



Reutilización sostenible de las purgas de las torres de refrigeración: caso práctico

J. Aumatell Colom, N. Adroer Martori, A. Pascual Escó, P. Infante Romero y D. Gutiérrez Estepa

ADQUÍMICA S.A

El presente estudio analiza la implementación de dos plantas de ósmosis inversa para reutilizar las purgas de torres de refrigeración en una zona de estrés hídrico. La solución, combinada con el tratamiento sostenible AdicGreen y la monitorización ADICONTROL®, redujo la captación de agua un 31 % y el vertido un 94 %.

PALABRAS CLAVE: Torre de Refrigeración; Reutilización del Agua; Anticorrosivo; Antiincrustante; ADICONTROL®; Legionella; Tratamiento Sostenible.

This study analyzes the implementation of two reverse osmosis plants to reuse cooling tower blowdown in a water-stressed area. The solution, combined with the sustainable treatment AdicGreen and ADICONTROL® monitoring, reduced water intake by 31 % and discharge by 94 %.

KEYWORDS: Cooling Tower; Water Reuse; Anticorrosive; Antiscalant; ADICONTROL®; Legionella; Sustainable Treatment.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, la escasez del recurso agua supone una amenaza para el crecimiento económico, la seguridad hídrica y la salud de los ecosistemas. La industria consume grandes cantidades de agua y produce cantidades significativas de aguas residuales. Si estas aguas residuales no se tratan adecuadamente, su vertido provoca la contaminación del medio, afectando negativamente a los ecosistemas acuáticos y a la salud pública.

El presente estudio expone un caso real de la implementación de una solución personalizada y sostenible de reutilización de las purgas de las torres de refrigeración. La empresa capta elevadas cantidades de agua, lo que generaba el vertido de volúmenes significativos de agua con alta salinidad. La empresa se ubica en una zona geográfica interior que sufre estrés hídrico debido a la sequía y no puede abastecerse con agua proveniente de la desalación de agua de mar.

El agua que consume la empresa proviene de pozos y de un arroyo cercano. El incremento de la explotación de los recursos hídricos debido al aumento de la demanda, los problemas derivados del cambio climático como las sequías, el aumento de la salinidad y del contenido en materia orgánica de las aguas, la contaminación de los medios acuáticos, la normativa más estricta y el incremento del precio del agua, han hecho que la reutilización del agua en la empresa se convierta en una necesidad para garantizar su producción y asegurar un aporte alternativo constante de agua.

El sistema de refrigeración de la empresa es responsable de una gran parte del consumo de agua. En las torres de refrigeración se repone el agua que se pierde por evaporación, arrastres y purga. La reutilización de esta purga representa una fuente alternativa de agua. En este contexto, el objetivo del proyecto implementado fue aplicar un plan de gestión integrado del agua reutilizando el agua de purga de las torres de refrigeración para alimentar las mismas torres de refrigeración, lo que constituye un caso de recirculación interna, dentro de la propia industria de acuerdo con el Real Decreto 1085/2024, de 22 de octubre [1].

Para alcanzar este objetivo se instalaron dos plantas de ósmosis inversa. Puesto que las propiedades del agua de la purga de las torres de refrigeración dependen de la calidad del agua de aporte y del número de ciclos de concentración, los cuales incrementan la salinidad y las especies incrustantes, la tecnología de membranas resultó la mejor opción para la reutilización de las purgas. La ósmosis inversa es eficaz en el rango de salinidad de la purga, y consigue una elevada tasa de recuperación y un agua permeada de alta calidad.

Se diseñó e implementó un tratamiento químico preventivo y sostenible para las torres de refrigeración, adaptado a la composición del agua. Este tratamiento consiste en la dosificación conjunta de aditivos antiin-

crustantes, anticorrosivos y biocidas. El tratamiento antiincrustante y anticorrosivo se realizó a partir de un producto combinado respetuoso con el medioambiente, biodegradable, no tóxico, y totalmente compatible con el tratamiento biocida aplicado para prevenir la contaminación microbiológica y la proliferación de Legionella.

La aplicación de este tratamiento permite optimizar el rendimiento del sistema con el mínimo impacto ambiental. Al mantener la transferencia térmica en sus valores nominales y evitar la corrosión, las incrustaciones y el desarrollo microbiológico, se logra prolongar la vida útil de los materiales y equipos de los circuitos de refrigeración.

Asimismo, las torres de refrigeración son instalaciones de riesgo frente a la Legionella, tal y como están descritas en el Anexo I de la normativa vigente Real Decreto 487/2022, de 21 de junio [2]. Según esta normativa, en este tipo de instalaciones se debe implementar un Plan de Prevención y Control de Legionella (PPCL) que incluya un diagnóstico inicial, los distintos programas de mantenimiento y revisión: programa de tratamiento de la calidad del agua, programación de las limpiezas y desinfecciones, programación de los muestreos periódicos, programa de formación del personal y toda la documentación y registros asociados al funcionamiento de la instalación.

CONFIGURACIÓN DEL PROCESO PREVIO A LA REUTILIZACIÓN

La Figura 1 muestra el diagrama de flujo del proceso que se llevaba a cabo

en la empresa antes de la aplicación de la solución para la reutilización de las purgas de las torres de refrigeración. Los materiales constructivos del circuito de refrigeración son el acero inoxidable y el acero al carbono.

La concentración de cloruros limitaba la operación de las torres de refrigeración a 3 ciclos de concentración para evitar la corrosión del acero inoxidable. En estas condiciones de operación, el agua de aporte a las torres de refrigeración era de 230,8 m³/h y la purga era de 76,9 m³/h. Se aplicaba un tratamiento convencional con anticorrosivos, antiincrustantes y biocidas del agua de la torre.

IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN PARA LA REUTILIZACIÓN DEL AGUA DE PURGA DE LAS TORRES DE REFRIGERACIÓN

Con la aplicación de la solución de reutilización de la purga de las torres de refrigeración mediante dos plantas de ósmosis inversa, se redujo la captación de agua y el vertido. La Figura 2 de la siguiente página muestra el diagrama de flujo del proceso después de la aplicación de la solución para la reutilización de las purgas de las torres de refrigeración.

El permeado de la ósmosis inversa, con un caudal de 46,8 m³/h, se recirculó al aporte de las torres de refrigeración, reduciendo la captación de agua proveniente de los pozos y del arroyo de 230,8 a 158,3 m³/h, lo que supone una reducción del 31%. Antes de la solución, el caudal de

FIGURA 1. Diagrama de flujo del proceso antes de la aplicación de la solución de reutilización de las purgas de las torres de refrigeración

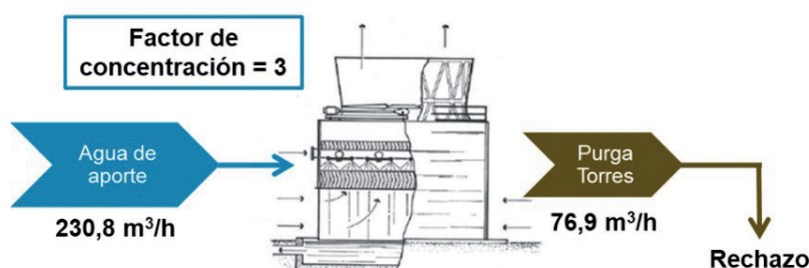
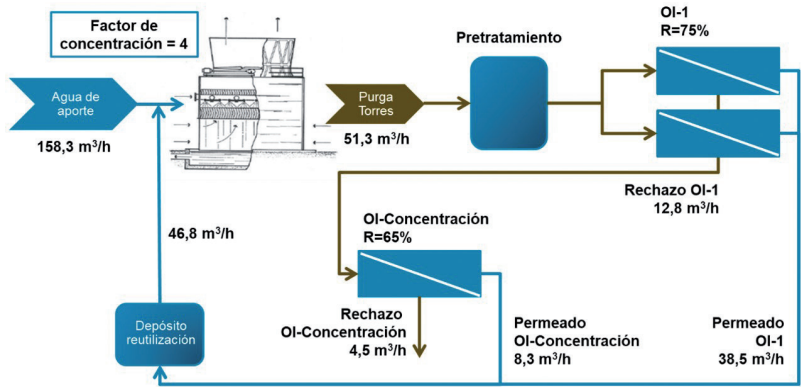


FIGURA 2. Diagrama de flujo del proceso de reutilización de las purgas de las torres de refrigeración



vertido correspondía a la purga de las torres (76,9 m³/h), después de la aplicación de la reutilización de la purga, el vertido se limitó únicamente al rechazo de la segunda planta de ósmosis inversa con un caudal de 4,5 m³/h, consiguiendo una reducción del 94 %. Además, se consiguió un agua de aporte de mayor calidad, reduciendo la concentración de cloruros, lo que permitió incrementar los ciclos de concentración de las torres de 3 a 4.

La reutilización del agua de purga supone una reducción de 608.748 m³/año de agua captada de los pozos y el arroyo para alimentar las torres y, esta misma cantidad, es la que se deja de verter al medio. La Tabla 1 compara los volúmenes anuales de las diferentes corrientes entre la situación anterior y posterior a la reutilización de la purga.

TRATAMIENTO SOSTENIBLE DE LAS TORRES DE REFRIGERACIÓN

Con el objetivo de mantener el máximo rendimiento de los circuitos de refrigeración, evitar los fenómenos de corrosión y de formación de incrustaciones utilizando productos con un mínimo impacto medioambiental, controlar el desarrollo microbiológico, reducir el consumo de agua, y cumplir con normativa vigente para la prevención y el control de la legionelosis, ADIQUIMICA implementa un sistema de control que se basa en:

- Tratamiento químico optimizado con productos antiincrustantes y anticorrosivos de la gama AdicGreen.
- Tratamiento biocida para prevenir la contaminación microbiológica y particularmente eficaz para eliminar la bacteria Legionella.
- Implementación de la tecnología ADICONTROL® para los circuitos de refrigeración.

PRODUCTO ANTIINCRUSTANTE Y ANTICORROSIVO DE LA GAMA ADICGREEN

Los antiincrustantes y anticorrosivos que contienen fósforo en su formu-

lación, son ampliamente utilizados en los circuitos de refrigeración. Sin embargo, su baja biodegradabilidad y su contenido en fósforo son las principales razones de preocupación por el impacto ambiental que representa el vertido de estos compuestos.

Cuando los antiincrustantes y anticorrosivos que contienen fósforo se vierten, pueden actuar como fuente de nutrientes para algas y bacterias, y pueden provocar eutrofización. Como consecuencia, la normativa medioambiental y los requisitos de calidad de las purgas son cada vez más restrictivos en lo que respecta al vertido de los productos químicos utilizados en el tratamiento del agua.

En este contexto, para el tratamiento de las torres de refrigeración se dosificó el producto combinado con efecto antiincrustante y anticorrosivo de la gama AdicGreen, ADICLENE 252^{AdicGreen}. Es un producto altamente formulado, ambientalmente respetuoso, biodegradable y no tóxico. Está formulados a partir de una mezcla sinérgica de materias activas que no contienen fósforo en su composición o tienen una contribución mínima.

Además, está libre de metales considerados perjudiciales para el medioambiente. Los principios activos tienen un excelente rendimiento,

TABLA 1.

VOLÚMENES ANUALES Y REDUCCIÓN DE LAS DIFERENTES CORRIENTES ANTES Y DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE LA REUTILIZACIÓN

Parámetro	Antes de la reutilización (m³)	Después de la reutilización (m³)	Reducción (m³)	% Reducción
Captación de agua	1.938.468	1.329.720	608.748	31
Alimentación a las torres	1.938.468	1.722.840	215.628	11
Purga de las torres	646.548	430.920	215.628	33
Rechazo de las plantas de ósmosis inversa	-	37.800	-	-
Volumen de vertido	646.548	37.800	608.748	94

comparable al que tienen los compuestos tradicionales. Además es biodegradable, de acuerdo con el método estándar para la evaluación de la biodegradabilidad OECD 302 B [3].

Otras propiedades son su no toxicidad para los seres humanos y los sistemas acuáticos, y su coste competitivo respecto a los productos tradicionales. El tratamiento de los circuitos de refrigeración con este producto de la gama AdicGreen, asegura una protección completa antiincrustante y anticorrosiva en un amplio rango de pH, temperatura y variabilidad de la composición del agua.

DISEÑO DEL TRATAMIENTO ANTIINCRUSTANTE Y ANTICORROSIVO CON EL SOFTWARE ADIC-IONIC

Para diseñar el tratamiento antiincrustante y anticorrosivo óptimo para un circuito de refrigeración es fundamental, por un lado, modelizar exactamente la composición y el comportamiento del agua en el interior de las torres de refrigeración, y predecir de forma muy precisa la formación de incrustaciones y el carácter corrosivo del agua.

Por otro lado, es imprescindible disponer de un modelo de dosificación del producto. El *software* Adic-Ionic es un programa científico desarrollado íntegramente por ADIQUIMICA, que desde hace más de 40 años permite cumplir con estos objetivos aportando un conocimiento y un tratamiento efectivo de los circuitos de refrigeración con una minimización de los costes de operación y del impacto ambiental [4].

Es un programa en constante mejora e innovación alimentado a partir del conocimiento adquirido en los ensayos de laboratorio y de planta piloto, con la experiencia adquirida en planta real y a partir de la bibliografía científica más reciente. El *software* Adic-Ionic permite determinar de manera muy precisa los potenciales de incrustación de las especies insolubles y el carácter corrosivo del agua de las torres de refrigeración. Calcula la dosis mínima de inhibidor para asegurar una completa

protección de la instalación frente las incrustaciones y la corrosión.

Con el *software* Adic-Ionic, se calculó el poder incrustante y el carácter corrosivo del agua del interior de las torres de refrigeración, y la dosis óptima del inhibidor para prevenir las incrustaciones y la corrosión. El cálculo se realizó a partir de la composición del agua de alimentación a las torres y de los parámetros de operación (temperatura, ciclos de concentración, pH, caudal de recirculación, volumen del circuito, etc.).

El *software* Adic-Ionic calcula los potenciales de incrustación, que permiten determinar el peligro de incrustación en las torres. El potencial de incrustación se expresa como el porcentaje del límite máximo admisible para los distintos índices de sobresaturación de las especies insolubles. Un potencial de incrustación superior al 100 % significa que el índice de sobresaturación correspondiente es mayor que el límite máximo admisible para este índice y que el compuesto insoluble puede precipitar.

Los resultados de la simulación indicaron que, sin tratamiento, el potencial de incrustación del carbonato de calcio (CaCO_3) superaba el valor del 100 %, indicando que existía ries-

go de formación de incrustaciones por este compuesto. Con la dosificación de ADICLENE 252^{AdicGreen}, el potencial de incrustación del carbonato de calcio disminuyó hasta alcanzar un valor inferior al 100 %.

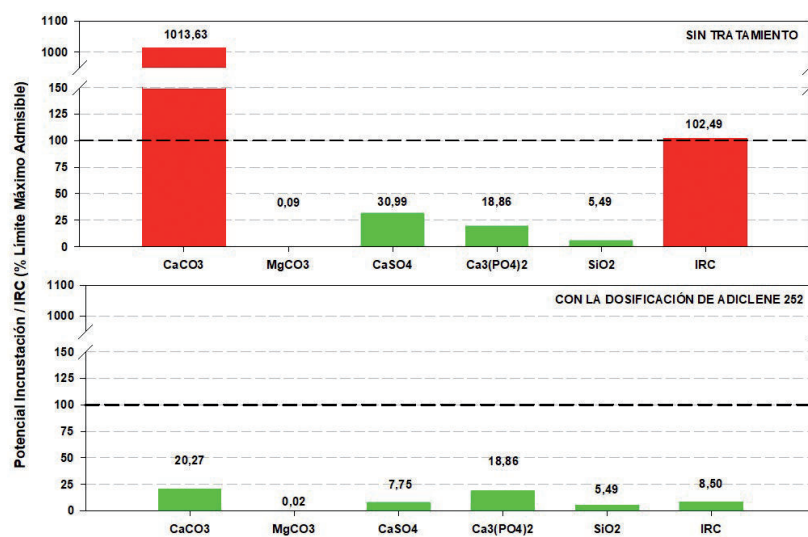
El programa también calcula el Índice Relativo de Corrosión (IRC). Un valor de IRC superior al 100 % es indicativo de que pueden tener lugar fenómenos de corrosión en las partes metálicas de la instalación. El IRC se basa en la relación de las variables que influyen directamente en el carácter corrosivo del agua, como el índice de Ryznar, que es un indicador de la naturaleza incrustante y corrosiva del agua. Con la dosificación de ADICLENE 252^{AdicGreen}, el IRC disminuyó hasta alcanzar un valor inferior al 100 %.

La Figura 3 muestra los resultados simulados de reducción de los potenciales de incrustación y del IRC con la dosificación del inhibidor. Se concluye que, con la dosificación del producto, el sistema queda perfectamente protegido frente a la formación de incrustaciones y la corrosión.

TRATAMIENTO BIOCIDA

Los biocidas se utilizan para controlar la actividad microbiológica del agua de una torre de refrigeración

FIGURA 3. Potenciales de incrustación para cada especie insoluble y IRC en el interior de las torres de refrigeración, sin tratamiento y con la dosificación de ADICLENE 252^{AdicGreen}



y evitar la proliferación de microorganismos. Estos compuestos pueden ser oxidantes o no oxidantes.

En el presente estudio se aplicaron dos biocidas, uno no oxidante y otro oxidante, que previenen la proliferación de *Legionella* y consiguen el control del crecimiento microbiológico de las torres de refrigeración. Esta combinación sinérgica de los dos biocidas, actúan interfiriendo el metabolismo y la estructura de la célula, destruyendo la pared celular, impidiendo la respiración celular o impidiendo su reproducción.

El tratamiento biocida es totalmente compatible con el tratamiento antiincrustante y anticorrosivo aplicado, lo que, junto con el cumplimiento de los procedimientos de aplicación, seguimiento y control recomendados, permite maximizar la eficacia del programa global de tratamiento.

TECNOLOGÍA ADICONTROL®

Para garantizar una supervisión continua y proporcionar un control integral y fiable del tratamiento de las torres de refrigeración se implementó la tecnología ADICONTROL® que está desarrollada íntegramente por ADIQUIMICA. Los circuitos de refrigeración son críticos para la eficacia de la producción de la planta, y por lo tanto la tecnología ADICONTROL® aporta la seguridad de saber que las instalaciones están controladas ahorrando agua, energía y dinero.

Por otro lado, en relación al tratamiento óptimo y personalizado del agua, es importante para mantener la eficacia de estos circuitos y cumplir con la normativa para la prevención y el control de la legionelosis, donde se promocionan las lecturas automáticas en continuo de varios parámetros de control.

Nuestra experiencia en el tratamiento de los circuitos de refrigeración, y la constante innovación, nos permiten ofrecer una solución adaptada para cada instalación, personalizando y utilizando los productos y la tecnología más avanzados. La tecnología ADICONTROL® monitoriza en tiempo real las variables del sistema y el rendimien-

to. Implementa un sistema de control y soporte experto adaptado a la Industria 4.0, que repercute en una mejora de la eficacia, la productividad y la rentabilidad del proceso.

Mantiene la eficacia del intercambiador de calor inhibiendo la formación de incrustaciones y los fenómenos de corrosión, reduce el consumo de agua operando a mayores ciclos de concentración, y reduce el consumo de energía. Permite cumplir con la normativa para la prevención y el control de la legionelosis, donde se promocionan las lecturas automáticas en continuo de los parámetros de control. Los resultados permiten cumplir con los objetivos de sostenibilidad con la máxima eficacia y una protección del sistema, reduciendo los costes de operación y las emisiones de CO₂.

ADICONTROL® está vinculada a un servicio que registra de forma continua todas las variables del proceso. Los datos monitorizados son evaluados mediante análisis de escenarios e inteligencia artificial que permiten la gestión integral de la información y un aprendizaje de patrones de comportamiento de cada instalación. El sistema proporciona los indicadores clave de proceso (KPIs) para una supervisión efectiva. Dispone de un sistema de alarmas avanzado en caso de producirse una desviación. Es un servicio activo 24 horas al día, los 365 días del año. Permite la visualización en línea de la información desde la web con cualquier dispositivo.

Nuestro equipo de técnicos y de expertos gestiona constantemente la información relevante y los aspectos claves de la instalación para realizar un diagnóstico preciso del estado del proceso, realizar recomendaciones para ayudar en la toma de decisiones, optimizar y adaptar el rendimiento de forma dinámica, intervenir antes que se produzca el problema, tomar acciones inmediatas en respuesta a las alarmas y desviaciones, y resolver situaciones complejas.

CONCLUSIONES

La dosificación de un producto anti-

incrustante y anticorrosivo biodegradable y ambientalmente respetuoso es una solución eficaz, sostenible y económicamente viable para el tratamiento de las torres de refrigeración con agua de purga reutilizada mediante tecnología de ósmosis inversa.

El uso combinado de un biocida oxidante y otro no oxidante, compatibles con el tratamiento antiincrustante y anticorrosivo, asegura el control microbiológico, la prevención de la proliferación de *Legionella* y cumplir con la normativa vigente de prevención y control de la legionelosis.

La solución de reutilización de la purga de las torres de refrigeración mediante ósmosis inversa, el tratamiento sostenible, y la tecnología ADICONTROL®, permite:

- Aumentar el rendimiento de las torres de refrigeración, alargar la vida útil de las instalaciones y reducir los costes de operación y las emisiones de CO₂.
- Prevenir la corrosión y las incrustaciones, y controlar el desarrollo microbiológico.
- Aumentar el caudal de agua regenerada de elevada calidad para su reutilización.
- Reducir el agua de captación con un ahorro significativo al utilizar fuentes alternativas.
- Reducir el vertido y minimizar el impacto ambiental de los productos de tratamiento.

Bibliografía

- [1] *Real Decreto 1085/2024, de 22 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de reutilización del agua y se modifican diversos reales decretos que regulan la gestión del agua.* BOE núm 256 de 23 de octubre de 2024.
- [2] *Real Decreto 487/2022, de 21 de junio, por el que se establecen los requisitos sanitarios para la prevención y el control de la legionelosis.* BOE núm 148 de 22 de junio de 2022 (última actualización publicada del 3/07/2024)
- [3] OECD, 1992. OECD Guideline for testing of chemicals 302B. Zahn-Wellens/EMPA Test.
- [4] Bodas, J., Cabré, X., Villanueva, O., Biurraena, A., Ruiz, J., 2013. Caso práctico: optimización del tratamiento del agua de un circuito de refrigeración mediante el software Adic-ionic. *Industria Química* 4, 26-32. 