ESTUDIO DE OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA DE MBR'S PARA LA DEPURACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS: APLICACIÓN DE LA TECNOLOGÍA DE LA ELECTROCOAGULACIÓN

Pedro J. Simón Andreu, Director Técnico, ESAMUR[1]

Carlos Lardín Mifsut, Técnico Dpto. Explotaciones, ESAMUR[1]

Antonio V. Sánchez Betrán, Dtor.Técnico Dpto.Explotaciones, RED CONTROL[2]

Jorge Morales[3], Jefe de Planta EDAR de Santomera, Red Control, RED CONTROL[2]

Daniel Prats Rico, Coordinador de Proyectos, IUACA[3]

1 ESAMUR (Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de aguas residuales de Murcia), Complejo Espinardo CN-301, Calle Santiago Navarro, 4, 30100 Espinardo, Murcia. Tel: 968.879.520, WEB: www.esamur.com

3 RED CONTROL, Valencia Parque Tecnológico, Avda. Alexander Gram Bell n9, 46980, PATERNA, Valencia. Tel: 961.366.491, E-mail: explotacion@redcontrol.com, WEB: www.redcontrol.com

2 Instituto del Agua y las Ciencias Ambientales (IUACA), Universidad de Alicante. Campus de San Vicente del Raspeig, Ap. 99, 03080, Alicante. Tel: 965.903.948, Fax: 965.909.418, WEB: iuaca.ua.es/es/

ABSTRACT

En la actualidad, el ensuciamiento de las membranas o "fouling" causado por la adsorción y deposición de sustancias poliméricas extracelulares (EPS) en las membranas es el mayor problema existente en los sistemas de depuración MBR. Por ello se va a aplicar en este estudio la tecnología de la electrocoagulación asociada a la microfiltración, para así reducir el ensuciamiento de las membranas y, como consecuencia, disminuir y optimizar el consumo energético en este sistema.

En este estudio, se va a incorporar a una planta piloto MBR la técnica de la electrocoagulación (EC) con el fin de reducir el "fouling" y, consecuentemente, optimizar el consumo energético. Además, se estudiará el efecto combinado de la electrocoagulación sobre el rendimiento de eliminación de la materia orgánica, nitrógeno total, fósforo total, *E.coli* y contaminantes emergentes (insecticidas, analgésicos, antiinflamatorios, antiepilépticos, fungicidas, antibióticos y estimulantes).

1.- ANTECEDENTES

El estudio se ha llevado a cabo en la depuradora de Santomera (Figura-1), situada en la zona Levante de la Región de Murcia.

La EDAR presenta un pretratamiento, un sistema de depuración mediante fangos activos en aireación prolongada con un sistema Orbal, decantación secundaria y un tratamiento terciario compuesto por un filtro textil (Mecana) y por una desinfección UV. El agua influente de esta EDAR procede de mayoritariamente de origen urbano, aunque existe un aporte industrial bastante importante (empresas de galvanizados metálicos, varias granjas de ganado vacuno y empresas de cítricos). El caudal tratado es de 1.140.000 m^3/año aproximadamente, a lo que equivalen unos 3.000-3.500 m^3/día.

Figura-1. Vista de la EDAR de Santomera

La tecnología de la electrocoagulación (Figura-2) es un proceso por el cual se desestabilizan los contaminantes que se encuentran suspendidos, disueltos o emulsionados en el agua a través de la aplicación de corriente eléctrica mediante unos electrodos, favoreciendo así la floculación de los contaminantes.

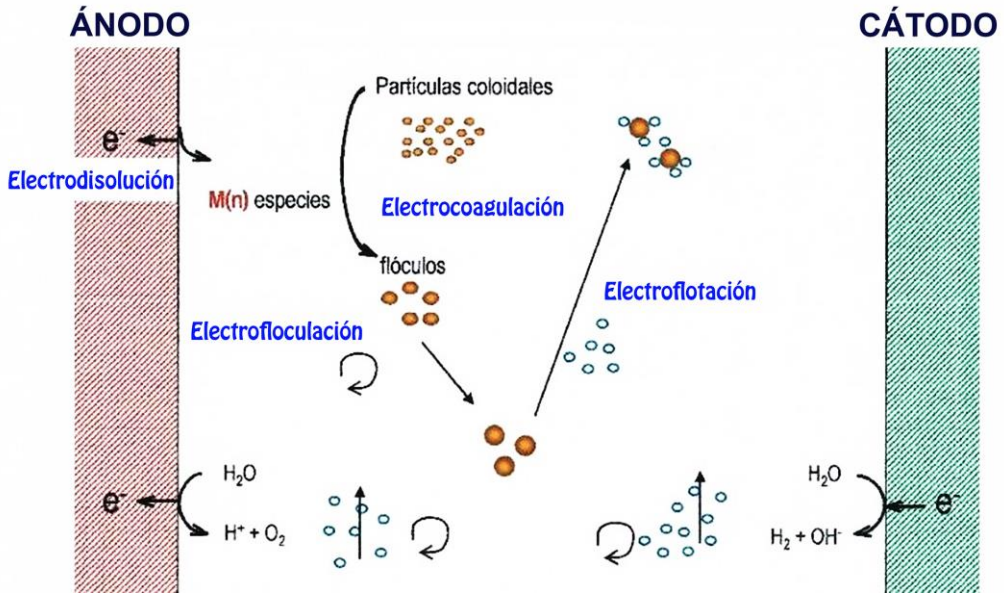

Figura-2: Proceso electrocoagulación (Martínez, F., 2007)

El estudio pretende comprobar si a través de la aplicación de este método se puede reducir el ensuciamiento (*fouling*) de las membranas de los MBRs.

2.- MATERIAL Y MÉTODOS

La planta piloto empleada en este estudio ha sido contruida ex profeso para el mismo.

En la Figura-3 se puede observar un esquema de la planta piloto y un diagrama de flujo de la misma. En cuanto a las bombas, disponemos de cuatro, una de alimentación, otra de recirculación/purga, también una de aireación y finalmente una para el permeado (efluente de la piloto).

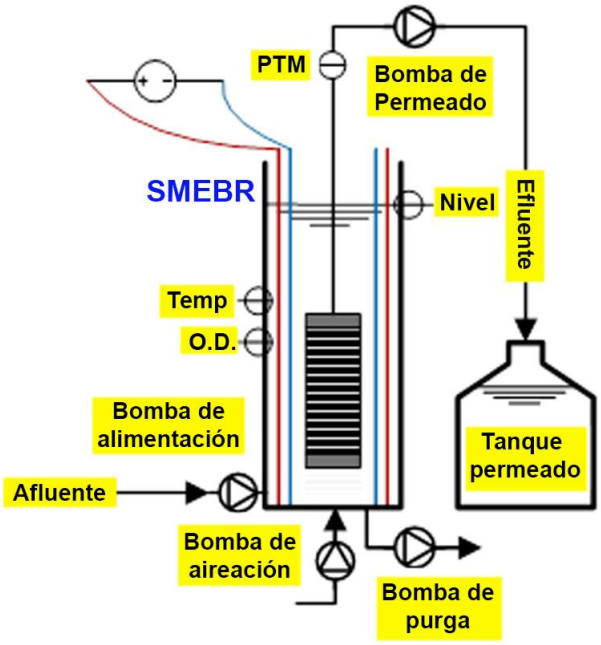

Figura-3: Esquema de la planta piloto SMEBR

Referente a sondas, se han instalado las siguientes: una de oxígeno disuelto, una de temperatura, una de nivel para mantener siempre el nivel del licor mezcla en el interior del tanque y una última sonda de presión, para poder medir y controlar en todo momento la PTM (presión transmembrana).

En la Figura-4 podemos ver una secuencia de las diversas fases de construcción de la planta piloto empleada en el estudio y en la Figura-5 se puede ver la planta ya terminada e instalada en la EDAR de Santomera.

a) Membranas planta piloto SMEBR

b) Disposición del cátodo en la planta piloto

c) Disposición del ánodo en la planta piloto

Figura-4: Diferentes fases en la construcción de la planta piloto empleada en el estudio

Para la construcción de la planta piloto se utilizaron los siguientes materiales:

- **Electrodos:**
  - Ánodo: chapa de aluminio de 2.000 x 1.000 x 1,5 mm, con perforaciones circulares al tresbolillo de 8 mm de diámetro
  - Cátodo: chapa perforada de acero inoxidable (calidad 316) de 2.000 x 1.000 x 1,5 mm, con perforaciones circulares al tresbolillo de 10 mm de diámetro
- **Membrana:**
  - Placa plana de polímero orgánico, PES
  - Dimensiones: largo = 404 mm, ancho = 291 mm, alto = 1.099 mm
  - Tamaño de poro: 0,1 µm
  - Superficie de filtración: Sf = 6,25 m^2
  - Presión transmembrana (PTM): máxima admisible = -0,400 bar
- **SMEBR:**
  - Reactor biológico: depósito cilíndrico de PRFV, de Ø = 700 mm y h = 2,30 m
  - Altura de agua = 1,60 – 1,70 m
  - Ø ánodo = 600 mm
  - Ø cátodo = 500 mm
  - Separación depósito-ánodo = 50 mm
  - Separación ánodo-cátodo = 50 mm
  - Área (sumergida) ánodo = 1,70 m^2

Figura-5. Dos imágenes de la planta piloto instalada en la EDAR de Santomera

La planta piloto MBR se instaló junto a los canales desarenadores-desengrasadores de la EDAR de Santomera, siendo alimentada con el agua de entrada de estos (figura-6).

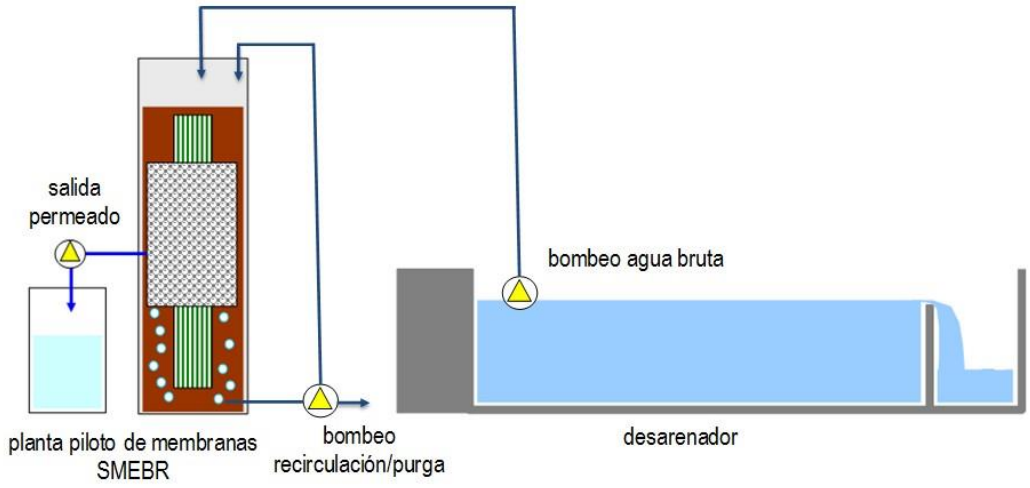

Figura-6: Diagrama de la planta piloto tal y como se instaló en Santomera

Una vez montada la planta piloto, se puso en funcionamiento. El ensayo se dividió en cuatro fases en la que se operó de la siguiente manera:

- Fase 1: funcionamiento sin electrocoagulación
- Fase 2: funcionamiento con una intensidad estándar (10 A/m^2)
- Fase 3: funcionamiento con una intensidad un 50% inferior a la estándar (5 A/m^2)
- Fase 4: funcionamiento con una intensidad un 50% superior a la estándar (15 A/m^2)

Las muestras que se analizaron se tomaron tanto a la entrada como a la salida de la planta piloto y se compararon con muestras tomadas en la entrada y salida de la EDAR de Santomera.

Los parámetros que se analizaron durante el estudio tanto en el influente como en el efluente son los listados a continuación:

- Conductividad
- pH
- IVF (Índice Volumétrico del Fango)
- DQO
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- *Escherichia coli*
- Insecticida (acetamiprid)
- Analgésico y antiinflamatorios (acetominofeno y diclorofenac)
- Antiepilépticos (carbamazepina)
- Fungicidas (tiabendazol)
- Antibióticos (ofloxacina, trimetropim, eritromicina y claritromicina)
- Estimulantes (cafeína)
- EPS totales y sus tres fracciones (proteínas, azucares y sustancias húmicas

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1.- IVF

Tras aplicar la electrocoagulación, se observa que existe un efecto directo sobre la coagulación del flóculo y, consecuentemente, sobre la sedimentabilidad del mismo (gráfica de la figura-7).

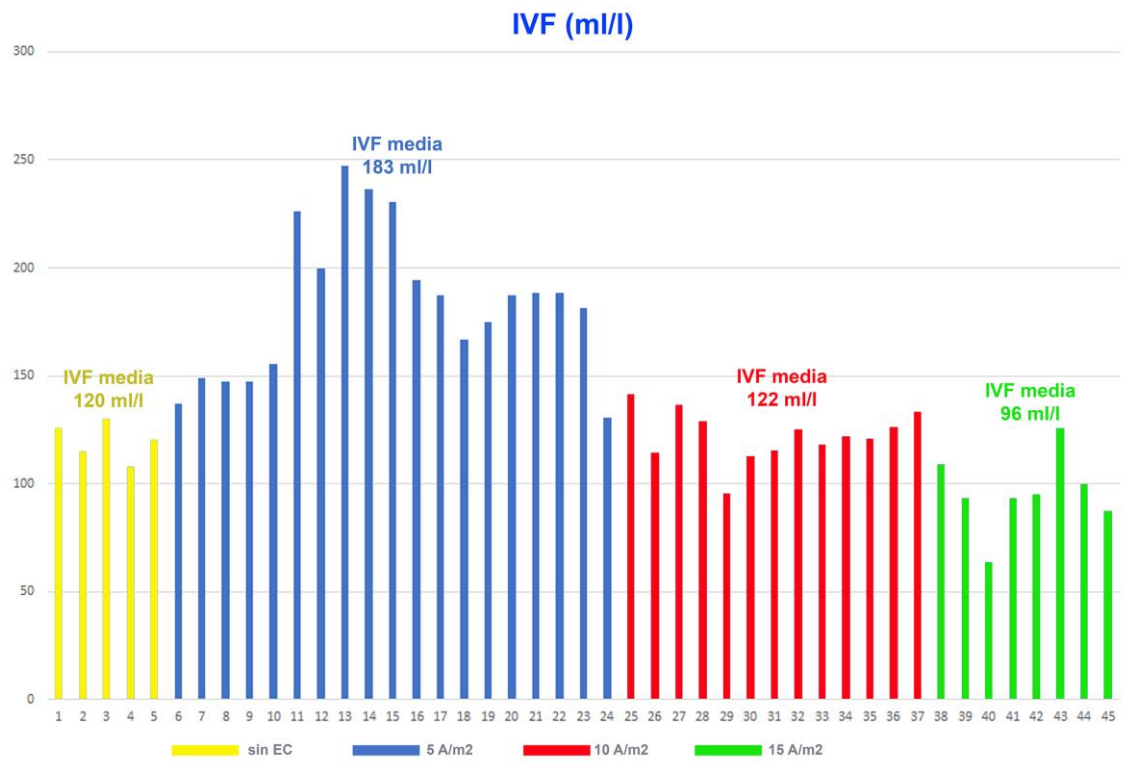

Figura-7: Evolución de las IVF a las diferentes intensidades utilizadas. Se indica el valor medio en cada caso.

Tal y como se aprecia en la gráfica, tanto a 5 A/m^2 como a 10 A/m^2 no hay variación respecto a trabajar sin electrocoagulación. Sin embargo, a 15 A/m^2 la mejora es evidente, reduciéndose sensiblemente el IVF del fango del reactor

Esto se puede apreciar visualmente en las imágenes de la figura-8.

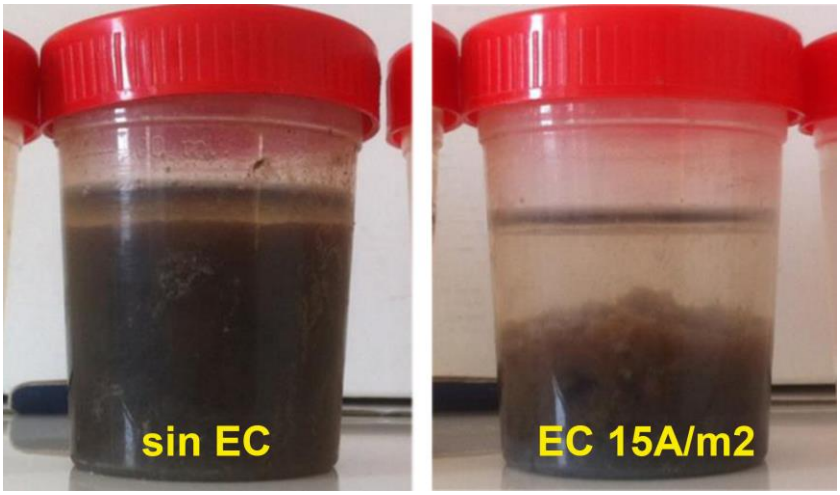

Figura-8: Dos imágenes del fango biológico procedentes del reactor MBR

3.2.- Ensuciamiento de la membrana (fouling)

Para valorar este parámetro, hemos medido la PTM (Presión TransMembrana), ya que el aumento de esta medida va relacionado con el ensuciamiento de las membranas de forma directamente proporcional.

Como se puede ver en el gráfico de la figura-9, cuando no se aplica la electrocoagulación se produce un incremento diario importante de la PTM, llegando a valores medios de hasta 3,69 Kpa/día.

En cambio, al aplicar la EC, estos incrementos se han moderado, obteniendo valores medios del incremento de la presión máximos de 0,36 Kpa/día para una densidad de corriente de 10 A/m^2 y mínimos de 0,22 Kpa/día con la densidad de corriente de 5 A/m^2.

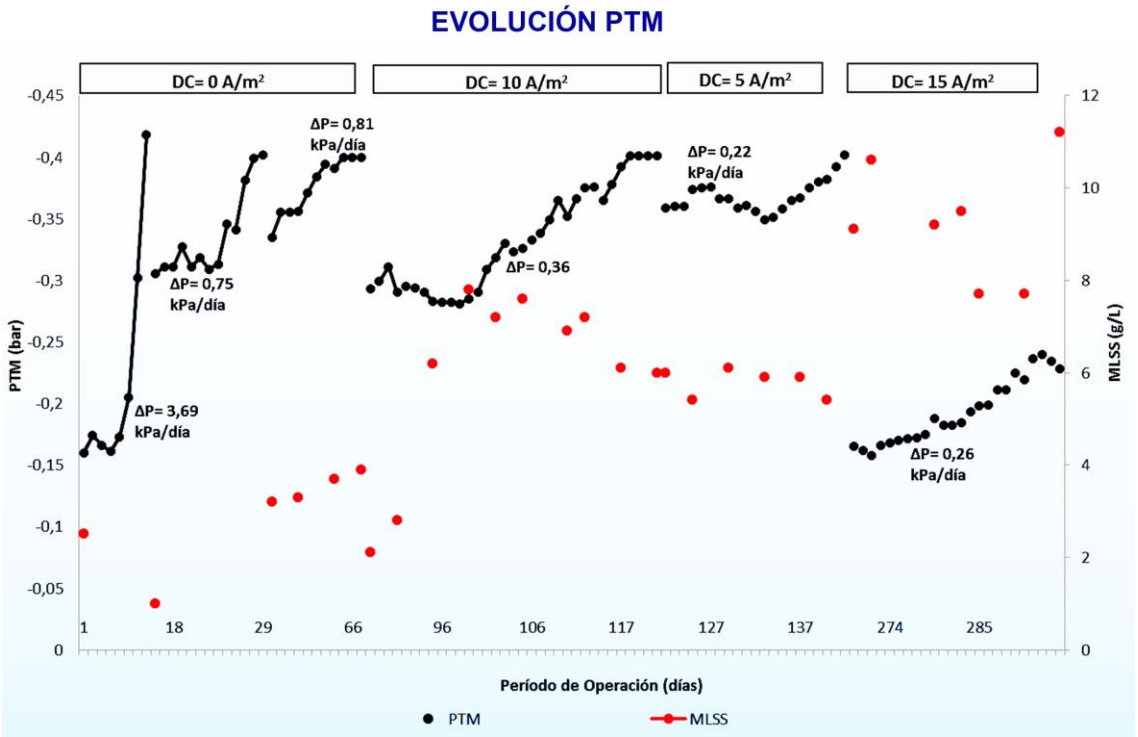

Figura-9: Evolución de la PTM a diferentes intensidades de corriente

3.3.- Evolución DQO, N y P

Si contrastamos los parámetros de DQO, nitrógeno total y fósforo total obtenidos en la planta piloto con los de la EDAR, el único en el que se han obtenido mejores rendimientos de eliminación comparado con los de la EDAR, es el fósforo total, ya que la EDAR presenta una eliminación media del fósforo del 82%. En cambio, la aplicación de la EC aumentó el rendimiento hasta llegar a valores del 99% como se puede ver en el gráfico de la figura-10.

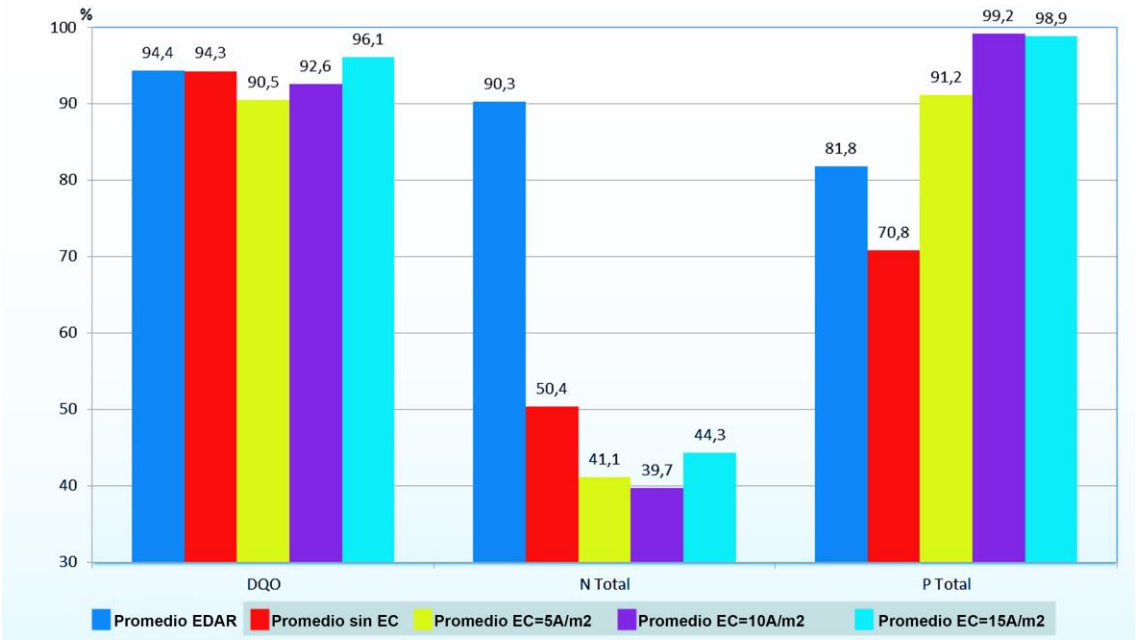

Figura-10: Rendimientos de eliminación entre la EDAR de Santomera y planta piloto sin y con EC

En lo referente a la eliminación del fósforo este es el parámetro en el que se ha observado una clara mejoría con la aplicación de la EC, como podemos ver en el gráfico de la figura-11. Durante el periodo en el que no se aplicó la EC, el porcentaje medio de eliminación fue del 70%. En cambio, con la EC en funcionamiento los rendimientos de eliminación tomaron valores entre el 90% y 99%, en cualquiera de las intensidades de corriente, siendo la de 5 A/m^2 la que presenta valores ligeramente inferiores a las otras dos densidades de corriente.

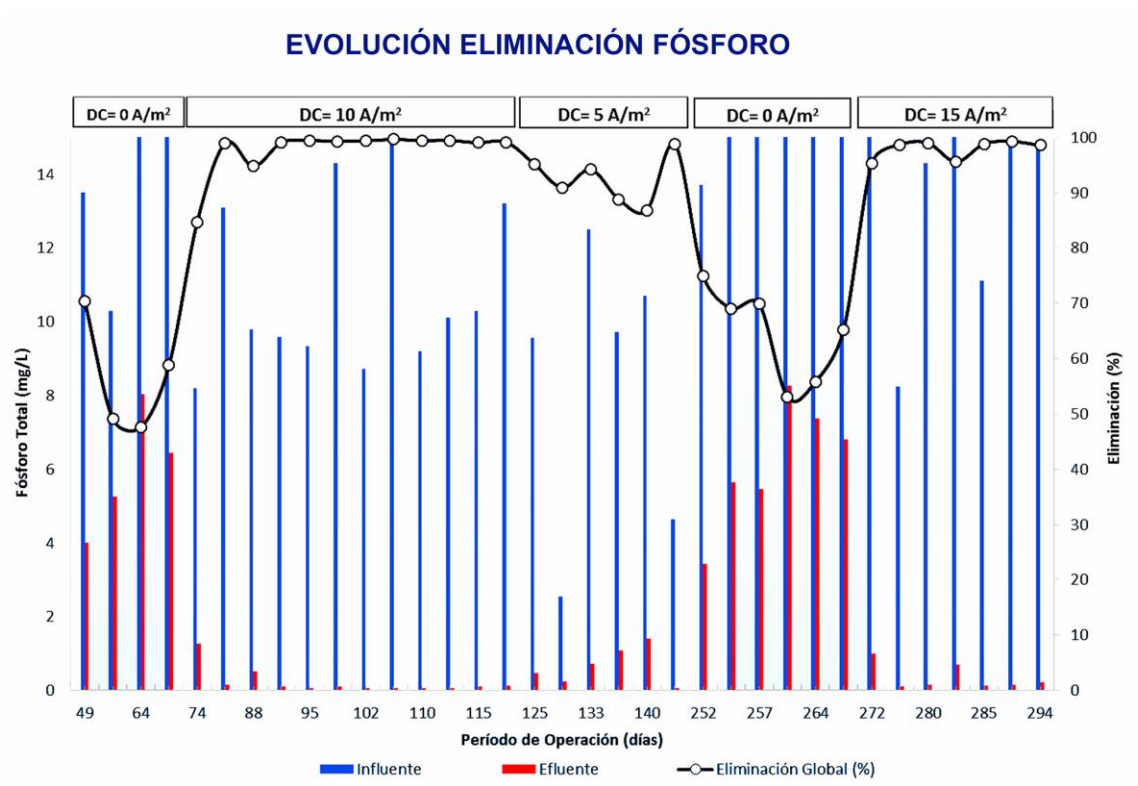

Figura-11: Evolución de la eliminación del fósforo a diferentes intensidades de corriente

3.4.- Contaminantes emergentes

Para el análisis del rendimiento de la eliminación de los contaminantes emergentes, solo hemos empleado los datos obtenidos con la EC de densidad de corriente de 10 A/m^2, debido a que los resultados obtenidos con las otras densidades de corriente no han sido concluyentes.

De los contaminantes emergentes analizados, únicamente aparecen en el influente de forma regular el Acetominoceno, el Diclofenac, la Carbamazepina y la Cafeína. Del resto, o no aparecen o aparecen únicamente trazas de forma ocasional.

De todos los presentes, los que han mejorado su porcentaje de eliminación con la aplicación de electrocoagulación de densidad de corriente de 10 A/m^{2}en la planta piloto, han sido el Acetominofeno (incremento de eliminación del 20%) y la Carbamazepina (con un aumento del 30% en su eliminación) como se observa en el gráfico de la figura-12.

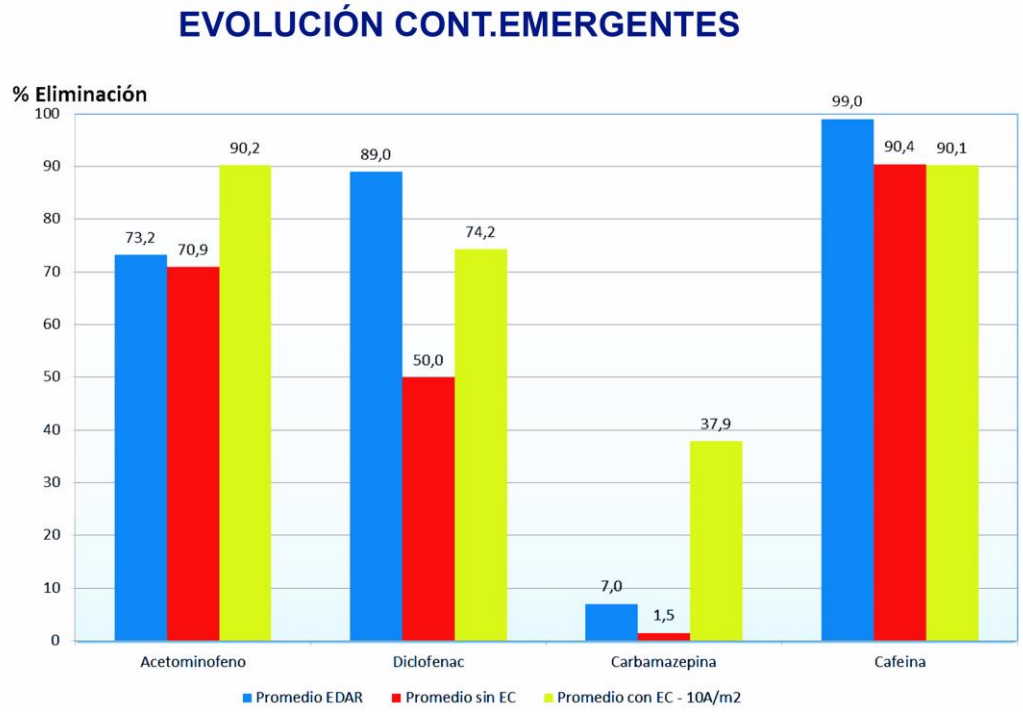

Figura-12: Eliminación de contaminantes emergentes

3.5.- EPS (Sustancias Poliméricas Extracelulares)

En el gráfico de la figura-13 observamos que durante la fase de puesta en marcha las EPS presentaron valores elevados debido a la inestabilidad del sistema, pero tras unas semanas de operación se volvieron estables.

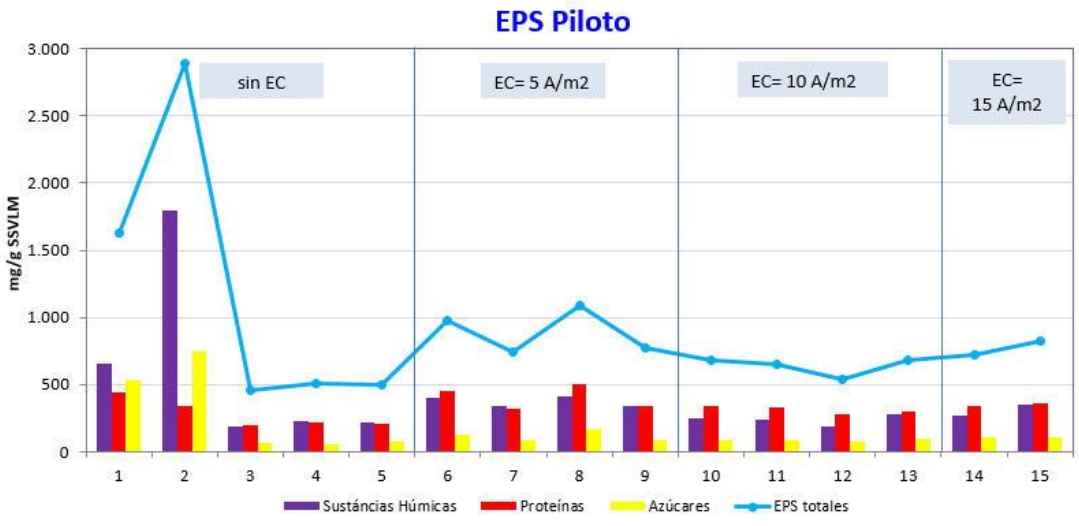

Figura-13: Evolución de las EPS

Tal y como se aprecia en el gráfico de la figura-14, las concentraciones de medias de EPS se reducen tras aplicar las diferentes intensidades de electrocoagulación. En el caso de las proteínas no se aprecia este hecho, mostrando valores ligeramente superiores tras la electrocoagulación.

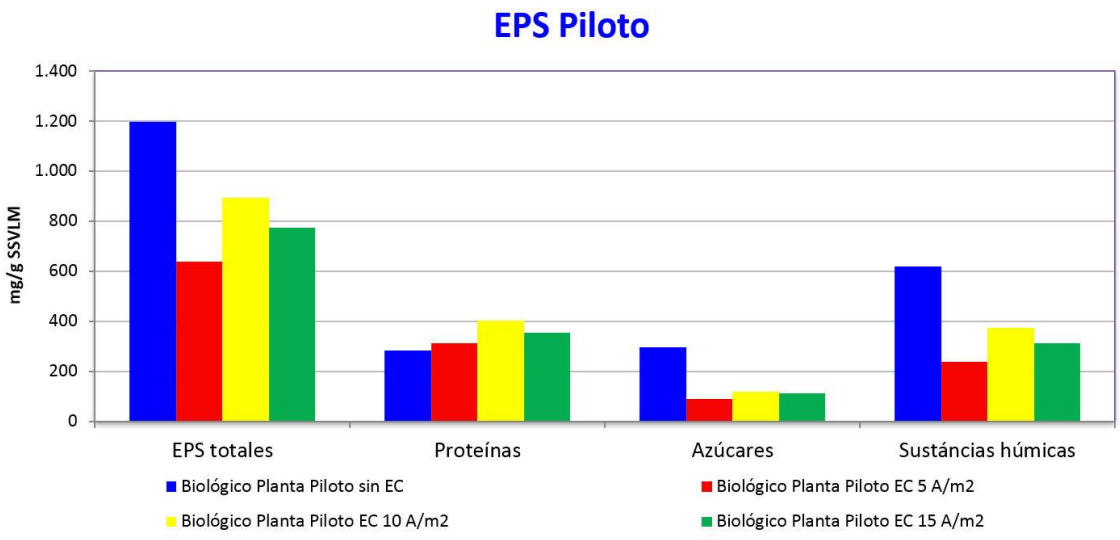

Figura-14: Comparativa valores medios de EPS de la planta piloto-EDAR

3.6.- Consumo energético

El principal inconveniente de los MBRs es el ensuciamiento o fouling de las membranas. En este estudio se aplica la tecnología de la electrocoagulación en la operación del MBR, con el objetivo de obtener una reducción del ensuciamiento en las membranas. Sin embargo, la aplicación de esta tecnología también conlleva a un consumo energético y a la necesidad de reponer los electrodos de sacrificio.

En la gráfica de la figura-5 se muestra el incremento del consumo energético en kwh/m^3 que ha supuesto la aplicación de cada una de las intensidades de EC probadas.

Como se observa en el gráfico, el consumo medio para la intensidad de 5 y 10 A/m^2 es similar. Sin embargo, al aplicar la intensidad de 15 A/m^2 este consumo energético se ve aumentado notablemente.

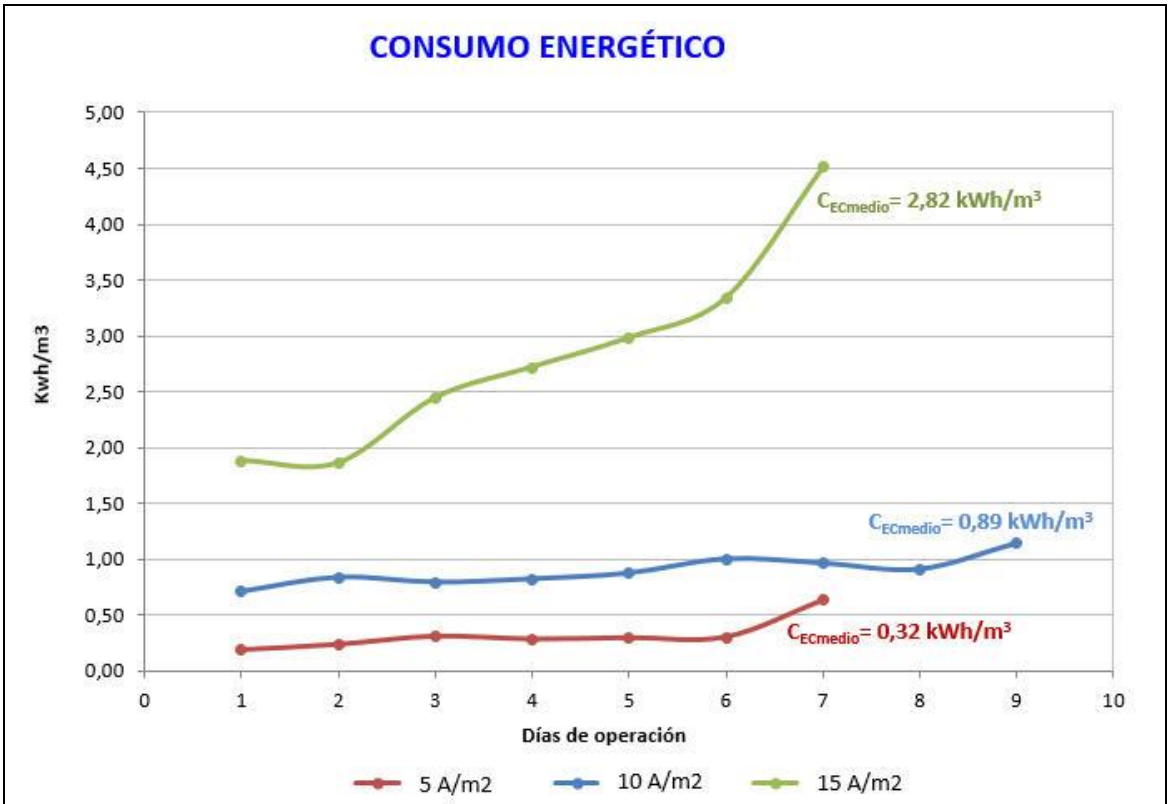

Figura-15: Evolución del consumo energético

A medida que el tratamiento avanza se aprecia un incremento en los consumos energéticos en las tres intensidades, consecuencia del ensuciamiento/deterioro del electrodo de sacrificio, siendo más evidente cuando se trabaja a la intensidad máxima evaluada (15 A/m^2).

4.- CONCLUSIONES

A partir de los datos obtenidos en el estudio descrito se obtienen las conclusiones siguientes:

- En lo referente a la sedimentabilidad del fango, únicamente se aprecia mejora al emplear el tratamiento de electrocoagulación a partir de una intensidad de 15 A/m^2. Por debajo de esta, no hay variaciones significativas entre el fango del reactor MBR con intensidades menores de EC y el fango de la EDAR de Santomera.
- Tras aplicar la electrocoagulación se observa un menor incremento diario de la PTM (presión transmembrana), lo que conlleva a una disminución del ensuciamiento de las membranas. Esto supone una sensible reducción de los ciclos de limpieza de las mismas, facilitando su mantenimiento y ahorrando en los costes asociados.
- En lo que se refiere a la eliminación de carga contaminante (DQO, N y P), con la electrocoagulación se ha obtenido una mejora notable en lo referente a la eliminación de fósforo, con unos rendimientos próximos a un 90-99%. No obstante, en el resto de parámetros analizados no se han observado diferencias apreciables a las intensidades estudiadas.
- En lo referente a los contaminantes emergentes presentes en el influente (Acetominoceno, el Diclofenac, la Carbamazepina y la Cafeína), el Acetominofeno y la Carbamazepina son los que mejores rendimientos de eliminación presentan con la aplicación de la electrocoagulación con un 20% de incremento en el rendimiento en el primer caso y un incremento del 30% en el segundo.
- Respecto a las substancias poliméricas extracelulares (EPS) cabe destacar que la electrocoagulación provoca una sensible reducción en las mismas. Únicamente en las proteínas parece darse un ligero incremento tras haber aplicado el proceso de electrocoagulación.
- Por último, respecto al sobrecoste en energía, a intensidades de 5 y 10 A/m^2 apenas hay incremento del consumo energético. Sin embargo, a 15 A/m^2 sí que hay un sobrecoste importante, cifrado en 2,82 kwh/m^3. Es precisamente a esta intensidad donde se obtienen los mejores resultados en lo referente a la combinación del proceso de electrocoagulación con los biorreactores de membrana.