores que intervienen. En este caso concreto, inicialmente se dispone de un equipo que funciona correctamente, si bien los rendimientos actuales son significativamente mejorables. Para la elección del equipo de bombeo es necesario hacer un primer filtro inicial, que de hacerlo de manera analítica sería un trabajo excesivamente largo. Para facilitar este trabajo se recurren a herramientas visuales, que rápidamente ayudan a filtrar y desechar opciones.

Una vez realizada esta criba inicial ya se puede empezar a cuantificar las distintas opciones, analizando los costes de operación de los distintos escenarios energéticos elegidos.

Esta parte de simulación de escenarios es crucial, pues los costes de operación son los que mayor peso tienen en el coste del ciclo de vida.

CONCLUSIONES

- El primer paso del procedimiento explicado, filtro mediante herramientas de visualización, toma tantas alternativas como ofrezca el mercado, sintetiza sus principales parámetros (curva característica de bomba, curva de rendimiento, etc.) y permite al técnico responsable desechar aquellas opciones que no constituyen un escenario energético, económico y medioambiental aceptable. Siendo así, se consigue un nuevo camino que permite tener en cuenta todas las opciones disponibles en el momento del estudio y decidir con seguridad cuáles son menos viables bajo criterios claros.
- El segundo paso, modelo matemático basado en el cálculo coste del ciclo de vida, permite la cuantificación de cada opción. En consecuencia, se hace posible la comparación entre las alternativas que superan el primer filtro se crea el soporte necesario para la toma de decisión final.
- El input principal del procedimiento presentado es el histórico de datos de la instalación existente. De esta forma, tener una serie histórica fiable se traduce en una mayor precisión en cálculo de coste del ciclo de vida de las alternativas
- Los sistemas de telegestión permiten supervisar y almacenar la información de la instalación a estudiar. Siendo así, se convierten en herramientas de obtención y mantenimiento de las series de datos históricas necesarias para realizar este tipo de estudios.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Grupo Global Omnium-Aguas de Valencia su afán por apoyar las iniciativas relacionadas con la investigación en el campo del agua y de la energía, marco donde se ubica la presente publicación. Especial agradecimiento al Área de Operaciones de Aguas Potables por su colaboración prestando las instalaciones en las que se han realizado los ensayos.

REFERENCIAS

- Gómez, P., García-Serra, J., Soriano, J., Giner, C. 2015. Procedimiento para la selección de la estrategia de regulación más adecuada en estaciones de bombeo. *Jornadas de Ingeniería del Agua, octubre 21-22, Córdoba, España, 1191-1202.*
- Giner, C., Gómez, P., Sanz, F., García-Serra, J., Soriano, J. 2015. Auditoría Energética de estaciones de bombeo. Caso de Estudio. *Jornadas de Ingeniería del Agua, octubre 21-22, Córdoba, España, 641-654.*