



MÁSTER EN GESTIÓN Y TECNOLOGÍA AMBIENTAL  
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

**TRABAJO FIN DE MASTER**

**ESTUDIO DEL FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS DE  
ULTRAFILTRACIÓN CON MEMBRANAS EN ETAP Y  
EDAR.**

Félix Ángel Busnadiago Gutiérrez  
Septiembre 2013



Pedro García Encina, profesor/a del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Valladolid, y Roberto Torío Acha, Director Técnico en SOCAMEX

INFORMAN:

Que D. Félix Ángel Busnadiago Gutiérrez ha realizado bajo nuestra dirección el Trabajo Fin de Master titulado “Estudio del funcionamiento de sistemas de ultrafiltración con membranas en ETAP y EDAR”.

*Valladolid, 6 de Septiembre de 2013*

Fdo. Pedro García Encina

Fdo. Roberto Torío Acha

Reunido el Tribunal designado por el Comité Académico del Master en Gestión y Tecnología Ambiental, para la evaluación de Trabajos Fin de Master, y después de estudiar la memoria y atender a la defensa del trabajo “Estudio del funcionamiento de sistemas de ultrafiltración con membranas en ETAP y EDAR” presentado por el alumno D. *Félix Ángel Busnadiago*, decidió otorgarle la calificación de \_\_\_\_\_.

Valladolid, *10 de Septiembre de 2013*

El Presidente

El Secretario

Fdo.:

Fdo.:

Vocal

Fdo.:

## **CONTENIDO**

<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. ANTECEDENTES GENERALES.....</b>	<b>2</b>
2.1. ACS y URBASER .....	2
2.2. SOCAMEX.....	3
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>5</b>
<b>4. CONTENIDO DE LAS PRÁCTICAS.....</b>	<b>6</b>
4.1. ESTUDIO SOBRE EL AUMENTO DE PRESIONES TRANSMEMBRANA (TMPS) EN LAS UNIDADES DE ULTRAFILTRACIÓN DE LA ETAP. ....	6
4.2. ESTUDIO SOBRE PROBLEMAS EN LAS MEMBRANAS DE UN SISTEMA MBR EN UNA PLANTA DE LIXIVIADOS (EDAR).....	16
4.3. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE AMBAS PLANTAS .....	23
<b>5. DISCUSIÓN.....</b>	<b>24</b>
<b>6. JUICIO CRÍTICO .....</b>	<b>25</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>25</b>



## 1. RESUMEN

Dentro de las modalidades previstas en el Máster en Gestión y Tecnología Ambiental de la Universidad de Valladolid para el desarrollo del Trabajo de Fin de Máster, se encuentra la denominada "*Proyecto en Empresa*", que consiste en la realización de prácticas en empresas relacionadas con la gestión y tecnología ambiental.

La presente memoria recoge el trabajo llevado a cabo en la empresa SOCAMEX, filial de URBASER dedicada a la gestión de aguas. Más concretamente, las prácticas se realizaron en la oficina técnica de la primera planta del edificio de SOCAMEX, que está situado en el polígono industrial de San Cristóbal (Valladolid).

En las prácticas se realizó un estudio sobre las unidades de ultrafiltración con membranas de dos plantas de tratamiento de aguas, una para la potabilización de agua (ETAP) y otra para la depuración de aguas residuales altamente contaminadas (EDAR).

El objetivo de este estudio era realizar un seguimiento de las unidades de ultrafiltración de cada planta, ya que se estaban dando descensos puntuales en el rendimiento, por lo que se trataba de analizar las causas de este descenso, las consecuencias que suponía y si las soluciones propuestas estaban o no teniendo efecto, todo en base al histórico de funcionamiento.

A mayores se realizó una comparación entre los problemas de ambas plantas, analizando los posibles problemas más comunes que pueden tener las membranas de ultrafiltración, y tratando de mostrar una serie de recomendaciones de funcionamiento y mantenimiento para optimizar el rendimiento de estas membranas y aumentar su fiabilidad.

## 2. ANTECEDENTES GENERALES

La empresa SOCAMEX es filial de aguas del grupo URBASER, y ésta a su vez pertenece al grupo ACS.

### 2.1. ACS y URBASER

El grupo ACS, Actividades de Construcción y Servicios, es una referencia mundial en las actividades de infraestructuras, servicios industriales, energía y medioambientales.

El grupo ACS, a través de su empresa de medio ambiente URBASER, es líder en gestión y tratamiento de residuos. Desarrolla las actividades de limpieza viaria y áreas verdes, retirada y transporte de residuos, tratamiento y reciclaje de residuos, gestión integral del ciclo del agua y valorización energética.

Cubre toda la cadena de valor en la prestación de estos servicios, desde el diseño y concepción, realización del proyecto, construcción, financiación y operación con un equipo profesional altamente cualificado.



URBASER está compuesta por varias filiales que dan los servicios que podemos ver en el organigrama. Una de estas empresas es SOCAMEX, dedicada a la gestión integral del ciclo del agua.



## 2.2. SOCAMEX

SOCAMEX, S.A. nació en 1988 con una clara orientación hacia el medio ambiente y el servicio público. A través de esta filial de URBASER se gestionan todos los contratos de Gestión del Agua.

Además de su amplio volumen de actuaciones en el área de la gestión integral del agua a nivel nacional, tiene una extensa presencia internacional tanto en Europa como en el resto del mundo. Destaca la presencia de servicios gestionados en Francia, Inglaterra, Marruecos, Argentina,...atendiendo a más de 7,5 millones de personas en todo el mundo.

Dispone de personal altamente cualificado y multidisciplinar con un gran conocimiento del funcionamiento del ciclo del agua, así como una amplia experiencia en la gestión y el diseño de plantas de tratamiento de aguas.

Trabaja tanto con las distintas administraciones públicas como con clientes privados, ofreciendo sus servicios en el campo de la ingeniería y gestión integral del agua, realizando tareas de diseño, construcción y mantenimiento y explotación de plantas depuradoras y potabilizadoras, instalaciones de tratamiento de aguas y tratamiento de residuos, así como de la asistencia técnica a empresas, municipios y comunidades.

SOCAMEX Opera servicios relacionados con todos los aspectos del "Ciclo Integral del Agua", como son:

- Tratamiento de agua potable y depuración de aguas residuales urbanas y/o industriales.
- Gestión integral del agua.
- Planes de inversiones.
- Redes de saneamiento.
- Redes de captación, conducción y distribución de agua potable.
- Plantas desaladoras y regeneración de aguas.
- Gestión comercial de usuarios de servicios de aguas.
- Gestión de lodos de plantas de tratamiento de aguas.
- Explotación y mantenimiento de plantas de tratamiento.
- Control analítico de aguas.
- Regeneración de aguas.
- Desarrollo de Proyectos I+D+i.

### Construcción

En los últimos años SOCAMEX,S.A. ha experimentado un importante crecimiento de su actividad constructora, realizando obras de depuración de aguas residuales y de potabilización de aguas con destino al consumo humano de gran envergadura para empresas, administraciones locales, autonómicas y estatales.

### Diseño

SOCAMEX dispone de un equipo técnico de alta cualificación y con amplia experiencia en el desarrollo completo de proyectos y en el diseño de nuevas instalaciones hidráulicas, aplicando los más innovadores avances tecnológicos para la optimización de sus diseños. A través de sus actividades de I+D+i se refuerza la búsqueda de las mejores soluciones tecnológicas para cada situación.

### Mantenimiento y explotación

La experiencia del personal cualificado, ha permitido el constante aumento de las instalaciones a gestionar a nuestro cargo. Actualmente SOCAMEX está tratando los siguientes caudales:

TOTAL m<sup>3</sup> tratados de EDAR: 20.413.435 m<sup>3</sup>/año

TOTAL m<sup>3</sup> tratados ETAP: 5.642.190 m<sup>3</sup>/año

TOTAL m<sup>3</sup> tratados EDARI: 3.596.900 m<sup>3</sup>/año

### Limpiezas industriales

Dado que los trabajos de explotación en las estaciones de tratamiento de aguas implican en numerosas ocasiones el empleo de equipos autopropulsados de limpieza industrial, y dadas las necesidades de este sector de servicios, SOCAMEX cuenta con una flota de vehículos industriales para la realización de los mismos, todo ello manejado por personal altamente cualificado y con gran experiencia en este tipo de trabajos. SOCAMEX trabaja para entes públicos y clientes privados ofreciendo sus servicios de limpiezas de redes de saneamiento y alcantarillado, fosas sépticas, depósitos de almacenamiento de residuos, etc.

### Concesiones

SOCAMEX es concesionario del derecho de explotación de distintas instalaciones de gestión y tratamiento de aguas. El espíritu de la gestión integral del agua se muestra claramente en esta área en el que se integra la asistencia técnica, diseño,

construcción y ampliación de instalaciones, mantenimiento y explotación de las infraestructuras y una personalizada relación y atención con los clientes.

### Análisis

SOCAMEX dispone de un laboratorio de análisis de aguas, tanto potables como continentales y residuales, así como de fangos y de caracterización de vertidos. Está dotado de profesionales que cuentan con equipos a la vanguardia de las últimas tecnologías. Este laboratorio está acreditado en la UNE EN ISO/IEC17025, para la realización de ensayos en el sector ambiental dando un apoyo fundamental en el análisis de parámetros y calidades del agua en cumplimiento de la legislación vigente actualmente.

Además, la empresa LGA, perteneciente al Grupo Urbaser, complementa a SOCAMEX en la realización de estas actividades de análisis de aguas y fangos.

### **3. OBJETIVOS**

El objetivo principal de estas prácticas ha sido el de realizar un estudio sobre membranas de ultrafiltración de dos plantas de tratamiento de aguas gestionadas por SOCAMEX, una ETAP y una EDAR. Este estudio se realiza porque se dieron bajadas en el rendimiento de las unidades de UF de estas plantas, y se quiere recoger una explicación escrita del problema, así como un seguimiento del proceso de recuperación de las membranas, apoyado con datos y gráficas.

Para lo anterior, es necesario conocer los distintos procesos que se llevan a cabo tanto en la ETAP como en la EDAR, así como las características del agua a tratar y del agua de salida de ambas plantas. También es necesario conocer perfectamente en qué consisten las unidades de ultrafiltración, las diferencias entre cada una, las labores de mantenimiento que se deben realizar y los problemas más comunes que se suelen dar en la UF.

## 4. CONTENIDO DE LAS PRÁCTICAS

Como ya se ha indicado, el estudio realizado se divide en dos apartados:

- Estudio sobre las presiones transmembrana en una planta potabilizadora de agua (ETAP) con dos unidades de membranas de UF presurizadas tubulares.
- Estudio sobre problemas en membranas de una planta depuradora de aguas altamente contaminadas (lixiviados) (EDAR) con un sistema MBR, en el que las membranas son tubulares y externas al reactor biológico.

Ambos apartados se estructuran de la misma manera, comienzan con una descripción de la planta, continúan con una explicación del funcionamiento del sistema de membrana, explican detalladamente los problemas (apoyados con datos y gráficas) y se muestran las soluciones tomadas. Se concluirá esta memoria con una serie de conclusiones comunes a ambos estudios.

### 4.1. ESTUDIO SOBRE EL AUMENTO DE PRESIONES TRANSMEMBRANA (TMPS) EN LAS UNIDADES DE ULTRAFILTRACIÓN DE LA ETAP.

#### 4.1.1. Introducción

La ETAP objeto del estudio, tras cerca de dos años de funcionamiento y trabajando aproximadamente al 50% de su capacidad, registró, en momentos puntuales, un descenso del rendimiento de filtración en las unidades de UF, bajando ligeramente la permeabilidad y aumentando las presiones transmembrana (TMPs). Además, los retrolavados y lavados químicos (CEB) no eran capaces de recuperar el nivel normal de rendimiento.

El objetivo de este estudio, es estudiar la evolución del rendimiento de las unidades de UF (dos unidades) a lo largo del año 2012 y 2013, localizando y estudiando aquellos momentos puntuales en los que se produjo la bajada de rendimiento, analizando las posibles causas y cómo se solucionaron.



Foto 1: Unidades de ultrafiltración (UF) de la ETAP

#### 4.1.2. Descripción de la planta

Aunque no se van a detallar estos procesos en este TFM, sí que es conveniente dar una breve descripción de la ETAP, para poder entender con mayor facilidad los problemas que afectaron a las membranas.

El sistema de tratamiento de la ETAP se basa en

- Tamizado mediante un rototamiz
- Oxidación mediante preozonización o adición de hipoclorito sódico
- Coagulación mediante policloruro de aluminio
- Ultrafiltración mediante membranas
- Ozonización intermedia
- Filtración mediante carbón activo granular
- Remineralización con adición de CO<sub>2</sub> y cal
- Desinfección final mediante hipoclorito
- Depósito de agua tratada



Foto 2: Rototamiz



Foto 3: sistema de generación de O<sub>3</sub>



Foto 4: depósito de PACI



Foto 5: membranas de UF



Foto 6: filtración mediante CA



Foto 7: Remineralización



Foto 8: Adición de hipoclorito



Foto 9: depósito de agua tratada

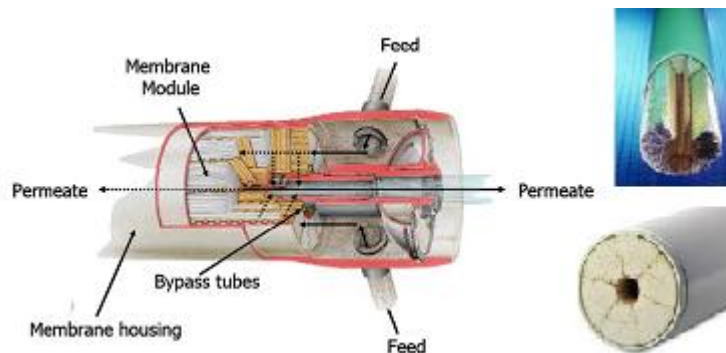
### 4.1.3. Membranas de ultrafiltración

A continuación se da una descripción de las membranas de ultrafiltración, explicando su funcionamiento y las labores de mantenimiento que requieren.

#### Principios de funcionamiento

La separación sólido líquido se realiza mediante dos bastidores de membranas de ultrafiltración, en las que el agua de alimentación es impulsada al interior de las membranas, permeando a través de las fibras a baja presión, el agua es recogida en el tubo central de cada membrana, siendo depositada en el tanque de agua ultrafiltrada.

Este sistema opera en modo dead end (extremo cerrado), reteniendo todos los sólidos en suspensión en la superficie de la membrana, formando una torta que se retira periódicamente mediante retrolavados con el propio agua filtrada y lavados con químicos eventuales.



Esquema 1: funcionamiento de la membrana

#### Retrolavados

Conforme avanza la ultrafiltración los sólidos que arrastra el agua bruta son retenidos en la superficie de la membrana, formando una torta que implica un aumento de la presión transmembrana y un descenso de la permeabilidad, por lo que periódicamente se realiza un retrolavado con el propio agua ultrafiltrada.

En el retrolavado se invierte el funcionamiento de las membranas, se toma agua del depósito de agua ultrafiltrada y se impulsa una corriente con elevado flujo (l/mh) en sentido inverso a la filtración, con objeto de retirar la capa de sólidos depositada.

El retrolavado finaliza una vez se ha alcanzado el tiempo fijado por el usuario, volviendo de esta forma el ciclo de ultrafiltración a estado inicial y dispuesto a un nuevo ciclo de filtración.

### Lavado con químicos (CEB)

El retrolavado elimina los sólidos depositados en la membrana, sin embargo algunas sustancias, de origen orgánico y microbiano se adhieren en los poros de la membrana, aumentando el ensuciamiento, por lo que deben ser eliminadas periódicamente mediante una limpieza con productos químicos:

- Hipoclorito sódico
- Hidróxido sódico (sosa)
- Ácido clorhídrico

El retrolavado con químicos comienza cuando se dan las condiciones para un retrolavado y además se ha alcanzado el contador de lavado químico fijado por el usuario (actualmente fijado en 50 retrolavados).

El ciclo de lavado con químicos comienza con un retrolavado normal seguido de un período de flujo reducido, posteriormente se produce la dosificación de los primeros reactivos químicos (sosa e hipoclorito sódico) manteniendo el funcionamiento de las bombas de retrolavado con flujo reducido. Posteriormente se realiza el paro de las bombas de retrolavado y cierre de válvulas, para disponer de una etapa en la que las membranas se encuentren en contacto con los reactivos químicos. Durante esta etapa se dispone de un aviso “flag químicos” que avisa de la presencia de reactivos en las membranas.

Transcurrido un determinado tiempo se procede a realizar un nuevo retrolavado para la eliminación de químicos en el sistema.

Finalizada la dosificación de los primeros reactivos se procede a realizar los mismos pasos con el otro reactivo: ácido clorhídrico.

### Limpiezas de recuperación (CIP recuperación)

En ocasiones, puede darse un ensuciamiento en las membranas que los retrolavados y las limpiezas CEB habituales no sean capaces de eliminar, bien por el tipo de ensuciamiento, o por el lado de la membrana en el que se produce.

En estos casos se produce un aumento de la presión transmembrana, que no consigue recuperarse al final de los ciclos de filtración. Debido a ello se aplican determinados productos químicos cuyo objetivo es eliminar el ensuciamiento en una sola aplicación cada cierto tiempo.

Los productos a aplicar varían en función del tipo de suciedad presente en la membrana, a continuación se nombran los más utilizados:

- Suciedad orgánica: Hipoclorito, Divos, Lavasol, etc
- Suciedad inorgánica: ácido oxálico, ácido ascórbico, ácido cítrico, etc.

Para saber qué tipo de suciedad está presente en la membrana, hay principalmente dos formas de actuar, o realizar la autopsia de un módulo de membrana o realizar limpiezas CIP siguiendo el método del ensayo y error.

En esta planta se aplicaron los siguientes productos químicos para las limpiezas de recuperación, mediante el método de ensayo y error:

- Ácido oxálico (para solucionar un posible ensuciamiento inorgánico)
- Ácido ascórbico (para solucionar un posible ensuciamiento inorgánico)
- Hipoclorito (para solucionar un posible ensuciamiento orgánico)

#### Filosofía de control

- El ciclo de filtración se para si se alcanza una alta TMP de 0,6 bar (la TMP normal de funcionamiento debería variar entre 0,12-0,24 bar)
- El ciclo de filtración se para si se alcanza un volumen determinado 50 m<sup>3</sup> (actualmente se trabaja a flujo constante, parando al alcanzar el volumen de filtración fijado).
- Se alcanza el valor de baja permeabilidad.
- Se alcanza el nivel de agua máximo en el tanque de agua ultrafiltrada

En caso de que se alcance alguna de las tres primeras condiciones, automáticamente esa línea entraría en un ciclo de retrolavado.

#### **4.1.4. Estudio de la evolución de presiones**

##### Datos iniciales

Para este estudio se ha partido de la siguiente información:

- Datos de presiones en las dos unidades de UF. Estos datos incluyen los valores de presiones (en bares) de cada minuto desde Mayo 2012 hasta Junio 2013.
- Aplicación de productos químicos. Incluye fechas de limpiezas CEB y limpiezas de recuperación CIP con oxálico y ascórbico.
- Proyecto constructivo de la ETAP.

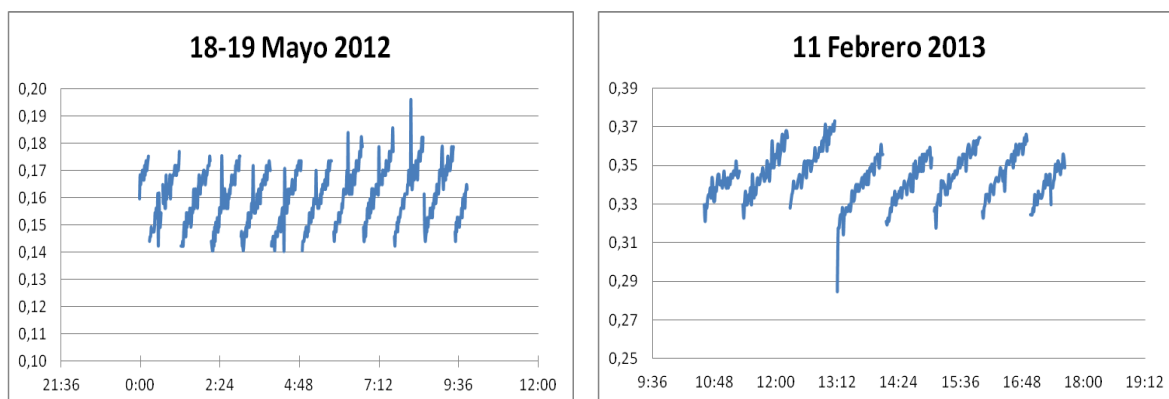
##### Procedimiento de estudio de la TMP en UF1 y UF2

A partir de los datos iniciales de presiones se elaboraron una serie de gráficas que representan la evolución de la presión transmembrana (TMP) de las unidades de



ultrafiltración (UF1 y UF2) a lo largo de los ciclos de filtración, desde Mayo del 2012 hasta Junio del 2013, aproximadamente una gráfica cada 7 días.

Éstas gráficas no se van a incluir en este TFM debido a su gran extensión, por lo que se van a resumir en dos grandes gráficas, donde también van a poder apreciarse las fechas de aplicaciones de los distintos productos químicos. En estas gráficas se puede ver la evolución general, pero para ver lo que ha sucedido en un día o incluso en un mes concreto con más detalle, es necesario recurrir a las gráficas diarias.



Gráficas 1 y 2: ejemplo de gráficas diarias

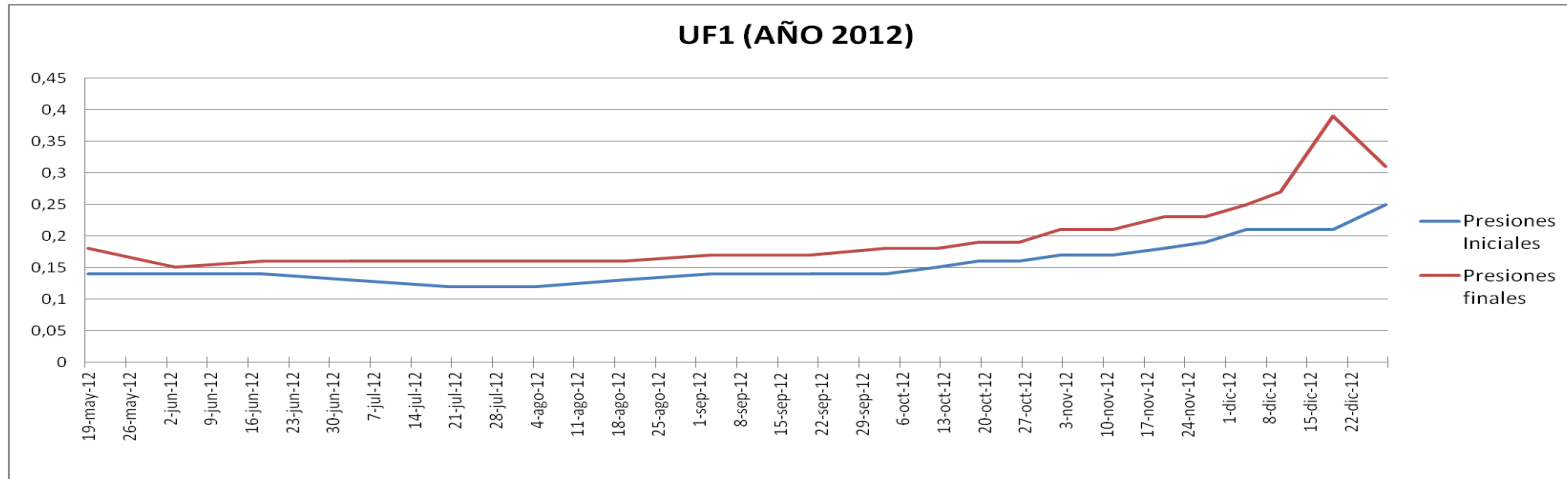
Aquí se puede ver un ejemplo de qué aspecto tienen las gráficas diarias, se han puesto estas dos como ejemplo. En la primera vemos como cada ciclo de filtración (con una duración de 54 min) empieza en un valor de TMP normal de aproximadamente 0,14 bares. Tras los retrolavados el ciclo siguiente recupera casi por completo el nivel de presión y comienza nuevamente en 0,14 y así sucesivamente. Sin embargo a medida que avanzan los meses (segunda gráfica) se ve como la TMP media es más alta y los ciclos no se recuperan como antes tras cada retrolavado.

Para elaborar las gráficas resumen se han tomado los valores de la TMP inicial del primer ciclo de filtración y la TMP final del último ciclo de filtración de cada gráfica diaria.

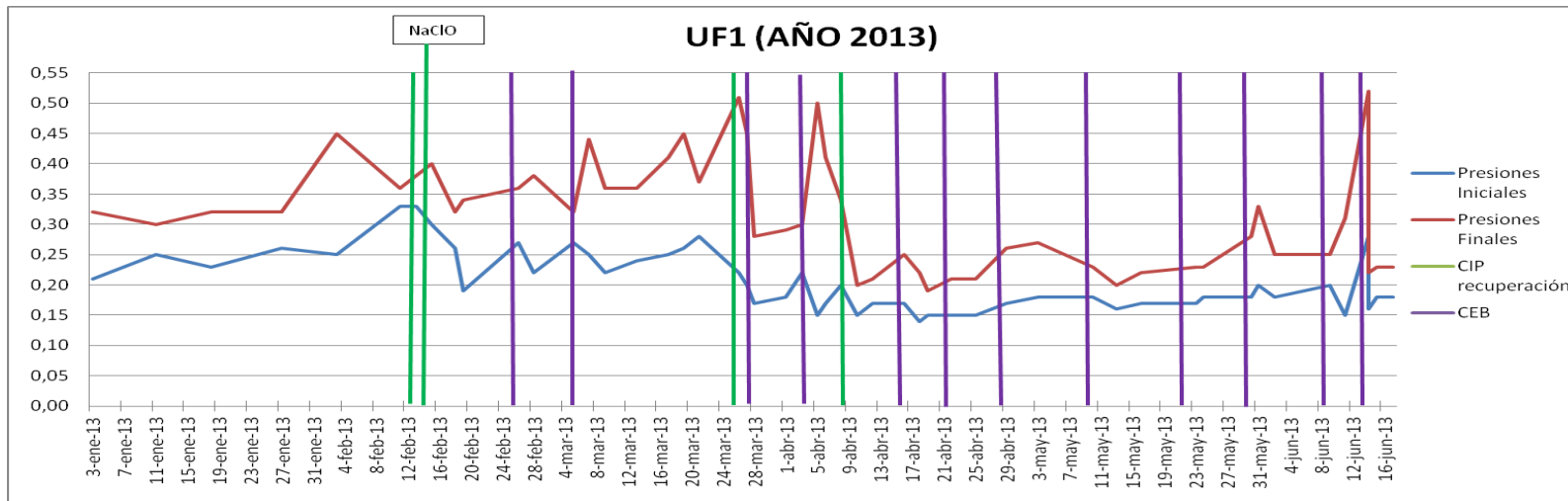
El objetivo es poder ver de una sola pasada la evolución a lo largo del periodo de tiempo de la TMP en cada unidad de ultrafiltración, identificando los puntos de mayor presión y el momento en el que se estabilizaron.

### Evolución anual

A continuación se presentan las **gráficas resumen** de la unidad de ultrafiltración UF1 (las de UF2 son prácticamente iguales).



Gráfica 3: Evolución de la TMP en la unidad de UF1 durante el año 2012



Gráfica 4: Evolución de la TMP en la unidad de UF1 durante la primera mitad del año 2013

Analizando el comportamiento de la TMP a lo largo del año 2012 se observa:

- Las dos líneas tienen un comportamiento similar, trabajando con un flux constante de 52 l/mh y siempre lavando por haber alcanzado el tiempo (y volumen) máximo fijado en la filosofía de control.
- Desde mayo 2012 hasta noviembre de 2012 el rendimiento en ambas líneas es normal, manteniéndose la TMP entre 0,1 y 0,25 bares
- A partir de diciembre se observa que en los primeros ciclos de cada día de filtración la TMP va aumentando y no recupera, es decir cada ciclo empieza con una TMP superior a la que empezaba el anterior. La TMP incrementa hasta casi doblar los valores que se venían dando últimamente.
- Se puede concluir que se ha empezado a producirse un ensuciamiento que ni los retrolavados ni los lavados químicos CEB son capaces de eliminar.

Analizando el comportamiento de la TMP a lo largo del año 2013 se observa:

- Sigue el incremento de la TMP los primeros meses del 2013 (Enero, Febrero, Marzo) produciéndose un periodo de inestabilidad con muchas subidas y bajadas puntuales, pero la presión media sigue aumentando y no consigue recuperarse.
- Las limpiezas químicas (CEB) y las de recuperación CIP de estos meses no resultan efectivas (tanto las de oxálico y abscórbico como las de hipoclorito).
- A partir del 26-30 Marzo se soluciona un problema con una válvula de alimentación de las soluciones de limpieza, cuando se realizaban las limpiezas de recuperación con oxálico y abscórbico (de ahí que las limpiezas CIP no tuvieran el efecto deseado). Al solucionar el problema las limpiezas de recuperación empiezan a ser efectivas y se produce la bajada de las presiones medias hasta niveles aceptables de funcionamiento (entre 0,15 – 0,25 bar).
- En torno al 13 de Junio la presión se dispara una vez que se había recuperado la TMP. Esto es debido a problemas en la dosificación del coagulante, ya que la tubería estaba completamente obstruida y no dosificaba. En cuanto se solucionó el problema, se recuperó la presión a los niveles normales.
- Se confirma que se trataba de un ensuciamiento inorgánico, ya que a partir del 26-30 de abril las limpiezas CIP con oxálico y abscórbico consiguen bajar los niveles de presión transmembrana.

#### 4.1.5. Conclusiones

##### Ensuciamiento inorgánico (fouling inorgánico)

El descenso del rendimiento en las unidades de UF se cree que fue debido a un ensuciamiento inorgánico, llamado comúnmente fouling inorgánico.

**Fouling:** *los materiales se acumulan en las paredes de las membranas, obstruyendo los poros. En función del tipo de material acumulado, se puede hablar de fouling inorgánico o fouling orgánico. Para la eliminación de cada tipo de fouling es necesaria la aplicación de diferentes productos químicos. Este tipo de ensuciamiento es más común en las ETAPs, debido al tipo de agua que se trata, así como el tipo de contaminantes que se retienen.*

El fouling pudo ser debido a una acumulación de aluminio en las membranas en el lado del permeado, lo que explicaría el por qué los retrolavados y los lavados químicos CEB no eran capaces de eliminarlo (ya que van en sentido contrario).

El aluminio procede del coagulante utilizado en la etapa anterior de coagulación. A pH bajo, el aluminio permanece disuelto y atraviesa la membrana. Cuando el pH aumente, puede producirse un ensuciamiento de aluminio en el lado del permeado, por lo que es necesaria una limpieza de recuperación (CIP) que vaya en el mismo sentido que el agua a filtrar.

El problema se puede solucionar de dos formas:

- Bajando la dosis de coagulante (si es posible) para evitar la acumulación de aluminio.
- Realizando cada cierto tiempo limpiezas de recuperación CIP, que eliminen la acumulación de aluminio. El problema de estas limpiezas es que son agresivas con la membrana y pueden reducir su vida útil.

##### Limpiezas de recuperación (CIP)

Como se podrá comprobar en las gráficas adjuntas, se realizaron limpiezas de recuperación (CIP) con hipoclorito, ácido oxálico y abscórbico en las fechas señaladas, para volver a los niveles normales de presión.

De hipoclorito sódico sólo se realizó una limpieza, que no tuvo ningún efecto, se cree que es porque no se trataba de suciedad orgánica.

Las limpiezas con oxálico y abscórbico (para ensuciamiento inorgánico) anteriores al 26-30 Marzo tampoco funcionaron como se esperaba.

Esto era debido a que no se realizaba un cerrado óptimo de válvulas en el momento de la limpieza. Una vez solucionado en las fechas ya señaladas del 26-30 Marzo, las limpiezas CIP posteriores con oxálico y abscórbico surtieron el efecto deseado, bajando la TMP a los niveles normales.

### Problema en la válvula de cierre

Como se ha indicado anteriormente, el problema de esta válvula no fue técnico sino de ejecución. Durante el CIP:

- La válvula de alimentación del CIP debe estar abierta (entrada)
- La válvula de retorno del CIP del lado de alimentación debe estar abierta (salida)
- La válvula de retorno del CIP del lado del permeado debe estar abierta (salida)
- El resto de válvulas automáticas deben estar cerradas

El problema venía en que no se cerraba una de estas válvulas automáticas. Al cerrarla, empezó a pasar el doble de flujo de la solución de limpieza del que pasaba antes, y en la dirección deseada, que es en modo "dead end", es decir, pasando toda la solución de limpieza a través de las membranas y haciéndola salir solo por el lado del permeado.

Al no cerrar la válvula, lo que se conseguía era que la mitad del flujo pasara directamente por el lado del permeado, y la otra mitad fuera en modo "dead end". Se piensa que la suciedad estaba acumulada en el lado del permeado, por lo que era necesario operar en modo "dead end" al completo.

A partir de este punto se bajó la TMP a niveles normales. Sin embargo, este tipo de limpiezas hay que tratar de usarlas solo cuando sea estrictamente necesario, puesto que son agresivas con la membrana y pueden reducir su vida útil.

### Dosis de coagulante

Como ya se ha indicado, el problema de la bajada de rendimiento se cree que es debido a un ensuciamiento inorgánico de aluminio a causa del coagulante. Actualmente la dosis está en 4 ppm para el flux actual, siendo la misma a lo largo de todo el periodo de estudio. Se cree que la dosis podría reducirse ligeramente para evitar futuros problemas similares.

### Conclusión del estudio

El problema en las membranas de ultrafiltración de esta planta era de fouling inorgánico (problema muy común que se da simplemente por el uso habitual de las membranas) debido al aluminio. En esta planta se busca un agua de muy alta calidad, por lo que tiene un gran número de procesos y un pretratamiento importante. Debido a esto no era lógico que el problema fuera de origen orgánico, por lo que no era descabellado pensar que el problema venía de alguna etapa anterior (aluminio procedente del coagulante)

Este fouling inorgánico aumentó las presiones transmembrana y redujo la permeabilidad. Lo normal era haber solucionado el problema con unas limpiezas de recuperación, pero a esto se le unió el hecho de no realizar un correcto cerrado de válvulas, por lo que no se recuperaba el nivel normal de presión. Llevo mucho tiempo darse cuenta de qué era lo que no se estaba haciendo correctamente en la planta, pero una vez descubierto no se tardó nada en solucionarlo y actualmente las membranas funcionan correctamente a los niveles de presión transmembrana habituales.

## **4.2. ESTUDIO SOBRE PROBLEMAS EN LAS MEMBRANAS DE UN SISTEMA MBR EN UNA PLANTA DE LIXIVIADOS (EDAR).**

### **4.2.1. Introducción**

La planta de tratamiento de lixiviados (EDAR) objeto del estudio, ha visto como en los últimos meses se ha reducido su caudal de permeado (procedente de las membranas de ultrafiltración) hasta alcanzar valores de 0,4 m<sup>3</sup>/h, cuando el nivel habitual estaba entre 0,7 - 1 m<sup>3</sup>/h. Este valor de 0,4 m<sup>3</sup>/h es un valor inadmisibles para continuar con la actividad de la planta.

El objetivo de este estudio es el de analizar las causas del descenso del caudal de permeado. También se tratará de identificar el origen y el tipo de ensuciamiento producido y cómo se ha eliminado éste del sistema.

### **4.2.2. Descripción de la planta**

Como en el estudio anterior, se va a describir muy brevemente en qué consiste la planta de tratamiento de lixiviados:

- Depósito de lixiviados
- Pretratamiento (tamizado mediante un rototamiz y separador de arenas y grasas)
- Tanque de desastres (con capacidad para almacenar el lixiviado producido en 1 día)
- Reactor biológico (dos cámaras, una anóxica y otra aerobia)
- Ultrafiltración (UF) (junto con el reactor biológico forman el sistema MBR)
- Ósmosis inversa (OI)
- Tanque de homogeneización de fangos
- Deshidratación de fangos

### **4.2.3. Biorreactor de membrana (Sistema MBR)**

#### Principios de funcionamiento

La tecnología de bioreactor de membrana (MBR) se puede definir como la combinación de dos procesos, por un lado la degradación biológica y por otro la separación mediante membrana. Todo esto se une en un solo proceso en el que los sólidos en suspensión y microorganismos responsables de la biodegradación son separados del agua tratada mediante una unidad de filtración por membrana.

Por lo tanto, los bioreactores de membrana están compuestos por dos partes principales que son:

- La unidad biológica responsable de la degradación de los compuestos presentes en el agua residual.
- El módulo de la membrana encargado de llevar a cabo la separación física del licor de mezcla.

#### Descripción de la unidad biológica

La unidad biológica consiste en una nitrificación-desnitrificación, por lo que el reactor está formado por dos cámaras, una anóxica con ausencia de oxígeno y otra aerobia con inyección de oxígeno.

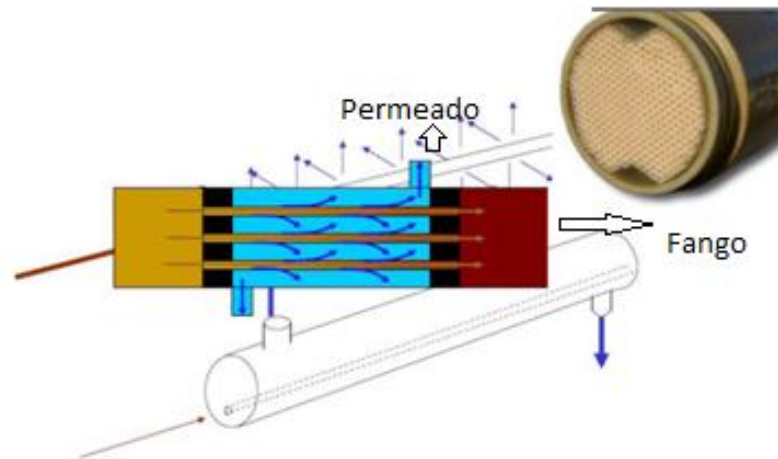
Los lixiviados del vertedero presentan una carga orgánica reducida y resistente a la degradación biológica, puesto que la antigüedad y el tamaño del vertedero hacen que la fracción fácilmente degradable se transforme en biogás en el propio vertedero. Sin embargo, presentan una carga de nitrógeno amoniacal importante.

Por ello, para la adecuada depuración de este tipo de lixiviado es recomendable un tratamiento biológico de nitrificación-desnitrificación.

#### Descripción del módulo de membrana

Cabe destacar que, a diferencia de las membranas del estudio anterior, éstas trabajan a presión constante, por lo que, cuando hay un problema, lo que se ve afectado es su caudal de permeado, no se da un aumento de la TMP como en el caso anterior.

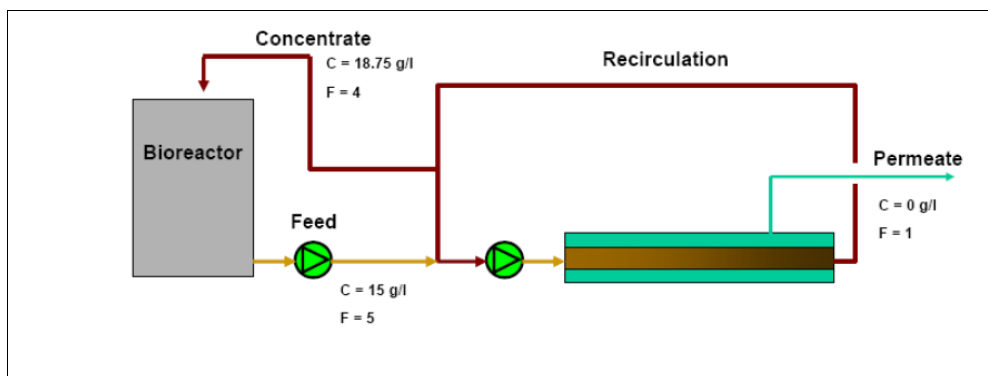
El diagrama del módulo de membrana instalado se muestra en la imagen inferior donde puede observarse el sistema de filtrado.



Esquema 2: funcionamiento de la membrana

El sistema se trata de una unidad de membrana presurizada externa al reactor. El licor mezcla se introduce por un extremo y el permeado es conducido por los intersticios de las fibras huecas mientras que el concentrado queda y se recircula al reactor biológico o se extrae como fangos en exceso en el depósito de fangos,

Una representación esquemática se muestra a continuación:



Esquema 3: sistema MBR

Entre el flujo de alimentación y el flujo de permeado hay la siguiente relación:

$$\text{FEED FLOW} = 5 \times \text{PERMEATE FLOW}$$

Sin embargo, se ha llegado a la conclusión de que hubiera sido más apropiada la siguiente relación, que nos evitaría riesgos de aumento de concentración del fango:

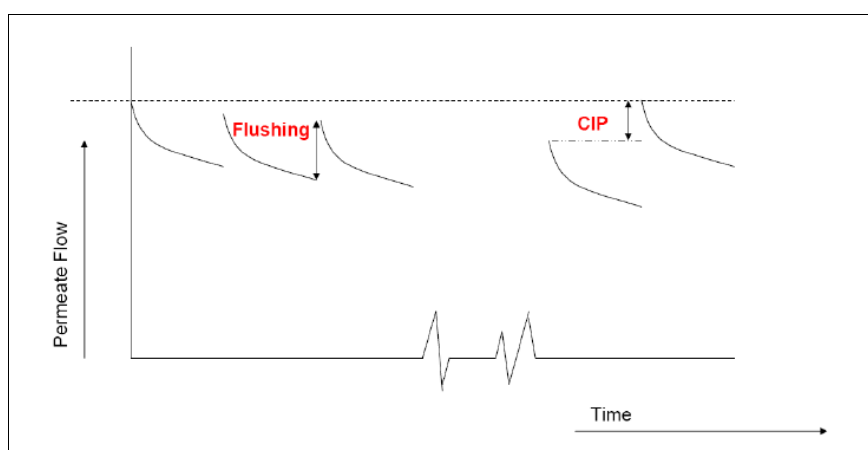
$$\text{FEED FLOW} = 10 \times \text{PERMEATE FLOW}$$

La bomba de alimentación está dimensionada para la primera relación, esto no ha sido el responsable del problema del que habla más adelante, pero sería más recomendable haber dado un margen más amplio de seguridad, ya que no supondría un incremento del coste elevado.



## Lavado de membranas

El sistema de membranas requiere en cada parada (ya sea por las alarmas definidas en el manual de funcionamiento o por las consignas establecidas de tiempo o niveles en los reactores) de una limpieza o flushing con agua ultrafiltrada, estos tiempos pueden ser modificados según las exigencias de la membrana, de esta forma evitaremos el atascamiento en cada parada y la recuperación del caudal de permeado como se muestra en la siguiente gráfica, en la cual se representa cómo evoluciona el caudal de permeado en el tiempo y las operaciones de flushing (o lavado).



Esquema 4: Función del lavado de membranas

Una de las razones por la que se produce una reducción importante en el caudal del permeado, puede ser por la existencia de suciedad acumulada en la membrana. Para solucionar este problema es necesario realizar lavados en la membrana de forma constante (los ciclos suelen estar definidos previamente). Si las condiciones iniciales no se recuperan se debería de realizar una limpieza química de la membrana (CIP) para eliminar las incrustaciones orgánicas y minerales que producen el atascamiento e impiden recuperar el caudal de permeado.

La limpieza química (CIP) tiene dos etapas, una limpieza básica, donde eliminaremos las incrustaciones orgánicas e incrustaciones producidas por carbonatos y una limpieza ácida donde eliminaremos la incrustación mineral provocadas por óxidos e hidróxidos metálicos fundamentalmente.

La limpieza CIP de la membrana es un proceso que se activará manualmente desde el Scada, procediéndose a realizar el proceso configurado por el usuario de forma automática. Una vez configurado por el usuario y activada la orden de inicio, las válvulas y bombas funcionarán automáticamente de acuerdo con las especificaciones. La dosificación del reactivo oportuno para la preparación de las distintas soluciones de cada una de las limpiezas que componen el CIP será manual. Los reactivos que se añaden para la limpieza son ácido cítrico, hipoclorito, ácido nítrico y fosfórico.

Los reactivos empleados para realizar las limpiezas químicas son:

- Hipoclorito sódico al 12,5 %
- Hidróxido Sódico 25 %
- Ácido Cítrico al 50 %

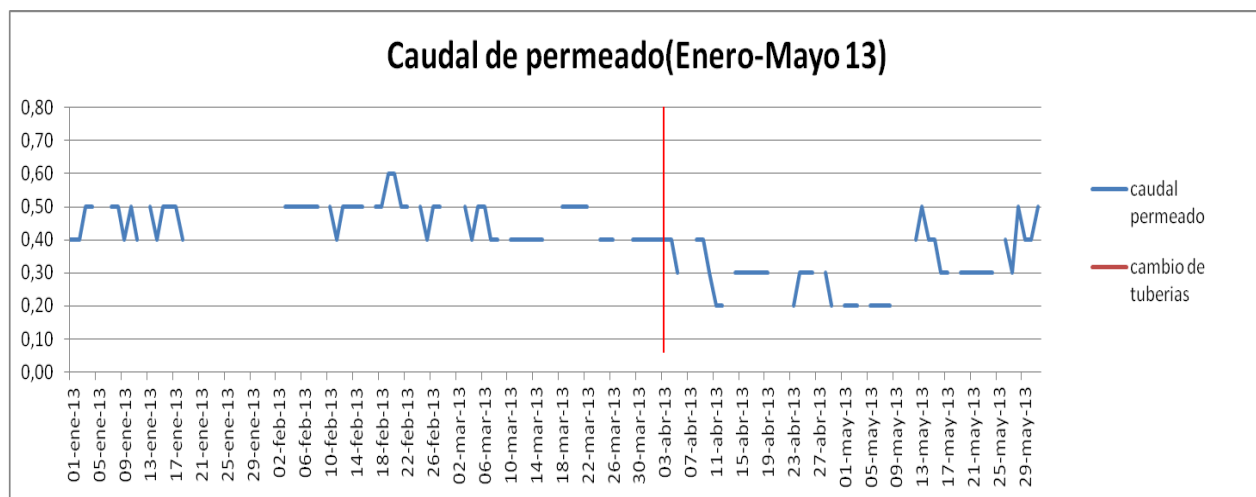
#### 4.2.4. Estudio sobre las causas de descenso de permeado

##### Datos iniciales

Para este estudio se ha partido de la siguiente información:

- Datos de caudales de permeado desde el 1 de enero de 2013 hasta el 29 de mayo de 2013, momento en el que se produjo la parada de la planta.
- Prueba V30 de filtración a muestras tomadas de la recirculación del MBR y de la alimentación procedente del reactor biológico.
- Proyecto constructivo de la planta de tratamiento de lixiviados

##### Evolución anual del caudal de permeado



Gráfica 5: evolución del caudal de permeado

En ésta gráfica se puede apreciar cómo, desde hace unos meses, el caudal de permeado de la unidad de ultrafiltración es muy bajo, en torno a 0,4 – 0,5 m<sup>3</sup>/h. En un principio se pensó que se tenía un problema de clogging en las membranas.

**Clogging:** en membranas tubulares, consiste en la acumulación de sólidos en el interior de los tubos de la membrana, provocando un taponamiento y por tanto reduciendo la efectividad de filtrado de las membranas. Este problema es común en EDARs, ya que se trata un tipo de agua con alta carga contaminante y con una gran cantidad de sólidos procedentes de los procesos biológicos

### Limpiezas

Realmente se trataba de un problema de clogging, que recordemos que consiste en una obstrucción y en este caso de origen orgánico ya que se está filtrando en agua procedente del reactor biológico con una alta concentración de SSV en el licor mezcla.

El clogging solo puede ser eliminado realizando limpiezas manuales de la membrana (limpiando los tubos de la membrana de forma individual con cepillos) y dejando la membrana en remojo con una disolución hasta el próximo uso para no modificar las características iniciales de la misma. Se realizaron limpiezas muy frecuentemente. Sin embargo, aunque tras las limpiezas se recuperaba el caudal de permeado, el problema de clogging volvía a aparecer a los pocos días, lo cual no es normal a no ser que se esté cometiendo un problema de operación.

### Prueba de sedimentación

Para tratar de encontrar una explicación al problema anterior, se procedió a realizar una prueba de sedimentación al MBR. Consiste en tomar muestras de la alimentación procedente del aerobio y de la recirculación del MBR y dejar que sedimenten. Para que el sistema funcione correctamente, debe sedimentar la misma cantidad en ambas muestras a la vez (lo que indicaría que su concentración es la misma y se realiza la purga correctamente)



Foto 10: muestras iniciales



Foto 11: resultados

Estas pruebas determinaron que la concentración del recirculado al MBR era mayor a la concentración del flujo procedente del biológico. Esto demuestra que se estaba produciendo un aumento de la concentración del fango (había algún problema con las purgas).

### Identificación del problema

Se llegó a la conclusión de que se estaba cortocircuitando el sistema, ya que las purgas no se realizaban en el lugar correcto.

Se había realizado una conexión de tuberías que cortocircuitaban el sistema (foto 12), como se puede apreciar en la foto. Esto suponía que la purga de fangos se realizaba directamente de la tubería de alimentación, por lo que se generaba un circuito cerrado donde aumentaba la concentración de fangos, generando los problemas de clogging que obstruían las membranas.

### Consecuencias

Antes de identificar el problema, lo único que se podía apreciar en planta era el descenso del caudal de permeado y la aparición de clogging en las membranas. Al limpiar las membranas de clogging se recuperaba el caudal de permeado, por lo que se realizaron varias limpiezas durante un tiempo. Sin embargo, se provocaron daños por desecación al no dejar la membrana en disolución tras algunas limpiezas, lo cual provocó el cambio en la estructura de las membranas.

### Soluciones

La solución que se dio al cortocircuito del sistema fue el cambio del diseño de las tuberías por otro que permite realizar la purga correctamente, evitando el aumento de concentración de fangos.



Foto 12: distribución inicial de las tuberías



Foto 13: Cambio realizado

Tras el cambio de las tuberías el día 03/04/2013 se volvió a realiza pruebas el día 05/04/2013, obteniendo el resultado que muestra la imagen siguiente:



Foto 14: resultados finales

Se puede apreciar que la concentración en ambas muestras es la misma, lo que significa que el cambio en las tuberías ha sido el correcto.

Sin embargo, aun habiendo resuelto el problema de las tuberías y la concentración del fango, la membrana no recuperaba el caudal de permeado, ya que había cambiado su estructura como se ha comentado anteriormente, así que la única solución posible fue el cambio de la misma.

#### **4.3. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE AMBAS PLANTAS**

Es importante destacar que mientras que en la ETAP el fouling tiene lugar por un uso normal de la membrana, el problema de clogging en la EDAR se da por problemas de operación.

En la ETAP, la solución a los problemas de fouling consiste aplicación de los productos químicos correctos y los procedimientos CIP adecuados, mientras que en la EDAR el clogging se soluciona con limpiezas manuales y mejorando las condiciones de operación, lo cual suele ser más complicado, por ello se demuestra que aunque en ambos casos se ha tenido un problema, si se tiene unas buenas condiciones de operación el problema es de más fácil solución y de consecuencias más leves.

## 5. DISCUSIÓN

Como conclusión final del estudio, se extrae que el control del ensuciamiento de membranas es algo en lo que cada planta tiene que encontrar su solución óptima, ya que, literalmente, no existen dos aguas con condiciones idénticas, ni dos plantas de tratamiento idénticas, además de que la disponibilidad de reactivos varía en cada caso.

La selección de un método específico depende del agente que provoca el ensuciamiento, por lo que es importante intentar predecir qué tipo de ensuciamiento se puede dar en las membranas de cada planta, en función del tipo de agua que se está tratando, la distribución de la planta, los procesos que tiene, y tener disponibles las medidas a tomar o los productos específicos para ese tipo de ensuciamiento.

Aunque cada planta tendrá sus propios problemas, la experiencia establece ciertas reglas generales que pueden acortar la búsqueda de la solución óptima:

- Si es necesario realizar limpiezas de recuperación, tanto químicas (fouling) como manuales (clogging), intentar realizar las menos posibles. Si se usan muy a menudo, se puede intentar mejorar el pretratamiento para reducir el número. Las limpiezas cuestan dinero y pueden acortar la vida útil de las membranas.
- Además del tipo de agua que se está tratando, hay que analizar los procesos anteriores a la ultrafiltración, preguntarse qué puede estar pasando ahí que genere problemas en las membranas, y qué podría modificarse para evitarlos (por ejemplo dosis de coagulantes, instalación de filtros anteriores a la UF, purgas adecuadas, etc).
- Es importante diferenciar si se tiene un problema de fouling o clogging, puesto que cada uno se soluciona de una forma diferente, como ya se ha explicado.
- Consultar los problemas con los fabricantes de las membranas y seguir siempre sus recomendaciones, adaptándolas a cada planta. Las soluciones y reactivos que ellos recomiendan son los más adecuados para cada tipo de membrana.

## **6. JUICIO CRÍTICO**

La realización de las prácticas en SOCAMEX, en el sector de la gestión del agua, me permitió tener una visión más real de cómo se trabaja en una oficina técnica y cómo son los proyectos profesionales, pues es en la práctica donde se consigue traspasar los aspectos teóricos aprendidos en una clase, a la realidad del día a día en una oficina.

En mi trabajo en la realización del estudio sobre sistemas de ultrafiltración con membranas, pude ver de primera mano a qué tipo de problemas se enfrentan día a día en las plantas de tratamiento de agua, cuál es el procedimiento de estudio de estos problemas y como se encuentran y aplican las soluciones.

Por supuesto, las prácticas me han aportado grandes conocimientos sobre los sistemas de ultrafiltración con membranas, como los tipos de ensuciamiento que se pueden dar, las limpiezas y productos que se deben aplicar, los parámetros a controlar, etc.

También pude ver cómo son los proyectos profesionales y cómo funcionan los concursos para la adjudicación de los mismos.

Quiero agradecer a todas las personas en la empresa que me brindaron su apoyo en este período de prácticas, así como a mi compañera en prácticas Ester, junto a la que realicé este estudio.

## **7. BIBLIOGRAFÍA**

Para la realización del estudio y por lo tanto de la presente memoria se ha utilizado la siguiente información:

- Proyecto constructivo de la ETAP
- Proyecto constructivo de la EDAR
- Documentación interna de SOCAMEX