



Planta de regeneración de aguas residuales urbanas para su uso en la industria química

El agua es el principal elemento del proceso de enfriamiento que utilizan las torres de refrigeración y condensadores evaporativos. El objetivo principal de este estudio ha sido desarrollar un sistema que permita tratar el agua de vertido de una estación depuradora de aguas residuales urbana (EDAR) con el fin de poder reutilizar el agua en torres de refrigeración y calderas industriales. Los resultados muestran que con la utilización de las tecnologías de ósmosis inversa y descalcificación se consigue reducir, respecto al agua residual, hasta un 40% de la conductividad y 70% las cantidades de magnesio y calcio, parámetros a tener en cuenta para estas instalaciones.

Palabras clave

Calidad, reutilización, torres refrigeración y calderas.

URBAN WASTEWATER REGENERATION PLANT FOR USE IN THE CHEMICAL INDUSTRY

Water is the main element of the cooling process used by cooling towers and evaporative condensers. With this project, the main objective has been to develop a system to treat effluent from municipal wastewater treatment plant (WWTP) to achieve a product of a high enough quality to be used in cooling towers or as water for boilers. The results show that with the use of reverse osmosis and softening technologies it is possible to reduce the conductivity by up to 40% and the amounts of magnesium and calcium by 70%, important to consider when characterizing the hardness of the water.

Keywords

Quality, reuse, cooling towers and boilers.

Rodrigo Duque Hebrero

responsable del Departamento de Ingeniería y Proyectos de Soluciones Industriales y Tratamientos Ambientales (SITRA)

F. Javier Donato Descalzo

director de Soluciones Industriales y Tratamientos Ambientales (SITRA)



1. INTRODUCCIÓN

La preocupación por el medio ambiente y la sostenibilidad del consumo de los recursos naturales, principalmente el agua, ha experimentado un gran crecimiento a nivel mundial. Por esta razón, se necesitan esfuerzos para mejorar la gestión de las aguas en general y en aquellos sectores que sean grandes consumidores de agua, especialmente en sectores como la agricultura y la industria.

En el marco europeo, la problemática global de la escasez de agua y la sequía han aumentado drásticamente en la última década, coincidiendo en que la situación se agravará en el futuro. De hecho, en los últimos años se han incrementado el número de zonas con estrés hídrico, siendo las áreas del Mediterráneo las más numerosas.

Los usos del agua regenerada pueden ser muy diversos y, exceptuando la alimentación humana y animal, prácticamente todos son posibles: uso urbano, agrícola, industrial, recreativo y ambiental. En una economía circular, la reutilización del agua desempeña un papel clave, con importantes beneficios ambientales, sociales y económicos.

Después de la agricultura, la industria es el mayor usuario de agua para el desarrollo de sus productos. Un método para frenar el consumo de agua en la industria es a través de la reutilización de aguas residuales. Reducir la cantidad de agua potable utilizada por las industrias puede reducir la extracción, aumentando la disponibilidad de este bien y mejorando las relaciones comunitarias.

El presente estudio busca desarrollar una combinación de tecnologías que permitan abastecer la demanda de agua de una empresa del sector industrial, con el efluente de las estaciones depuradoras de aguas re-

» Ante la necesidad de impulsar la reutilización del agua tratada en las EDAR, SITRA ha desarrollado un nuevo sistema de regeneración de aguas residuales para las torres de refrigeración y calderas de una empresa química

siduales urbanas (EDARu). De esta forma, se quiere evitar que, por un lado, la empresa del sector industrial utilice agua de pozo o acuífero para sus torres de refrigeración y calderas y, por el otro, que las aguas residuales tratadas sean vertidas a cauce o mar, garantizando su reutilización.

Con lo expuesto anteriormente, se hace patente la necesidad de impulsar la reutilización del agua tratada en las EDAR en la industria mediante tecnologías sostenibles. Por todo ello, SITRA desarrolla un nuevo sistema de regeneración de aguas residuales para las torres de refrigeración y calderas de una empresa química.

De todas las tecnologías existentes en el mercado, se han seleccionado aquellas que especialmente conlleven a una reducción en la conductividad y la dureza ya que son los parámetros más influyentes en cuanto a las calidades de agua para las torres y las calderas.

2. TRATAMIENTOS ESTUDIADOS

Los tratamientos estudiados son los siguientes.

2.1. PRETRATAMIENTO MEDIANTE FILTRACIÓN CON VIDRIO

El vidrio considerado es un vidrio activo filtrante; es un vidrio técnico reciclado capaz de ofrecer ventajas como: calidad del filtrado, durabilidad, máximo rendimiento, mínima pérdida de carga del sistema hidráulico, reducción del consumo de productos químicos, etc. En el caso del presente

estudio, este vidrio técnico cumple la función de medio filtrante de las aguas procedentes de la EDAR.

2.2. ULTRAFILTRACIÓN

La ultrafiltración es un proceso de separación por membranas, dentro de la tecnología de membranas para el tratamiento de agua, que permite la separación de sólidos utilizando la presión para forzar el agua a través de una membrana semipermeable.

Las pequeñas partículas disueltas en el líquido pasan a través de la membrana porosa, mientras que las grandes moléculas disueltas, los coloides y los sólidos en suspensión, que no pasan a través de los poros, son retenidos.

La ultrafiltración se utiliza fundamentalmente como pretratamiento para aguas superficiales, agua de mar, aguas subterráneas, efluentes tratados biológicamente y como pretratamiento del agua para su posterior tratamiento con sistemas de desmineralización de membrana, tales como nanofiltración u ósmosis inversa.

Las principales características de la ultrafiltración son:

- Tamaño de poro dentro del rango 0,04 y 0,1 μm . Permite separar tamaños de partículas de distinta naturaleza, sólidos en suspensión, partículas finas, coloides, algas y microorganismos como bacterias.
- Las membranas son generalmente membranas porosas.
- Tiene una alta productividad.

- Las diferencias de presión requeridas son bastante bajas, ya que apenas existen diferencias osmóticas.

Con tal de alargar la vida útil de estas membranas, se debe tener en consideración que deben ser limpiadas regularmente mediante limpiezas hidráulicas (arrastre de partículas con agua de alimentación) y contralavados reforzados químicamente (eliminación de las sustancias absorbidas por la membrana mediante reactivos químicos).

2.3. DESCALCIFICADOR MEDIANTE INTERCAMBIO IÓNICO

Un descalcificador por intercambio iónico es un equipo de tratamiento de agua que se emplea para eliminar los cationes de calcio (Ca) y magnesio (Mg), causantes de la dureza del agua. Su principio de funcionamiento se basa en el uso de resinas de intercambio iónico de tipo catiónicas fuertes en ciclo sódico, las cuales son capaces de retener la dureza liberando sodio, el cual queda incorporado al agua tratada.

La aplicación de esta técnica se dirige hacia soluciones diluidas, siendo los factores que determinan su efectividad en este campo los siguientes:

- El intercambio iónico puede separar concentraciones diluidas de compuestos iónicos en solución acuosa.
- Los procesos proporcionan agua de una buena calidad en un amplio rango de condiciones.
- Las resinas empleadas en la separación de iones presentan una gran estabilidad y duración en condiciones químicamente agresivas.

La aplicación de los procesos de intercambio iónico en la purificación y reciclaje de aguas residuales redu-

FIGURA 1. Módulos de ósmosis inversa.



ce significativamente el consumo de agua y el volumen de efluentes residuales, y consecuentemente el tamaño y coste de las instalaciones de descontaminación.

La solución a tratar pasa a través de un lecho de resinas selectivas, de estructura macroporosa y esqueleto en poliestireno, destinada a la eliminación de dureza. En el momento en que la cantidad de iones fijados alcanza la capacidad útil de la resina, empieza a producirse una fuga de los mismos, parándose la fase de producción e iniciándose el proceso de regeneración de la misma.

En el caso de estudio, la utilización de este tipo de tecnologías está pensado principalmente para el agua que es destinada a las calderas ya que estas requieren de una mejor calidad de las aguas consiguiendo un agua casi desmineralizada. De no ser así, se pueden llegar a ocasionar los siguientes incidentes:

- Incrustaciones: sobre las superficies de calefacción como hogar, placas, tubos, etc., dificultando la refrigeración del acero y, en consecuencia, la ruptura de algunos de estos elementos. Asimismo, disminución

del intercambio de calor y por tanto pérdida de rendimiento y aumento del gasto de combustible.

- Corrosiones: ataques químicos sobre las paredes, sobre todo en los lugares de poca circulación de agua, debido al oxígeno, ácidos, etc.
- Arrastres: de agua con el vapor que sale de la caldera.

2.4. ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis es un fenómeno natural de difusión de dos soluciones de concentración distinta a través de una membrana semipermeable que hace las funciones de pared divisoria. El resultado del proceso es una reducción de la salinidad del agua reduciendo la conductividad existente consiguiendo eliminar las incrustaciones calcáreas y obtendremos una conductividad adecuada para el uso deseado.

En el caso del presente estudio se han considerado las membranas de configuración espiral. Estas membranas son de bajo ensuciamiento, con carga neutra sobre su superficie, confiere una gran facilidad de lavado y recuperación, al admitir gran variedad de productos químicos de lavado (**Figura 1**).



3. METODOLOGÍA

Con la finalidad de instalar el mejor sistema de tratamiento de agua, tras conocer las tecnologías que mejor se adaptan para la regeneración de las aguas de una EDAR atendiendo al destino final (torres de refrigeración y calderas), se plantea la combinación de las tecnologías de la forma que recoge la **Figura 2**.

Tal y como se muestra en la **Figura 2**, el efluente proveniente de la EDAR es pretratado mediante el filtro de vidrio y seguidamente, pasa al sistema de ultrafiltración con el objetivo de reducir la carga de sólidos previo a la ósmosis inversa. A continuación, el agua es conducida al sistema de osmosis inversa dotado de un sistema de mezcla.

Este sistema de mezcla hace que no todo el caudal que proviene de la ultrafiltración pase a la ósmosis, solo lo hace el 80%. El 20% restante, circula de forma paralela a la ósmosis inversa para ser mezclado con el permeado de la ósmosis. Con esta acción se consigue disminuir el consumo producido por la ósmosis ya que no pasa todo el caudal pasa por la membrana sin perder del todo la efectividad de la reducción de la conductividad necesaria para la industria.

El agua producto de esta etapa es, a su vez, conducido hacia los dos puntos de estudio: torres de refrigeración y calderas. Las torres de refrigeración reciben el agua procedente directamente de las ósmosis mientras que, el agua de las calderas adicionalmente pasa por el tratamiento de descalcificación.

Una vez planteada la combinación de tecnologías a estudiar, el siguiente paso es conocer los datos de diseño para dimensionar el proceso. Por un lado, es necesario conocer la caracterización de las aguas del efluente de la EDAR (**Tabla 1**) y, por

FIGURA 2. Esquema del caso de estudio.



TABLA 1

| CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE DE LA EDAR DE ESTUDIO. | | |
|---|------------|--------|
| Parámetro | Unidad | Valor |
| pH | uds pH | 7,6 |
| Conductividad | μS/cm | <1.500 |
| Bicarbonatos | mg/L | <350 |
| Cloruros | mg/L | <250 |
| Sulfatos | mg/L | <150 |
| Nitratos | mg/L | <10 |
| Calcio | mg/L | <100 |
| Magnesio | mg/L | <25 |
| Sodio | mg/L | <150 |
| Potasio | mg/L | <35 |
| Fluoruros | mg/L | <0,10 |
| Amonio | mg/L | <0,50 |
| DQO | mg/L | <25 |
| SS | mg/L | <10 |
| Coliformes totales | UFC/100 ml | <1 |
| <i>Escherichia coli</i> | UFC/100 ml | <1 |
| <i>Legionela sp</i> | UFC/1 l | n.d. |

otro lado, se ha necesitado realizar una estimación aproximada de los caudales de entrada de cada una de las tecnologías estudiadas para obtener los caudales requeridos por la empresa química para las torres de refrigeración y las calderas (**Tabla 2**).

Con todos estos datos, y gracias al *software* de simulación de los fabricantes de membranas, se pudo trabajar en la obtención de las calidades de agua a reutilizar tras la combinación de las tecnologías.

4. RESULTADOS

Los dos tratamientos más importantes a tener en cuenta para la reutilización de las aguas en las torres de refrigeración y las calderas son la ósmosis inversa y la descalcificación, ya que son los que producen la reducción de la conductividad y dureza necesarios.

La aplicación de los programas de simulación de los fabricantes de membranas a las características del agua de partida y a los caudales de

TABLA 2

CAUDALES DE ENTRADA ESTIMADOS DE LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS Y DE ENTRADA A LAS TORRES DE REFRIGERACIÓN Y CALDERAS.

| Parámetro | Caudal (m ³ /día) |
|--|------------------------------|
| Entrada ultrafiltración | 500 |
| Entrada ósmosis inversa | 388 |
| Caudal mezcla (sin pasar por la ósmosis inversa) | 96 |
| Permeado | 254 |
| Caudal tras mezcla | 350 |
| Caudal producido a torres | 175 |
| Entrada descalcificador de intercambio iónico | 175 |
| Entrada caldera | 175 |

TABLA 3

CALIDAD TRAS LA ÓSMOSIS INVERSA.

| Parámetro | Unidad | Valor permeado | Valor mezcla |
|-----------------|--------|----------------|--------------|
| pH | uds pH | 6 | 7 |
| TDS | mg/l | <35 | <400 |
| Amonio | mg/L | 0,05 | 0,20 |
| Potasio | mg/L | 1,25 | 10 |
| Sodio | mg/L | 5 | 50 |
| Magnesio | mg/L | 0,5 | 7,5 |
| Calcio | mg/L | 1,24 | 31,5 |
| Bicarbonatos | mg/L | 12,5 | 103,5 |
| Nitratos | mg/L | 1 | 4,2 |
| Cloruros | mg/L | 5,4 | 97 |
| Sulfatos | mg/L | 1 | 38 |
| CO ₂ | mg/L | 12 | 11,5 |
| Conductividad | μS/cm | <60 | <900 |

TABLA 4

CALIDAD TRAS EL DESCALCIFICADOR.

| Parámetro | Unidad | Valor |
|---------------|------------------------|---------|
| Conductividad | μS/cm | <900 |
| Dureza | mgCaCO ₃ /L | <10 |
| pH | uds pH | 7,5-8,5 |

trabajo, ofreció los siguientes resultados en cuanto a calidad de las aguas regeneradas (Tablas 3 y 4):

Como se puede observar, tras la ósmosis inversa se consiguen rendimientos de tratamiento del 65% que alcanzan cifras del 95% tras la descalcificación.

Por tanto, puede decirse que, según los datos obtenidos en la simulación, el tratamiento con ósmosis inversa seguido de una descalcificación resulta un buen tratamiento de regeneración de las aguas residuales urbanas cuyo destino es ser reutilizadas en torres de refrigeración y calderas industriales.

5. CONCLUSIONES

El presente artículo ha mostrado una solución para reutilizar el agua procedente de una EDAR para alimentar a las torres de refrigeración y calderas de una empresa química teniendo en cuenta los principales parámetros como son la conductividad y la dureza.

El tratamiento que se le ha aplicado al efluente de la EDAR ha estado compuesto por un pretratamiento de filtración con vidrio técnico, una ultrafiltración, una ósmosis inversa y por último un descalcificador. Tras analizar los resultados expuestos por SITRA se concluye que las tecnologías presentadas cumplen con los criterios necesarios para la industria química.

Entre los datos más destacables se encuentra la reducción de la conductividad a 900 μS/cm, la reducción del magnesio a < 7,5 mg/L y la reducción del calcio por debajo de 30 mg/L, siendo estos dos últimos parámetros los que se tienen en cuenta para conocer la dureza del agua. Por último, el agua tratada mediante descalcificador produce un agua apta para su uso en calderas. 