

Industria Química

Equipos y plantas de proceso

www.industriaquimica.es

nº88 - FEBRERO 2021

Plásticos

El ciclo de vida de los plásticos



Encapsulación en el desarrollo de materiales para la industria del plástico

Tratamiento de aguas

Economía circular en el sector petroquímico

Seguridad

Protegiendo a los equipos protegemos a las personas



Protección de los tanques con techo fijo y monitorización wireless

Motores | Automatización | Energía | Transmisión & Distribución | Pinturas

SOLUCIONES PARA PETROLEO & GAS ¡CUENTE CON WEG!

WEG colabora con la industria del Petróleo y Gas globalmente No importa donde sea el proyecto

Ni desde donde se gestione

Entendemos y proponemos soluciones para satisfacer sus necesidades

Proximidad y disponibilidad. Así es WEG.



Transformando energía en soluciones.

www.weg.net/es





Economía circular, también en el sector petroquímico

Elisenda Taberna

Dirección técnica. Veolia Water Technologies Ibérica

Joan Sanz

Director técnico. Veolia Water Technologies Ibérica

Santiago Albes

Director desarrollo Negocio Ind. Petroquímica y Papelera. Veolia Water Technologies Ibérica

Maria J. Fernández

Marketing Communication Manager. Veolia Water Technologies Ibérica

El sector de la industria es el segundo mayor consumidor de agua en Europa, tan solo por detrás de la agricultura, altamente intensiva en el uso de recursos hídricos. Unos recursos que, en parte debido a la creciente demanda, y en parte a los efectos del cambio climático, sobre todo en la zona sur del continente europeo, son cada vez más escasos. Al menos el 11 % de la población europea, así como el 17 % del territorio de la UE, está directamente afectada por la escasez de agua de calidad. De ahí la constante búsqueda de nuevos procesos más eficientes que permitan optimizar el uso de este recurso, sobre todo en sectores especialmente complejos, como es el petroquímico. Uno de los ejemplos es el proyecto Rewatch, en el que participa de forma activa la filial española de Veolia Water Technologies.

PALABRAS CLAVE: Recursos hídricos, Industria petroquímica, Rewatch, Tratamiento de aguas, Economía circular.

The industrial sector is the second largest consumer of water in Europe, only behind agriculture, which is highly intensive in the use of water resources. Resources that, partly due to growing demand, and partly due to the effects of climate change, especially in the southern part of the European continent, are increasingly scarce. At least 11% of the European population, as well as 17% of the EU territory, is directly affected by the scarcity of quality water. Hence the constant search for new, more efficient processes that allow optimizing the use of this resource, especially in particularly complex sectors, such as the petrochemicals. One of the examples is the Rewatch project, in which the Spanish subsidiary of Veolia Water Technologies participates actively.

KEYWORDS: Water resources, Petrochemical industry, Rewatch, Water treatment, Circular economy.

La industria petroquímica, tanto por sus procesos de refrigeración como por el procesamiento, es uno de los principales consumidores de agua en el sector industrial. Por ello, se debe afrontar estrictos estándares en relación con la gestión de este recurso, cada vez más valorado. No en vano, este sector es también uno de los principales generadores de aguas residuales, con 1.750 hm³ al año en toda Europa. La complejidad y calidad deficiente o inadecuada de los procesos actualmente aplicados para tratar estas aguas residuales impiden sus posibles usos, reduciendo drásticamente su disponibilidad, aumentando el consumo de recursos hídricos y los costes de suministro, a la vez que está sujeta a cada vez más estrictas normas medioambientales.

De esta manera, implementar o mejorar los procesos de tratamiento y reutilización de las aguas residuales generadas en la industria petroquímica convergen para acercar la economía circular en este importante sector industrial. Para ello son necesarias tecnologías avanzadas, como las que propone Veolia Water Technologies y DuPont Water Solutions, y proyectos piloto ambiciosos que permitan demostrar su viabilidad a escala industrial.

Esta unión de tecnología punta y programas piloto es precisamente la razón de ser del proyecto Life Rewatch. Lanzado en 2016, su objetivo fundamental es disminuir el impacto ambiental de la industria petroquímica poniendo en marcha un innovador plan de regeneración y reutilización *in situ* para aumentar la eficiencia del agua en la industria petroquímica. El proyecto Life Rewatch (acrónimo del inglés *Demonstration of an innovative recycling scheme to increase the water efficiency in the petrochemical industry*) es un instrumento financiado por la Unión Europea a través del programa LIFE, dedicado de forma exclusiva al medioambiente.

Uno de los principales focos de interés de este tipo de iniciativas comunitaria se centra en la reutilización, el reciclado y la promoción y aplicación de tecnologías eficientes e innovadoras en el uso del agua, en línea con las prioridades marcadas desde la Directiva marco y también desde la Asociación Europea de Innovación sobre el Agua, que identifica la reutilización de los recursos como una de las principales herramientas de cara a lograr una mejor gestión del agua.

Para alcanzar los objetivos del proyecto Life Rewatch se ha formado un grupo interdisciplinario de expertos en el tratamiento de aguas residuales, del que forman parte la Fundación Eurecat (centro tecnológico que coordina el proyecto), DuPont Water Solutions y Veolia Water Technologies Ibérica, así como el centro de investigación holandés KWR Water y la plataforma europea del agua Water Europe.

En su calidad de líder mundial en la integración de procesos de tratamiento de agua, Veolia Water Technologies es una compañía capaz de combinar las mejores tecnologías disponibles con el fin de crear soluciones a medida que respondan a las necesidades particulares de sus

» El primer paso del proyecto se ha enfocado en el análisis y caracterización de las aguas residuales producidas

clientes en cualquier mercado, reduciendo al mismo tiempo su impacto ambiental; un trabajo que desarrolla en numerosos sectores, en especial en la industria petroquímica, un mercado sometido a normas medioambientales cada vez más estrictas y en el que Veolia tiene una amplia experiencia.

El primer paso del proyecto se ha enfocado en el análisis y caracterización de las aguas residuales producidas por diferentes plantas petroquímicas europeas. Gracias a este estudio, en marzo de 2020, tras el diseño y construcción del prototipo, se puso en marcha la planta de demostración situada en la fábrica de olefinas de



Foto 1. Planta piloto situada en el polígono petroquímico de Tarragona

Dow Chemical Ibérica (DCI), ubicada en el complejo norte del polígono petroquímico de Tarragona de La Poble de Mafumet (Foto 1). La planta de demostración trató las aguas residuales de dos corrientes industriales diferentes, procedentes del agua de proceso y del agua intermedia, que representaron, respectivamente, el 28 % y 72 % del flujo total tratado. Estos aportes pueden mezclarse entre sí o alimentar a la planta de manera individual.

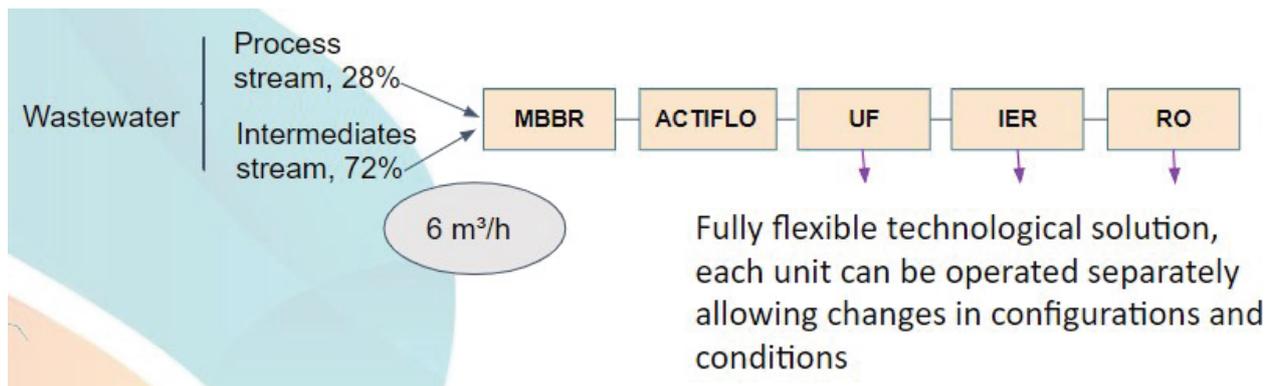
El plan de tratamiento propuesto incluye cinco etapas: el reactor de biopelícula de lecho móvil AnoxKaldnes MBBR y el proceso Actiflo de decantación lastrada, ambas tecnologías desarrolladas, patentadas y gestionadas por Veolia Water Technologies; el proceso de ultrafiltración (UF); la etapa de ósmosis inversa (RO), y la tecnología de resinas de intercambio iónico (IER). Tres de ellas fueron suministradas por DuPont Water Solutions.

Durante el proyecto, KWR ha desarrollado una herramienta de soporte a la decisión, en base a los datos proporcionados por la planta de demostración y aplicada a plantas petroquímicas a escala real, que puede estimar la calidad del agua obtenida a partir de la combinación de las tecnologías propuestas, así como el consumo energético y el impacto medioambiental y económico.

TABLA 1.
CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

Parámetros	Valor medio	Mínimo	Máximo
pH (u. pH)	7,3	6,1	7,9
Temperatura (°C)	30,1	20,0	37,0
Conductividad (µS/cm)	2800	1900	3500
Turbidez (UNF)	67,6	11,9	260
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	69	11	445
Sólidos suspendidos volátiles (mg/L)	65	10	400
Demanda Química de Oxígeno (mg O ₂ /L)	958,6	50	2781
Demanda Biológica de Oxígeno (mg O ₂ /L)	655,6	15	1920
Fosfatos (mg PO ₃ /L)	3	0,5	31,3
Nitrógeno total (mg N/L)	10	0,6	21,8
Amonio (mg N/L)	0,4	0,04	33,4
Nitritos (mg N/L)	0,6	0,2	0,8
Nitratos (mg N/L)	1,2	0,1	4,8
Calcio (mg Ca/L)	296,4	77	436
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	147,7	133	160
Sulfatos (mg SO ₄)	1097,5	285	1915

FIGURA 1. Diseño del proceso en cinco fases



DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La planta de demostración de Tarragona tiene capacidad de diseño para tratar seis metros cúbicos por hora de aguas residuales. El proceso, compuesto por cinco pasos, es una solución totalmente flexible, ya que cada unidad puede ser operada de forma separada, lo que permite cambios en su configuración y en sus prestaciones (Figura 1).

El primer paso es la etapa de depuración biológica mediante el proceso de lechos móviles AnoxKaldnes MBBR, seguido por el proceso Actiflo, un proceso para la decantación lastrada del agua. Ambas son tecnologías patentadas por Veolia Water Technologies, y su objetivo es proporcionar una barrera eficaz contra la variabilidad de las aguas residuales, aportando estabilidad a la etapa del proceso desarrollado por DuPont, es decir, las etapas de UF, RO e IER, tecnologías que permiten generar diferentes calidades de agua adecuadas para diversos usos en el sitio.

En un principio el proyecto consideró ubicar el proceso Actiflo por delante del proceso AnoxKaldnes MBBR, con el fin de eliminar las sustancias que pudieran afectar esta última tecnología. Sin embargo, los ensayos previos, realizados en banco de pruebas por la Fundació Eurecat, demostraron que no había inhibición en el proceso biológico, por lo que se adoptó la actual configuración.

En cuanto a la caracterización de las aguas residuales, lo más significativo es el contenido de materia orgánica, siendo el 87 % de la demanda química de oxígeno (DQO) soluble. Los sólidos en suspensión también contienen un 90 % de materia volátil, por lo que son principalmente de naturaleza orgánica. En cuanto a la salinidad, tiene valores de 2.800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ de promedio con ratios significativos de sulfato y calcio. Los valores de parámetros nitrogenados resultan bajos, al tiempo que la temperatura puede variar significativamente (Tabla 1).

UN TRATAMIENTO AVANZADO PARA AFRONTAR LA VARIABILIDAD DE CARGA DE LAS AGUAS RESIDUALES

Probablemente uno de los principales desafíos técnicos de esta planta de demostración radica en la complejidad y variabilidad de las aguas residuales que trata. La presencia de hidrocarburos, así como de posibles compuestos tóxicos para el paso biológico (como pueden ser fenoles, cresoles, sulfuro, ácidos nafténicos),

junto con las altas concentraciones de DQO recalcitrante, aumentan los riesgos de una correcta eliminación biológica de materia orgánica y ensuciamiento de las membranas.

Para hacer frente a estas circunstancias complejas, Veolia Water Technologies Ibérica ha diseñado un proceso de tratamiento basado en tecnologías complementarias, robustas y técnicamente avanzadas. El proceso biológico MBBR de AnoxKaldnes consiste en una biopelícula que crece en



Foto 2. El MBBR de AnoxKaldnes es un tratamiento biológico de aguas residuales

Foto 3. Actiflo instalado en la planta piloto, en el que se ve la separación entre la floculación y los tanques de sedimentación, donde se pueden observar los flóculos y el agua clarificada con las lamelas abajo

pequeños soportes plásticos que se mantienen suspendidos en continuo movimiento en el reactor (Foto 2). La última generación de estos portadores de plástico, los así llamados soportes Z, controlan el crecimiento de la biopelícula y evitan la obstrucción. El proceso MBBR elimina, principalmente, la DQO soluble y la DBO.

El Actiflo, por su parte, es un tratamiento de alta eficiencia en la clarificación de agua que consiste en la formación de flóculos de gran peso específico gracias a la adición de microarena que actúa como lastre, acelerando y mejorando el proceso de clarificación del agua, especialmente en la parte referida a la eliminación de los sólidos en suspensión y la materia orgánica asociada (Foto 3).

En cuanto a las condiciones operacionales y las dosis químicas en ambos procesos, los valores de temperatura en el MBBR han oscilado en una horquilla comprendida entre los 21 y los 42 °C, unas temperaturas altas para la microbiología. Además, se ha añadido ácido fosfórico y urea como nutrientes, debido a que el agua residual a tratar es deficitaria en fósforo y nitrógeno. En esta planta de demostración, previo a la fase de lechos móviles consistentes en dos tanques aeróbicos, se ha instalado un filtro coalescente para separar los aceites en fase libre no emulsionados.

En cuanto al Actiflo, los ensayos previos y la operación han contemplado la adición de hidróxido de sodio para aumentar el pH hasta el nivel óptimo de coagulación, junto con cloruro férrico como coagulante, una poliácridamida aniónica y la microarena.

Una vez eliminada la materia orgánica, mediante la combinación de MBBR de Anoxkaldnes y Actiflo, se incluyeron las tecnologías de Dupont para mejorar la calidad del efluente final y producir agua regenerada para su utilización *in situ*. La primera fase ha consistido en la tecnología de UF, que ha proporcionado una excelente calidad de filtrado para alimentar a la

» En esta planta de demostración, previo a la fase de lechos móviles consistentes en dos tanques aeróbicos, se ha instalado un filtro coalescente para separar los aceites en fase libre no emulsionados

FIGURA 2. DQO soluble de la entrada y salida del MBBR con respecto a los días de funcionamiento. Se puede ver la variabilidad de la entrada y la eliminación en la salida que es de un 93,2 %. Se añade la salida del Actiflo, ya que son los resultados finales. Hemos anotado algunos incidentes identificados durante la operación

Valores de los principales parámetros eliminados por el MBBR

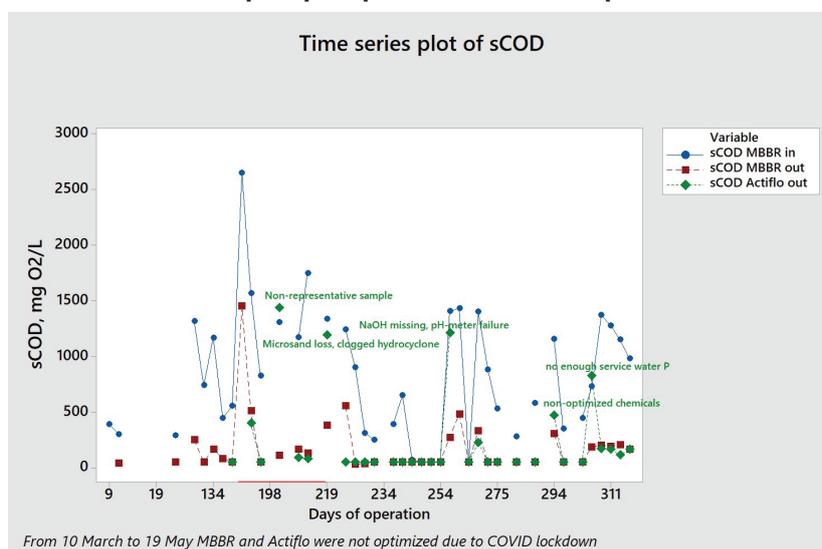
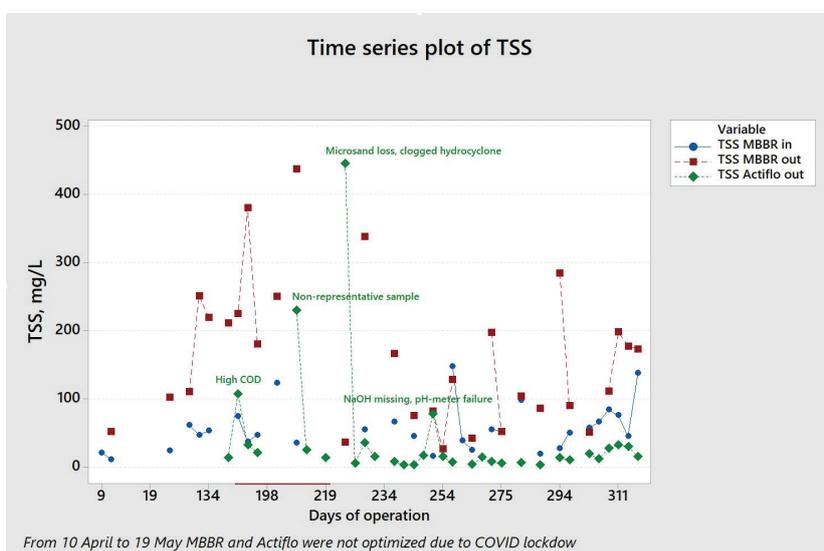


FIGURA 3. Los sólidos suspendidos que aumentan después del MBBR, en rojo, son eliminados por el Actiflo en un 91 %

Valores de los principales parámetros eliminados por el Actiflo



etapa de RO, previniendo principalmente el ensuciamiento inorgánico.

Posteriormente, la etapa de medio de filtración ha aportado solidez a la ósmosis inversa, previniendo un aumento de presión diferencial y disminuyendo las necesidades de limpieza. Los elementos de ósmosis inversa FilmTec Fortilife CR100 también han demostrado ser una solución adecuada contra el ensuciamiento por materia orgánica, y han proporcionado una calidad de permeado excepcional, ya que se ha conseguido que esta agua se pueda utilizar como aporte a torres de refrigeración, con un bajo consumo de energía.

Las proyecciones del programa de simulación Wave desarrollado por DuPont demostraron que, tan solo instalando un segundo paso y un lecho mixto, podría fácilmente alcan-

zarse una calidad suficiente del agua para alimentación a calderas.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

La línea de proceso propuesta en el prototipo con las tecnologías de Veolia Water Technologies y de DuPont Water Solutions han demostrado un funcionamiento robusto, sostenible y fiable durante la fase experimental de Rewatch, cumpliendo las expectativas del proyecto en términos de calidad y generando más de 12.000 m³ de agua regenerada en total de excelente calidad a pesar de la variabilidad y complejidad del agua de aporte. Así, se ha logrado un alto rendimiento de la tecnología AnoxKaldnes MBBR, a pesar de la complejidad de las aguas residuales (materia orgánica recalcitrante, temperatura), sin ninguna inhibición durante la operación, al

tiempo que los compuestos se han degradado correctamente, obteniéndose un valor de DQO soluble inferior al límite de cuantificación: 50 ppm O₂, y 3,8 ppm de DBO5 como valor medio (Figura 2).

Por su parte, el proceso Actiflo ha presentado una buena tasa de separación de sólidos, obteniéndose 14,6 ppm de sólidos en suspensión (Figura 3).

Por lo tanto, la combinación del proceso AnoxKaldnes MBBR y Actiflo constituyen un compacto y robusto esquema de tratamiento, basado en tecnologías complementarias que proporcionan agua de alta calidad para alimentar el proceso de ultrafiltración y minimizar el ensuciamiento de la etapa de ósmosis inversa de DuPont Water Solutions.

Los resultados obtenidos por proyecto Life Rewatch permitieron realizar un estudio completo del análisis del ciclo de vida, realizado por Eurecat. Los resultados obtenidos indicaron que la combinación de tecnologías propuestas permite reducir la huella hídrica en la industria petroquímica más de un 30 % en los esquemas asociados al cracker, y las emisiones de CO₂ relacionadas con el ciclo del agua se ven reducidas un 10 % respecto a la situación actual. El estudio del coste del ciclo de vida demuestra la viabilidad económica, permitiendo reducir el coste del agua en un 6 % respecto a la situación actual y más de un 10 % en industrias sin aporte de agua regenerada (Tabla 2). Más información puede ser obtenida en www.rewatch.eu.

TABLA 2.

RESULTADOS FINALES DEL TRATAMIENTO PROPUESTO (TECNOLOGÍAS DE VEOLIA WATER TECHNOLOGIES Y DUPONT WATER SOLUTIONS)

Especificaciones y resultados de calidad del agua para torres de refrigeración

	Agua torres de refrigeración	Efluente prototipo
Sólidos en suspensión totales	< 5 ppm	< LOQ (0.5 ppm)
Conductividad	< 2000 µS/cm	91 µS/cm
Sulfatos	< 300 ppm	1,20 ppm
Calcio	< 350 ppm	0,50 ppm
Carbono Orgánico Total	< 15 ppm	6 ppm
Demanda Química de Oxígeno	< 20 ppm	*15 ppm

Especificaciones y resultados de calidad del agua para calderas

	Agua calderas	Proyección REWATCH
Conductividad	< 1 µS/cm	0,055 µS/cm
Sílice	< 0,1 ppm	0,005 ppm
Hierro	< 0,2 ppm	< LOQ (0,005 ppm)
Cobre	< 0,1 ppm	< LOQ (0,001 ppm)
Carbono Orgánico Total	< 1 ppm	0,82 ppm



This research has received funding from the European Union's LIFE Programme under the grant LIFE15 ENV/ES/000480