

Optimización de plantas

Optimización online de plantas híbridas de desalinización

Goetz-D. Wolff, Stefan Lauxtermann, Ramesh Kumar



El rápido crecimiento de Oriente Medio ha puesto en evidencia la necesidad de infraestructuras básicas para, por ejemplo, los servicios de energía eléctrica y de agua. Las plantas híbridas de desalinización, muy flexibles, son muy importantes para la producción de electricidad y agua. Sin embargo, la necesidad de preservar los recursos –los precios de los combustibles siguen creciendo– hacen necesario optimizar al máximo dicha producción. El problema de la optimización está en las numerosas posibilidades operacionales que existen al planificar el funcionamiento a corto y largo plazo.

Este artículo describe un nuevo enfoque para optimizar económicamente las plantas de desalinización y producción de energía utilizando diversos paquetes de optimización on-line y off-line de ABB. La efectividad de este software queda clara por los excelentes resultados de su implementación en la planta de producción de agua y energía eléctrica de Fujairah (FWPP), en los Emiratos Arabes Unidos.

Las plantas de desalinización son fundamentales para la producción de energía eléctrica y agua en Oriente Medio, región con demanda dinámica y siempre en crecimiento. Se está construyendo un gran número de plantas híbridas de desalinización, debido a la gran flexibilidad de este tipo de planta para satisfacer diferentes niveles y combinaciones de producción. Sin embargo, estas plantas tienen una estructura compleja, especialmente si se considera que en una planta híbrida de desalinización se aplican al menos dos procesos de desalinización distintos. No obstante, esta estructura tiene grandes posibilidades de optimización.

Una planta híbrida de desalinización de este tipo está situada 20 km al norte de la ciudad de Fujairah, en el Golfo de Omán. La fuerte presión sobre los costes, consecuencia de la privatización, llevó a los operadores de Fujairah a buscar posibilidades de optimizar su producción, reduciendo los costes de la misma. En 2005, la planta de producción de agua y energía eléctrica de Fujairah (FWPP) instaló varios paquetes de optimización de la serie¹⁾ de aplicaciones OPTIMAX® de ABB.

A este sistema de supervisión y optimización del rendimiento le dedicamos los siguientes párrafos.

La planta de producción de agua y energía eléctrica de Fujairah (FWPP)

Para la generación de energía eléctrica, la planta consta de cuatro turbinas de gas (GT) General Electric 106 MW PG9171E con los correspondientes generadores de vapor de recuperación de

Nota

¹⁾ OPTIMAX® se describe con más detalle en la página 44 de este número de Revista ABB.

Redes eficientes energéticamente

calor (HRSGs) y dos turbinas de vapor (ST) Siemens NG90/90 119 MW **1**. La producción de agua se realiza con cinco destiladores de descarga continua de varias etapas (MSF, Multi-Stage Flash), cada uno con capacidad para 12,5 millones de galones diarios (MIGD), y una planta de ósmosis inversa (RO) de dos etapas con una capacidad de 37,5 MIGD. En total, la planta tiene una capacidad bruta de potencia de unos 660 MW y alcanza una producción de agua del orden de 100 MIGD a 46°C de temperatura ambiente. Los generadores HRSG suministran vapor de alta presión a un colector común. El vapor de baja presión usado por las unidades MSF se obtiene de las salidas de las turbinas de

vapor o del vapor de alta presión, después de disminuir su presión en una estación reductora.

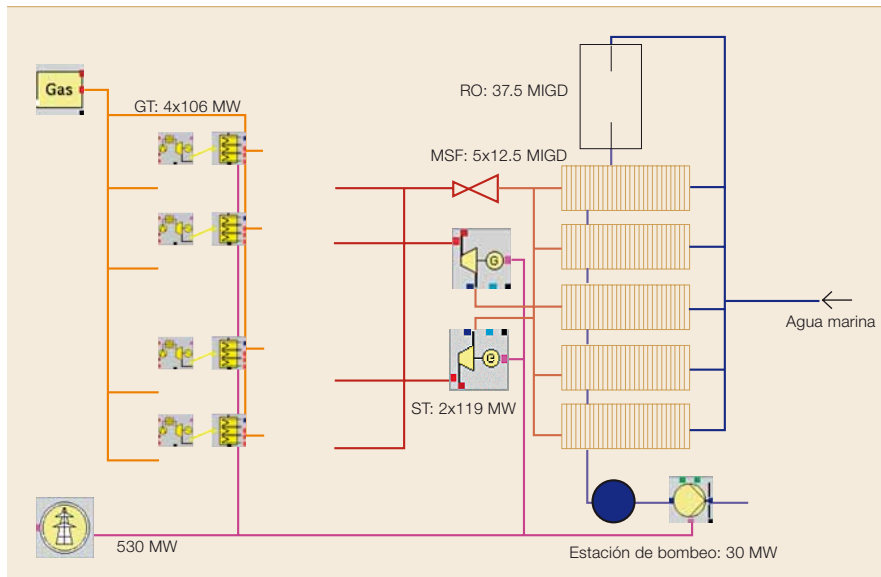
Áreas de optimización

De los costes de combustible, productos químicos, repuestos y mantenimiento de las unidades GT, ST, MSF y RO, los costes de combustible representan el 90% del total. Aparte los costes de capital, el combustible es con gran diferencia el mayor coste de una planta de energía y desalinización. Por consiguiente, la clave para reducir más los costes está en optimizar el consumo de combustible. Para ese único objetivo se han diseñado las herramientas siguientes:

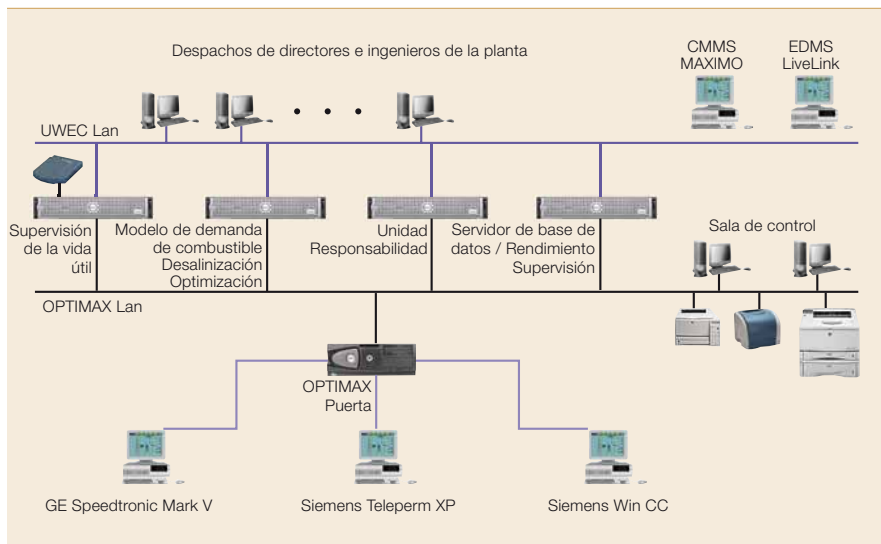
- *Programación de cargas*, para la planificación con antelación de varios días y para la optimización online
- *Optimización híbrida*, que hace posible la optimización y la planificación online
- *Optimización del proceso*, inclusive
 - Optimización MSF
 - Optimización RO
 - Optimización de ventiladores FD (reingeniería de parámetros de automatización)

Además de optimizar el consumo de combustible, estas herramientas permiten mejorar el mantenimiento y el flujo de tareas en el proceso global de trabajo.

1 Estructura de la planta de Fujairah



2 Estructura del sistema



Estructura del sistema

La estructura modular del sistema de optimización realizado en Fujairah se detalla en **2**. Los datos se recogen en tiempo real desde un Siemens Teleperm XP a través de un servidor OPC, un Siemens Win CC y un sistema GE Mark V. A continuación se almacenan en la base de datos de larga duración, Gestor de información sobre la generación de energía o PGIM (anteriormente *Plant-Connect*) de ABB, que más tarde servirá como fuente común de datos para todas las herramientas de optimización y otras aplicaciones. PGIM también es un sistema de gestión de información de plantas (PIMS) con una interfaz hombre-sistema (HIS) que permite al usuario ver gráficos, tendencias e informes. Indicadores del rendimiento como, por ejemplo, la eficiencia de las turbinas GT, se calculan con la herramienta integrada de software conocida como "Technical Calculation".

PowerCycle, también de ABB, es una herramienta basada en modelos, capaz de simular con precisión el comportamiento termodinámico de una planta en condiciones ambientales variables y bajo distintas condiciones de operación en régimen permanente. En Fujairah, el modelo PowerCycle se usa con varios fines:

- *Validación de datos*: Concilia mediciones online para evitar errores.
- *Optimización MSF*: Proporciona puntos óptimos de referencia del funcionamiento MSF para una carga dada.
- *Modelo de demanda de combustible*: PowerCycle se usa para calcular la demanda prevista de combustible de acuerdo con el diseño de la planta, la

cual se confirma con mediciones de rendimiento cuando la planta empieza a funcionar.

El sistema dispone de otras herramientas:

- **PowerFit**, que calcula calendarios óptimos. Este software se usa principalmente como herramienta de planificación con antelación de varios días.
- **BoilerLife**, que determina la caducidad del tiempo de vida de los principales componentes de las calderas.

Solución de optimización

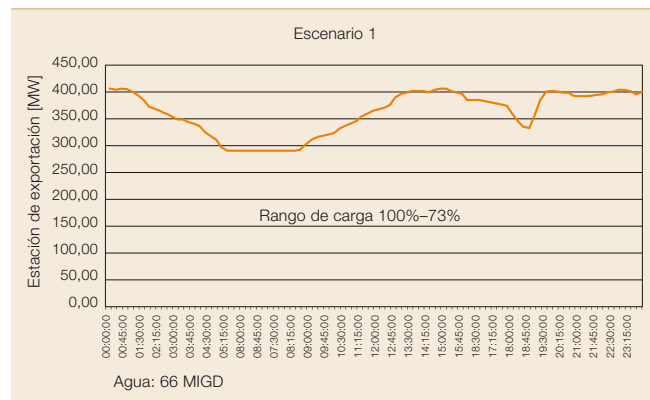
La solución de optimización realizada en Fujairah comprende los siguientes aspectos:

- Programación de cargas
- Optimización híbrida
- Optimización MSF
- Optimización del proceso
- Optimización del proceso de trabajo

Programación de cargas

Las cargas, que han de ser proporcionadas por las plantas de producción de agua y energía eléctrica, varían durante el día. Esto es especialmente acusado en regiones con grandes variaciones de humedad y temperatura, que afectan a la carga. En 3 se presenta la curva de la carga eléctrica diaria de la planta FWPP; el ejemplo indica que la planta opera entre el 50 y el 80% de su capacidad neta total. No obstante, se considera normal una variación de un 20%. Una variación de la carga de más de 150 MW equivale a aproximadamente 1,5 veces

3 Curva de la carga eléctrica diaria para la planta de producción de agua y energía eléctrica de Fujairah (FWPP)



la capacidad máxima de una turbina de gas.

La demanda diaria de agua está estipulada para la planta. Hay un margen de flexibilidad adicional para la producción de la planta si se tiene en cuenta la capacidad de almacenaje de los depósitos de agua potable.

El objetivo del sistema de programación de la carga es encontrar la óptima combinación de los componentes de la planta que satisfagan los requisitos particulares de producción de energía eléctrica y agua. En otras palabras, sobre la base de las demandas realizadas por los despachos de carga, la estructura de la planta, los precios del combustible, los costes variables de mantenimiento, los costes de los productos químicos, las condiciones ambientales y los modos de operación, se realizan cálculos del rendimiento de la planta en conjunto y de las diversas unidades individuales. El resultado final es un modelo propuesto de operación de la planta, de óptimo coste,

basado en una combinación particular de unidades GT, ST, RO y MSF. En realidad, las principales ventajas de la optimización se consiguen por cuatro vías:

- Determinando la mejor combinación entre producción GT y ST
- Determinando la mejor combinación entre producción ST y desvío de flujo de vapor
- Determinando la mejor combinación entre producción MSF y RO
- Utilizando las posibilidades de almacenaje de agua

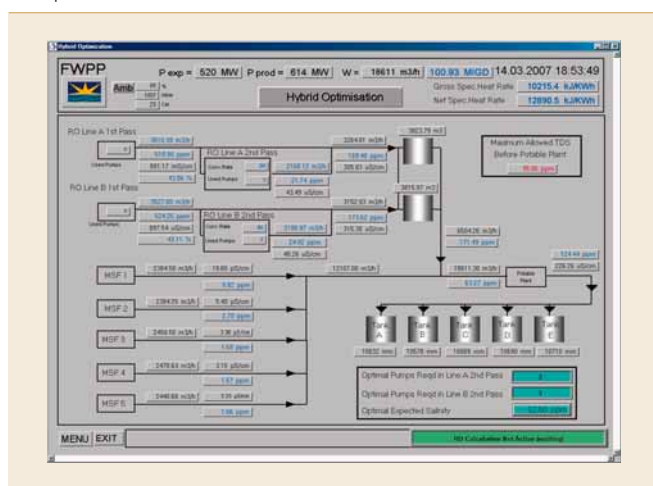
Unas combinaciones adecuadas permiten que la optimización de la planta sea válida durante uno o varios días. El paquete de software de optimización comprende cuatro secciones:

- Una interfaz gráfica de usuario (GUI)
- Un núcleo que coordina la interfaz GUI, el optimizador y la base de datos.
- Un optimizador (CPLEX), cuya tarea es encontrar el mínimo coste global. Para ello utiliza el método de programación lineal de números enteros mixtos.
- Una base de datos Oracle para almacenar todas las configuraciones y resultados

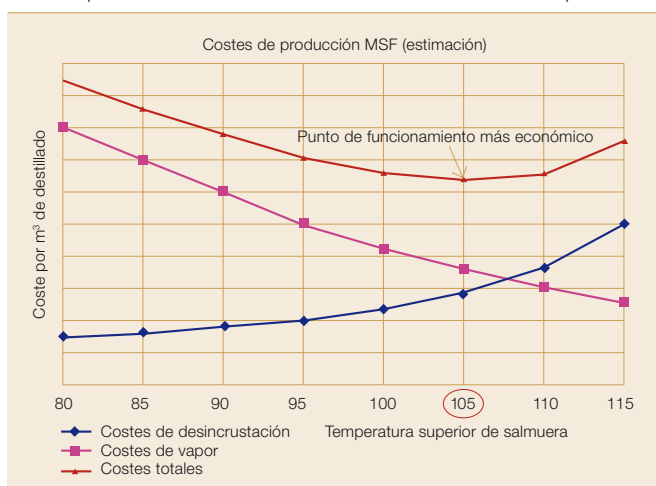
Los calendarios para todo el equipo principal se presentan en forma de tablas o gráficos.

En la planta de Fujairah se ha demostrado –utilizando cargas y condiciones de prueba específicas– que con este software de optimización se puede ahorrar en promedio 2,7% de los costes de

4 Optimización híbrida



5 Principio del coste mínimo de destilación MSF en varias etapas



Redes eficientes energéticamente

combustible. Los mayores ahorros se obtienen en modos de operación de baja carga, cuyo potencial de ahorro podría llegar o superar el 6 %.

Optimización híbrida

La planta de producción de agua de Fujairah es de naturaleza híbrida, ya que el agua es producida por unidades MSF y RO. El agua potable producida ha de tener una calidad definida. Sin embargo, las calidades del agua de ambos procesos son diferentes: las unidades MSF producen agua casi desmineralizada y el agua producida por las unidades RO es de buena alta calidad. Por consiguiente, la mezcla de agua potable procedente de los dos procesos aún ha de ser mineralizada en la planta de agua potable para satisfacer los niveles óptimos de mineralización estipulados por las autoridades sanitarias.

La planta RO de Fujairah es una moderna instalación construida por Degremont²⁾. Consta de dos líneas con dos pasos cada una. La salinidad a la salida del primer paso está en el rango de 500 ppm, a la salida del segundo paso está en torno a 15 ppm. Parte del agua se desvía del segundo paso y se mezcla a la salida. El agua producida por la planta RO antes de la optimización alcanza una salinidad del orden de 80–100 ppm.

El objetivo de la optimización es determinar el número mínimo de bastidores³⁾ del segundo recorrido que son necesarios para que el agua de la planta total alcance la calidad garantizada. Para ello hay que reducir varios factores:

- El consumo eléctrico de las bombas de los racks del segundo recorrido en 0,5 MW por bomba
- Los costes de mantenimiento de los bastidores del segundo recorrido
- Los costes de los productos químicos de la planta de agua potable

Además, reducir el número de bastidores que operan en el segundo paso aumenta la producción de agua de la planta RO, ya que cada segundo paso rechaza aproximadamente el 10% del agua. La imagen de pantalla mostrada en 4 se usa para la optimización híbrida online.

En este ejemplo de producción se dejan fuera de servicio dos bastidores del segundo paso, en comparación con el procedimiento estándar de utilizar un bastidor del segundo paso por cada dos del primero en funcionamiento (relación 1:2). Además se proporciona una herramienta off-line para modelar diferentes escenarios. La optimización híbrida genera un ahorro en la planta de Fujairah equivalente al 0,6% de los costes totales de combustible.

Optimización MSF

Los principales costes operacionales de la planta MSF se deben a la entrada de energía mediante vapor, a los aditivos químicos y a la energía eléctrica consumida por el equipo de la planta. El trabajo del optimizador MSF consiste en minimizar la suma de estos costes calculando otros valores de referencia que mantengan constante la producción de agua. En 5 se muestra una curva de costes típica con valores variables de la máxima temperatura de la salmuera (TBT, Top Brine Temperature).

Los costes del vapor por m³ de destilado disminuyen al aumentar TBT, ya que el índice de rendimiento (PR) aumenta si la producción de agua se ha de mantener constante. Los costes químicos (por ejemplo, de desincrustación) por m³ de destilado aumentan al crecer TBT, debido al mayor grado de incrustación a temperaturas más altas. El optimizador calcula valores optimizados para los parámetros siguientes, ya que para una carga dada se pueden utilizar distintas combinaciones de estos parámetros:

- Máxima temperatura de salmuera (TBT)
- Caudal de reciclaje de salmuera
- Temperatura de rechazo de agua del mar (sólo en invierno)
- Caudal de rechazo de agua del mar
- Caudal de relleno

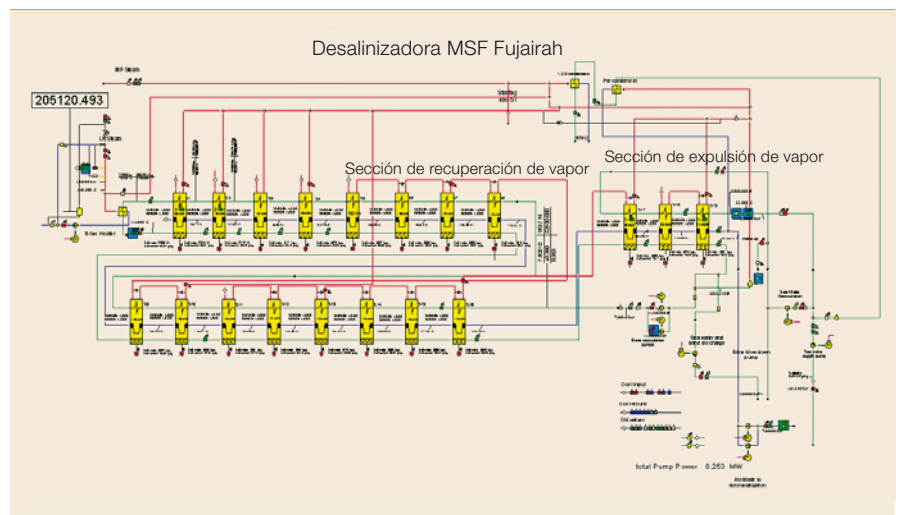
Además se utiliza un paquete de simulación del proceso capaz de modelar unidades MSF hasta el nivel de etapa. Se ha configurado un modelo de la línea MSF 6 combinando valores de referencia optimizados, calculados para los parámetros mencionados más arriba, con otros componentes como un calentador de salmuera y las bombas. Los valores de referencia determinados por el paquete de optimización son usados por los operadores para el control MSF.

La planta dispone de una herramienta de optimización on-line y de otra off-line. La herramienta online calcula ajustes optimizados cada 10 minutos para una producción determinada de agua destilada, mientras que la herramienta off-line se usa para la planificación. El uso de la herramienta de optimización MSF bajo diversas condiciones de operación ha ahorrado hasta el 1,78% de los costes totales de producción MSF.

Optimización del proceso

Para poder detectar cualquier pérdida inusual de eficiencia es esencial supervisar el funcionamiento de las diferentes áreas de la planta 7. Las secciones siguientes describen en principio el

6 Modelo de destilación de varias etapas MSF (Multi Stage Flash)

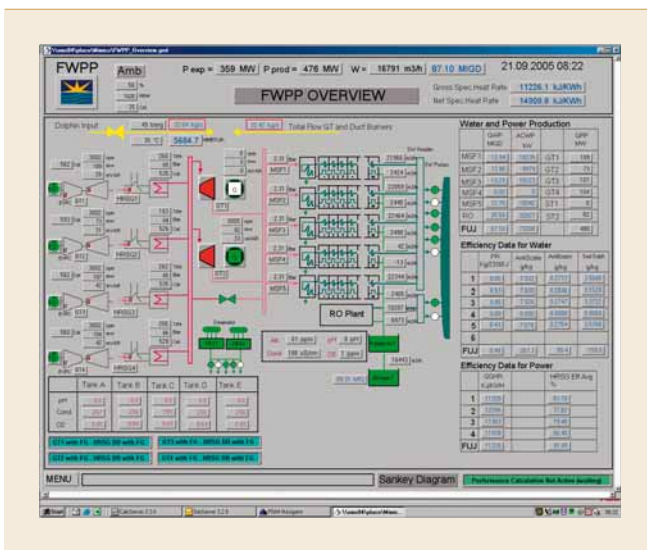


Notas

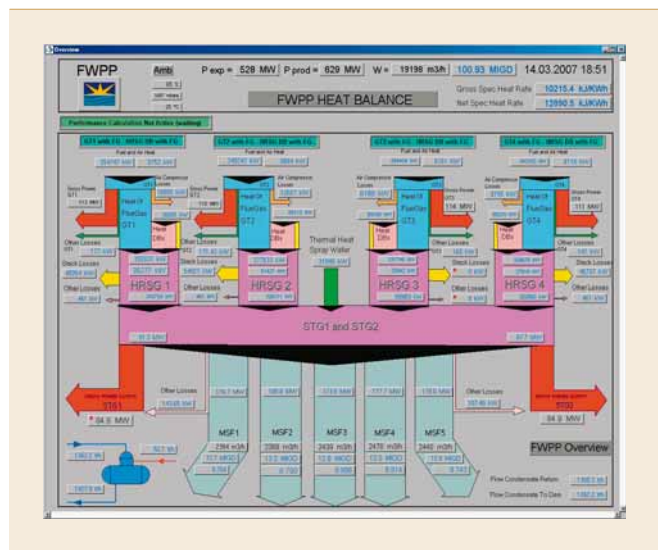
²⁾ <http://www.degremont.ca> (marzo de 2007)

³⁾ Un bastidor es un grupo de membranas empleadas para la desalinización RO (cubículo) que se pueden conectar y desconectar por separado.

7 Vista general del proceso de la planta FWPP



8 Diagrama de balance térmico con flujos caloríficos calculados



cálculo del rendimiento y presentan un caso en el que se detectaron parámetros no acordes con los del diseño.

En la planta FWPP se realizan cálculos de rendimiento para todos los equipos principales, por ejemplo los equipos GT, HRSG y ST, las bombas de agua de alimentación, la planta de desalinización MSF, las bombas de toma de agua marina, la planta de desalinización RO y las bombas HP. La imagen de pantalla y las tendencias respectivas **8** son usadas por los operadores e ingenieros para analizar el rendimiento de la planta en conjunto y de las distintas secciones de la misma. Las comparaciones entre rendimientos previstos y reales considerando diversos identificadores de supervisión hacen que el análisis sea más sencillo y eficaz. Sin embargo, en un caso concreto se detectó bajo rendimiento del generador HRSG cuando se usaba el Sistema de supervisión y optimización del rendimiento. La investigación del caso reveló que el problema se encontraba en el ventilador FD. Para ser más precisos, el ventilador FD sólo se pone en marcha cuando la temperatura media del gas de combustión, a continuación de los quemadores del conducto, supera un valor de referencia, específico del control. En la planta FWPP, este valor se estableció en 800°C. Sin embargo, los criterios de diseño determinaron un valor necesario de 840°C; la diferencia de 40°C se tradujo en una pérdida de eficiencia de la caldera del 1,7% durante el funcionamiento del ventilador FD.

Además, los ventiladores nunca se paraban una vez puestos en marcha, pues se consideró que el menor valor de la temperatura de referencia de 700°C era demasiado bajo (la temperatura raramente baja de este valor). Tras la implantación del paquete de software se adaptó la práctica operativa; desde entonces, la eficiencia ha sido mayor.

Optimización del proceso de trabajo

Además del proceso y la operación, también es posible optimizar y mejorar otras fases del proceso de trabajo:

- La *creación automática de registros cronológicos e informes*, lo que ahorra tiempo de trabajo y evita errores de entradas manuales
- El *intercambio automático de datos con otros sistemas*, por ejemplo, el sistema informatizado de gestión del mantenimiento (CMMS)

En Fujairah se han automatizado más de 100 registros e informes, lo que ha permitido ahorrar en torno a 18 horas de trabajo cada día. ABB desarrolla herramientas de fácil uso para configurar diferentes tipos de informes utilizando la aplicación Microsoft Excel en el sistema.

Conclusiones

La acreditada instalación de un sistema de supervisión y optimización del rendimiento en la planta de producción de agua y energía eléctrica de Fujairah resume la efectividad de las modernas técnicas de optimización en centrales eléctricas. En realidad, la mayoría de las

técnicas de optimización descritas se pueden usar también en plantas de energía eléctrica y desalinización con estructura no híbrida.

En conjunto, en Fujairah se ahorra más del 4 % del consumo total de combustible, además de las reducciones de consumo debidas a la optimización del proceso de trabajo. Los beneficios son clara expresión del potencial de otras plantas, sean híbridas o no.

Goetz-D. Wolff

Stefan Lauxtermann

ABB AG, Minden

Alemania

goetz.d.wolff@de.abb.com

stefan.lauxtermann@de.abb.com

Ramesh Kumar

ABB AG, Abu Dhabi

Emiratos Árabes Unidos

ramesh.kumar@uae.abb.com

Para seguir leyendo

- [1] Ludwig Heinz, Stummeyer Karen, FICHTNER, Potabilisation – Nachbehandlung von Destillat und Permeat aus Meerwasserentsalzungsanlagen, May 2004
- [2] Glade Heike, Meyer Jan-Heige, Will Stefan, Strategies for optimization of the Reverse Osmosis Plant in Fujairah, June 2005
- [3] Water Quality Regulation of UAE, Revision 2, January 2004
- [4] On technical and market aspects of water desalination, Nils Huesgen, December 2002