Operación inteligente y ahorro energético en redes en alta. Caso práctico del CAT

Las redes de distribución de agua en alta presentan peculiaridades en su gestión energética. En aquellos casos donde la fracción bombeada es mayoritaria, los costes energéticos son críticos. Los aumentos continuados en los precios de las tarifas eléctricas han obligado a implementar medidas de ahorro energético a todos los niveles. Para conseguir importantes ahorros, deben conjugarse inversiones en capacidad de almacenamiento, modularidad en los bombeos y automatización de los procesos. Un ejemplo de cómo aplicar estos tres factores para lograr el ahorro energético deseado es el Proyecto SAOOEC, o Sistema Automático de Operación y Optimización Energética del Consorci d'Aigües de Tarragona (CAT). El proyecto ha supuesto un cambio general en la planificación y gestión de la producción y distribución del agua. Con él, el CAT ha conseguido ahorrar 1,5 millones de € en su factura eléctrica, logrando rentabilizar la inversión realizada en solo tres años.

Palabras clave
Ahorro energético, tarifas eléctricas, red de agua en alta, automatización, eficiencia energética.

SMART OPERATION AND ENERGY EFFICIENCY IN MAIN WATER DISTRIBUTION NETWORKS. THE CASE OF CAT

Energy management can be challenging in main water distribution networks. In those cases where water is mainly pumped, energy costs can be critical. The continuous raise of electrical tariffs has forced utilities to implement energy saving plans at all levels. In order to achieve important savings, investments must be directed to increase water storage, pump modularity and system automation. An example of how to link these three factors to achieve the desired savings is the SAOOEC Project – CAT Automated Operation and Energy Optimization System. The project has changed the overall planning and management of water treatment and distribution. And the Consorci d'Aigües de Tarragona (CAT) has saved up to 1.5 M€ in electrical bills, reaching a three year pay-back of the investment.

Keywords
Energy savings, electrical tariffs, main water distribution network, automation, energy efficiency.

Andreu Fargas Marquès
jefe del Departamento de Mantenimiento del Consorci d'Aigües de Tarragona (CAT)

1. INTRODUCCIÓN

El Consorci d'Aigües de Tarragona (CAT) fue creado el 2 de abril de 1985 a partir de la Ley 18/81 de 1981, de actuaciones en materia de aguas en las comarcas de Tarragona. El CAT dispone de una concesión máxima de 4 m³/s, a captar de los caudales del rio Ebro a la altura de Campredó (Tortosa), para uso urbano e industrial en la provincia de Tarragona. El 29 de julio de 1989 se inició el suministro a 21 ayuntamientos y 18 industrias. Actualmente, el CAT está formado por 63 ayuntamientos y 26 industrias.

Para abastecer a los consorciados se dispone en la actualidad de 400 km de tuberías, 23 bombeos y 97 llegadas a depósito. La concesión media actual es de 3,18 m³/s, equivalente a 100,3 Hm³ anuales, con una concesión punta en verano de 3,856 m³/s y una mínima en invierno de 2,827m³/s. La red del CAT abastece al 85% de la población de la provincia y 36% de su territorio, equivalente a una población entre 800.000 y 1.500.000 personas (**Figura 1**).

Toda el agua distribuida por el CAT es bombeada. El agua distribuida anualmente por el CAT está en torno a los 70 Hm³, como puede observarse en la **Figura 2**. Para distribuir esta agua, los consumos energéticos alcanzan una media de 58 GWh anuales.

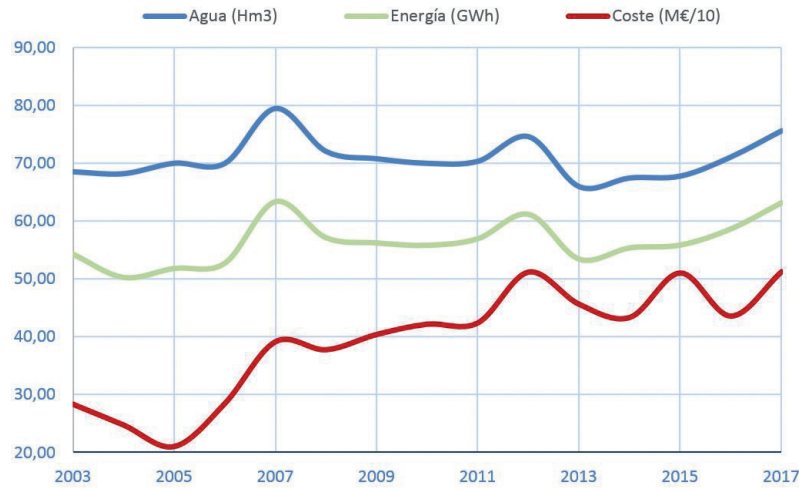
Desde sus inicios, el CAT siempre se ha fijado como objetivo la eficiencia en la gestión energética. El control de consumos es mensual, con validación y seguimiento de facturación. Este seguimiento ha supuesto acciones de optimización y mejora de potencias contratadas, y maximización del factor de potencia.

También se han realizado inversiones en ampliación de volumen de almacenamiento y modulación de bombeos. Entre los años 2007 y 2016 se han incorporado nueve depósitos reguladores nuevos a la red del CAT. Esta inversión ha supuesto incrementar en más de 400.000 m³ el agua almacenada, llegando a los 580.000 m³, pudiéndose utilizar para optimizar los bombeos. En paralelo, se han realizado actuaciones de mejora en las tres estaciones de bombeo principales para aumentar la modulación, y mejoras puntuales en el resto de bombeos. Todo ello supone inversiones superiores a 40 millones de €.

Todos los esfuerzos realizados no fueron suficientes para controlar el aumento de los costes energéticos. La factura eléctrica se duplicó entre 2005 y 2012 pasando de 2 millones de € a 5 millones, debido a los cambios en el sistema de tarifas eléctricas español, como puede observarse en **Figura 2**. Este incremento planteó en 2012 la necesidad urgente de revisar la estrategia del CAT para reducir los costes energéticos.

FIGURA 1. Red del Consorci d'Aigües de Tarragona (CAT).

FIGURA 2. Evolución del consumo energético anual.



2. POTENCIAL DE AHORRO

El coste energético supone un 29% de los costes de operación del CAT. Esto se debe al diseño inicial de la red. El CAT capta el agua casi en la

desembocadura del rio Ebro, lo que imposibilita aprovechar gradientes de energía potencial. Según esta premisa, el coste energético depende de dos variables:

- Las bombas utilizadas.
- El precio que se paga por la energía.

Como se ha indicado, no se puede prescindir de las bombas, pues toda el agua del CAT es impulsada mediante bombeo. Puede trabajarse en optimizar el punto de trabajo de las mismas o sustituir las menos eficientes, pero no se puede eliminar su consumo.

Esto supone que el principal potencial de ahorro proviene de la gestión de las tarifas eléctricas. Para validar esta aproximación, se pusieron en marcha dos estudios con el objetivo de fijar el potencial de ahorro real existente en la red del CAT.

2.1. CAMBIO DE TARIFAS

Para empezar, se analizaron las tarifas existentes en el mercado, con el objetivo de seleccionar aquella que pudiera suponer un ahorro más elevado.

El análisis tuvo dos etapas. En un primer paso, se realizaron contactos con otros operadores del sector para conocer experiencias similares. De estos contactos se identificaron las tarifas indexadas al mercado como aquellas más beneficiosas. En un segundo paso, se validó con un estudio por parte de una consultoría energética qué modo de contratación era el más adecuado. Finalmente se optó por contratar una tarifa totalmente indexada al mercado, con precios horarios a un día vista (tipo *pass-through*).

El cambio de gestión que suponen estas tarifas requiere un tiempo de aprendizaje. Por este motivo se diseñó una prueba piloto en un solo bombeo. La estación de bombeo elegida fue la de la captación, por ser un bombeo importante pero fácilmente controlable. Este bombeo representa el 35% del consumo de energía.

TABLA 1

AHORROS OBTENIDOS EN LA PRUEBA PILOTO.

	Ahorro tarifas
Ahorro EB-0-2013	18,81%

La prueba piloto duró todo el año 2013, y se obtuvieron unos ahorros en costes energéticos del 18,81% (**Tabla 1**). Durante ese año, un técnico se encargaba diariamente de descargarse las tarifas diarias y planificar el perfil de bombeo según la demanda.

La experiencia fue tan positiva que durante el 2014 se migraron ocho bombeos más a tarifas indexadas, y desde el 2015 todos los bombeos ya funcionan con tarifas indexadas.

2.2. SISTEMA DE GESTIÓN AUTOMÁTICO

El problema de las tarifas indexadas es la gestión horaria que debe realizarse. Esto supone un cambio en los sistemas de planificación para poder aprovechar el potencial de ahorro de las nuevas tarifas.

Sin una buena gestión, las tarifas indexadas pueden generar sobrecostes en lugar de ahorros. Esto suponía un reto si se quería implantar en todos los bombeos.

En la prueba piloto, el control de la planificación se realizó por parte de un técnico. Este enfoque no era extrapolable con seguridad si debía extenderse a 23 bombeos.

Se analizaron las posibilidades existentes en el mercado, detectando enfoques con diferentes grados de automatización. Desde soluciones implementadas en autómatas locales, pasando por simuladores de ayuda a la decisión y finalizando en una gestión totalmente automatizada. De las posibles soluciones se eligió la totalmente automatizada, por ser la que cumplía con las necesidades del CAT.

Para validar su posible implantación en el CAT se realizó una visita técnica a Northumbrian Water (Inglaterra), donde tenían en funcionamiento una aplicación de gestión automática. La visita confirmó que la herramienta podía ser aplicada al CAT. Según esta herramienta, se realizó un estudio de los posibles ahorros que se podrían obtener en el CAT.

El resultado del estudio de viabilidad confirmó que la gestión automática de los bombeos podía permitir utilizar tarifas indexadas con seguridad y garantizar ahorros del 15% en los costes energéticos. Estos ahorros, según la **Tabla 2**, pueden separarse en tres factores distintos:

TABLA 2

AHORROS PREVISTOS CON UN SISTEMA DE GESTIÓN AUTOMÁTICA

	Ahorro estimado
Eficiencia hidráulica de bombeo	2,44%
Movimiento carga energética (kWh)	6,87%
Tarifa eléctrica horaria (€)	5,69%
Total	**15,00%**

» El Proyecto SAOOEC permite culminar el proceso de mejora en la gestión de la producción y distribución del agua del CAT. Este proyecto aprovecha las inversiones realizadas en mejoras de depósitos y conducciones, las mejoras en automatización y optimización de instalaciones y las utiliza para realizar una gestión global del sistema

- Ahorros en eficiencia de las bombas, al poder garantizar que funcionan siempre en su punto óptimo.
- Ahorros por movimiento de carga energética al periodo horario con tarifas más económicas.
- Ahorros por poder usar tarifas indexadas que son más económicas que las tarifas fijas.

3. PROYECTO SAOOEC

Los resultados de los estudios de potencial de ahorro supusieron la base para articular el ambicioso proyecto de automatizar toda la gestión de distribución del CAT. Este proyecto se bautizó como Sistema Automático de Operación con Optimización Energética del CAT (SAOOEC).

El Proyecto SAOOEC permite culminar el proceso de mejora en la gestión de la producción y distribución del agua del CAT. Este proyecto aprovecha las inversiones realizadas en mejoras de depósitos y conducciones, las mejoras en automatización y optimización de instalaciones y las utiliza para realizar una gestión global del sistema CAT.

3.1 OBJETIVOS

El Proyecto SAOOEC busca alcanzar los siguientes objetivos:

- Obtener una reducción importante en el coste energético, al permitir alcanzar el coste energético más bajo posible.
- Poder implantar la tarifa horaria de forma segura, pues es la tarifa actual más económica.
- Optimizar energéticamente la operación de los bombeos, realizando tareas de optimización que un operador no puede realizar manualmente.
- Estandarizar y aumentar la consistencia de la operación, al eliminar el efecto de cambio de operador.
- Liderar el cambio de paradigma de la operación en el sector del agua, con la primera implantación en España de un gestor automatizado.

3.2 FUNCIONALIDADES

Para alcanzar estos objetivos, se han implementado las siguientes funcionalidades en el sistema de gestión:

- Planificación de la operación de la ETAP, bombeos y válvulas para las siguientes 48 horas para minimizar el coste.
- Cálculo de la planificación teniendo en cuenta la distribución de agua a los clientes como máxima prioridad.
- Minimización de los costes en energía como objetivo principal.
- Maximización de la eficiencia energética de las bombas.
- Mejora la calidad del agua, renovando el agua de los depósitos grandes de forma automática.
- Lectura de los estados cada diez minutos y recálculo de la solución cada media hora, adaptándose así a condiciones cambiantes.
- Envío de las órdenes al sistema de control (SCADA) de manera automatizada, sin intervención del operador.
- Herramientas de simulación de escenarios y validación de actuaciones.

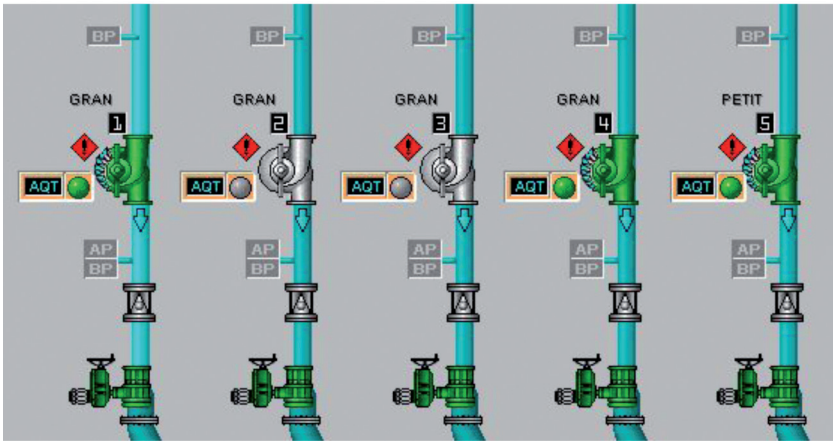
Esto supone que toda la red del Consorci d'Aigües de Tarragona queda bajo su control. Y garantiza que el CAT está preparado para afrontar posibles cambios futuros en las tarifas eléctricas.

3.3 FASES DE IMPLANTACIÓN

El proyecto se licitó con pública concurrencia en julio de 2013. De esta licitación, fueron adjudicatarios Adasa Sistemas, que aportaba como socio a la empresa Derceto con el programa de gestión hidráulica Aquadapt (actualmente Suez Aquadvance). Los trabajos de implantación del nuevo sistema de gestión empezaron en diciembre de 2013, y tuvieron las siguientes fases:

- Diciembre 2013-febrero 2014. Desarrollo de la fase de análisis de las necesidades específicas del CAT. Definición de las interfaces y parámetros de funcionamiento.
- Marzo 2014. Aprobación de las especificaciones de diseño del proyecto.
- Marzo-agosto 2014. Implementación de mejoras en el sistema de automatización por parte del CAT para integrarse con el sistema de gestión.
- Marzo-agosto 2014. Implementación del programa Aquadapt adaptándose a los requerimientos del SAOOEC. Modelado hidráulico y calibración.

FIGURA 3. Representación de los equipos en el SCADA con el modo AQT.



- Septiembre-octubre 2014. Puesta en marcha del sistema Aquadapt, instalación a instalación. Pruebas de validación de funcionamiento por sectores.
- Septiembre-octubre 2014. Formación a los operadores de sala de control. Formación teórica y práctica, con seguimiento de la puesta en marcha.
- Noviembre 2014. Puesta en servicio del sistema.

En la actualidad, el sistema SAOOEC lleva en funcionamiento más de tres años.

4. RESULTADOS

4.1 OPERACIÓN

El proyecto SAOOEC ha supuesto un rediseño global de cómo se gestiona la operación diaria del CAT. Estas transformaciones pueden observarse a distintos niveles, e implican un aprendizaje en su utilización en el día a día.

Se ha realizado una reformulación de la automatización de los distintos equipos que son controlados por el SAOOEC. Los grupos moto-bomba y las válvulas tienen nuevos modos de funcionamiento automático, AQT (llamado así por el programa Aquadapt). En la **Figura 3** puede observarse un bombeo. Cuando el indicador AQT está en verde, el equipo actúa, siguiendo la orden del sistema de gestión.

También se ha automatizado toda la captación y producción. En la actualidad, el agua captada del rio viene definida por el sistema SAOOEC, dependiendo de la demanda del sistema, la cual también fija los objetivos de producción diarios de la planta potabilizadora.

Con el nuevo sistema, el operador tiene una visión del sistema de distribución completo para las próximas 24 horas, lo que le permite cambiar su rol de ejecutor a planificador. Además, ante cualquier incidencia, existe la posibilidad de simular escenarios para evaluar el alcance de la incidencia.

Toda la información recopilada por el sistema genera informes de eficiencia de los bombeos y su evolución en el tiempo. Esta información es básica para planificar inversiones futuras o reconfigurar los modos de funcionamiento. También permite analizar si la bomba es correcta, o si su modo de funcionamiento es correcto, a partir del análisis de su funcionamiento respecto a su curva característica.

4.2 AHORRO ENERGÉTICO

El objetivo principal del proyecto era reducir el coste energético del metro cúbico de agua, lo que suponía alcanzar ahorros entorno del 15% anual, y recuperar valores del año 2011.

Durante el primer año de trabajo, 2015, no se alcanzó el objetivo. Esto fue debido a que el programa estaba en fase de pruebas y se realizaron muchas mejoras, especialmente en verano, para solucionar problemas de optimización detectados. El año 2015 también se vio afectado por precios del mercado eléctrico anormalmente elevados. Las tarifas eléctricas del mercado tuvieron costes superiores al

FIGURA 4. Evolución del ratio €/m³.

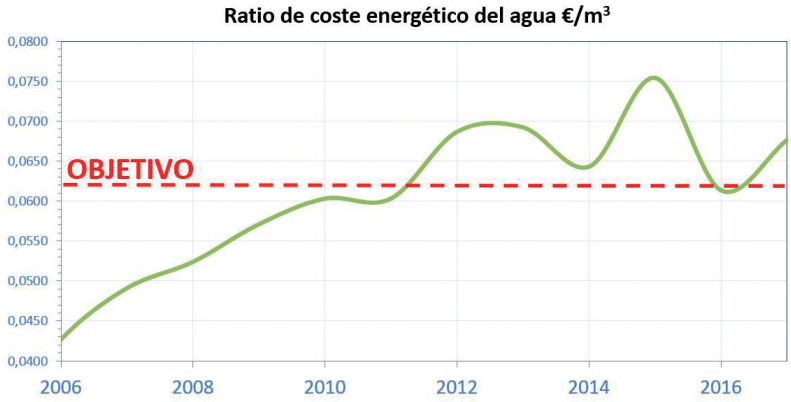


TABLA 3

RESUMEN DE AHORROS ALCANZADOS HASTA LA FECHA.

Año	Costes energéticos	Ahorros	% ahorro
2015	5.104.693,90 €	162.881,00 €	3,09%
2016	4.357.010,70 €	704.535,30 €	13,92%
2017	5.116.560,58 €	472.404,81 €	8,45%
2018 (hasta julio)	3.064.255,79 €	170.436,45 €	5,27%
Ahorro total		**1.510.257,57 €**	**7,89%**
Coste del proyecto		**1.080.000,00 €**	**-**

19% respecto al histórico. Esto llevó a cambiar el contrato eléctrico para agilizar la posibilidad de cierres de precios para los meses críticos.

Las mejoras en el programa y de las tarifas contratadas, permitieron durante el 2016 alcanzar valores próximos al 15%, reduciendo el coste energético del CAT a valores similares al año 2010-2011 (**Figura 4**).

Durante el año 2017, las tarifas eléctricas volvieron a ser muy elevadas, pero pudo mantenerse un buen nivel de ahorro (8%) gracias al cierre de precios en el mercado eléctrico de futuros.

El año en curso mantiene una evolución similar a 2017, con precios eléctricos incluso más elevados.

La ventaja de disponer del sistema SAOOEC es que permite adaptarse a los precios existentes, y conseguir el coste más bajo posible, con las tarifas disponibles.

La **Tabla 3** muestra los ahorros conseguidos durante el periodo de funcionamiento del sistema de gestión. Puede observarse que los ahorros alcanzados en tres años han superado el coste de la inversión realizada, y el sistema continúa generando ahorros a diario.

5. CONCLUSIONES

La implantación del proyecto SAOOEC ha sido un éxito, y la experiencia ha despertado mucho interés dentro del sector del agua. Por este motivo, el proyecto ha sido seleccionado como *case study* por parte de Suez Environnement, y los resultados se han presentado en múltiples conferencias (SWAN Barcelona 2018, AEAS Tarragona 2017, ACAA Barcelona 2017, SW Milán).

La puesta en marcha de un proyecto ambicioso como el SAOOEC supone un trabajo continuado para aprovechar sus capacidades y mejorar cómo se explota.

Desde su implantación, nuevos depósitos reguladores se han puesto en marcha y otros se han planificado, y durante 2018 se han puesto en funcionamiento nuevas bombas que se han escogido teniendo en cuenta los datos suministrados por el SAOOEC.

La distribución de agua en alta es un sistema dinámico, donde continuamente cambian las necesidades de los clientes. Esto obliga a disponer de un sistema como SAOOEC que permite una optimización continuada para adaptarse a estos cambios.

La interacción operador-SAOOEC es probablemente uno de los retos más complicados del proyecto. El cambio de rol no es fácil, y supone un esfuerzo por parte de todos para conseguir que la interacción sea fluida. Además, existe una fase de aprendizaje, dónde se deben asentar los conocimientos adquiridos.

Finalmente, el mercado eléctrico español sigue siendo muy volátil, y no está clara su evolución futura. Desde el CAT se está trabajando para optimizar la compra de energía a futuro, que permita garantizar costes eléctricos bajos y menos fluctuantes, con los que trabajar con seguridad a diario.

En definitiva, la implantación del proyecto SAOOEC ha finalizado, pero el proyecto sigue vigente. SAOOEC es la herramienta para la gestión diaria y el motor del cambio en eficiencia energética en el Consorci d'Aigües de Tarragona.

Bibliografía

[1] Fargas Marquès, A. (2017). Ahorro energético en redes de alta. Caso práctico del CAT. Libro de ponencias de las XXXIV Jornadas Técnicas AEAS Tarragona 2017, págs. 214-224.

[2] Fargas Marquès, A. (2018). Technology pays-back in the energy savings scenario. Presentación del 8th SWAN Annual Conference, Barcelona 2018.

» El objetivo principal del Proyecto SAOOEC era reducir el coste energético del metro cúbico de agua hasta alcanzar ahorros del 15% anual. En los casi 4 años de implantación, se ha logrado un ahorro medio aproximado del 8%, superando ya el coste de la inversión inicial realizada