



MÁSTER EN GESTIÓN Y TECNOLOGÍA AMBIENTAL

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

**TRABAJO FIN DE MASTER**

**ESTUDIO DE SISTEMAS DE ULTRAFILTRACIÓN  
CON MEMBRANAS EN PROCESOS DE  
POTABILIZACIÓN Y DE TRATAMIENTO DE  
LIXIVIADOS.**

ESTER CHAPINAL LÁZARO

SEPTIEMBRE, 2013



MARÍA FDEZ-POLANCO ÍÑIGUEZ DE LA TORRE, profesor/a del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Valladolid, y ROBERTO TORIO ACHA, DIRECTOR TÉCNICO URBASER (SOCAMEX S.A)

INFORMAN:

Que D. ESTER CHAPINAL LÁZARO ha realizado bajo nuestra dirección el Trabajo Fin de Master titulado "FUNCIONAMIENTO DE SISTEMAS DE ULTRAFILTRACIÓN PARA LA POTABILIZACIÓN CON MEMBRANAS, MEJORAS EN MANTENIMIENTO Y RECUPERACIÓN DE PRESIÓN INTERMEMBRANA.

ESTUDIO DE SISTEMAS DE ULTRA-FILTRACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE LIXIVIADO."

**Valladolid, 11 de septiembre de 2013**

**Fdo. Nombre y apellidos del Tutor**

**Fdo. Nombre y Apellidos del tutor**

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 DE SISTEMAS DE ULTRAFILTRACIÓN CON MEMBRANAS EN PROCESOS DE POTABILIZACIÓN Y DE TRATAMIENTO DE LIXIVIADOS”, presentado por el alumno D. *ESTER CHAPINAL LÁZARO*, decidió otorgarle la calificación de \_\_\_\_\_.

Valladolid, 11 de Septiembre de 2013

El Presidente

El Secretario

Fdo.:

Fdo.:

Vocal

Fdo.:

## ÍNDICE

|   |    |
|---|----|
| 1.- RESUMEN.....  | 6  |
| 2.- ANTECEDENTES GENERALES .....  | 7  |
| 3.- OBJETIVOS .....   | 10 |
| 4.- METODOLOGÍA.....  | 11 |
| 4.1.- CONOCIMIENTO DE LAS INSTALACIONES MEDIANTE LA LECTURA DE<br>LOS PROYECTOS.....    | 11 |
| 4.2.-SISTEMAS DE MEMBRANAS UTILIZADAS.....  | 12 |
| MEMBRANAS DE ULTRAFILTRACIÓN.....   | 13 |
| BIOREACTOR DE MEMBRANA (MBR) .....  | 14 |
| 4.3.- SISTEMAS DE LIMPIEZA DE LAS MEMBRANAS.....  | 16 |
| RETROLAVADOS.....   | 16 |
| LAVADO CON QUÍMICOS (CEB) .....   | 17 |
| LIMPIEZAS DE RECUPERACIÓN (CIP RECUPERACIÓN).....                                       | 18 |
| 4.4.- ANÁLISIS DE DATOS.....  | 20 |
| 4.5.- PROBLEMAS MÁS FRECUENTES EN LAS MEMBRANAS .....                                   | 21 |
| 5.- ESTUDIO DE LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS EN CADA SISTEMA .....                          | 24 |
| 5.1.- ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE PRESIONES EN LAS MEMBRANAS DE<br>ULTRAFILTRACIÓN ..... | 24 |
| 5.2.- ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DEL DESCENSO DE PERMEADO EN LA EDAR<br>.....               | 32 |
| 6.- CONCLUSIONES.....   | 36 |
| 7.- BIBLIOGRAFÍA.....   | 37 |

## **1.- RESUMEN**

En la siguiente memoria se describen los trabajos realizados durante el periodo de prácticas en la empresa SOCAMEX S.A ubicada en la ciudad de Valladolid. La duración de los trabajos fueron los indicados por el convenio de la universidad, los cuales empezaron el 10/06/13 finalizando el 31/07/13.

Los trabajos realizados en la empresa se centran en el análisis de las membranas de ultrafiltración ubicadas en dos plantas, una dedicada a la potabilización de aguas y otra a la depuración de aguas de lixiviado procedentes de un vertedero.

Aunque los sistemas son diferentes como veremos posteriormente, tienen un denominador común en cuanto al funcionamiento de membranas. La única diferencia detectable es el material y la forma de construcción. Esto se debe a que la calidad del agua en cada una de ellas es muy diferente y los materiales no aguantan igual en agua ácida (EDAR) que en agua prácticamente neutra (ETAP).

La memoria la he dividido en dos partes, aunque ambas avanzan de forma paralela. Ya que la idea final es la comparación de ambos sistemas, con sus ventajas, inconvenientes, problemas más comunes, las diferentes formas de atajarlos y finalmente las soluciones que se pueden dar a cada sistema.

Como veremos al final de la memoria todo el análisis que se hace tanto de presiones de transmembrana como de caudales de permeado es para analizar los dos problemas más comunes que aparecen en las EDARs y en las ETAPs, estos son el fouling y el clogging.

Estos problemas siempre estarán presentes en los sistemas instalados con membranas, en mayor o en menor medida. Por lo que nos interesa es saber cómo actuar para que no llegue a dañar la instalación.

Lo principal es saber porque se produce esa suciedad, es decir, cuál es su origen. Y una vez conocida esta información, aplicar el producto químico más idóneo o llevar a cabo las actividades necesarias para solventar el problema, de esta forma no se perderá ni tiempo ni dinero.

Con esta memoria se pretende poner en conocimiento los problemas más comunes y dar algunas pautas que logren solucionarlos. Todos estos conocimientos se han aprendido a base de algunos fallos, pero que hoy en día les hace a esta empresa pioneros en este tipo de soluciones.

## **2.- ANTECEDENTES GENERALES**

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, retirada y transporte de residuos, tratamiento y reciclaje de residuos urbanos, gestión integral del ciclo del agua y jardinería urbana.

URBASER es líder en retirada y tratamiento de aceites minerales usados y tratamiento y eliminación de residuos industriales.

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.

También actúa en el campo de las energías renovables para reducir los impactos negativos de gases de efecto invernadero, para lo cual está desarrollando procesos de tratamiento de fuentes alternativas de energía, biomasa procedente de cultivos energéticos, biomasa residual forestal, residuos agrarios e industriales biodegradables.

A continuación podemos ver un sencillo organigrama, para ver en qué lugar se encuentra localizada la empresa.



Como podemos ver la empresa ACS tiene un departamento dedicado a Medio ambiente. Este está gestionado mediante la empresa Urbaser, nombrada anteriormente. Esta empresa está compuesta por varias filiales que son las que podemos ver en la imagen y son:

- Limpieza urbana y áreas verdes
- Retirada de residuos
- Tratamiento de residuos
- Gestión de aguas
- Valorización energética

La empresa en la que estoy realizando mi periodo de prácticas es SOCAMEX dedicada a la gestión de aguas.

A través de esta filial se gestionan todos los contratos de Gestión del Agua, compitiendo con las empresas de más alto nivel del mercado. Esta empresa nació en 1988 con una clara orientación hacia el medio ambiente y el servicio público. Pertenece al grupo Urbaser, dependiente de ACS, siendo su marca especializada en aguas.

Socamex opera servicios relacionados con todos los aspectos del "Ciclo integral del Agua, (Tratamiento de agua potable y depuración de aguas residuales urbanas y/o industriales), como son:

- ✓ 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.



### Estrategia empresarial

La estrategia empresarial de Socamex persigue alcanzar los siguientes objetivos:

- Consolidar su cuota de mercado actual, especialmente con clientes públicos y promover su crecimiento.
- Potenciar la eficiencia operativa interna, mediante el uso de tecnologías avanzadas, apostando por la formación, la especialización y la promoción de los trabajadores de la compañía.
- Ampliar los campos de actuación basándose en la experiencia adquirida, siendo pioneros en nuevos procesos y servicios en nuevos mercados y expandiendo sus servicios a nuevos clientes.
- Cubrir las expectativas de los clientes de forma satisfactoria.
- Adaptarse a la evolución de los proyectos proporcionando mayor eficiencia en los servicios que presta y garantizando la mayor rentabilidad tanto a los clientes como a la propia empresa.
- Trabajar ininterrumpidamente en el campo de la investigación, el desarrollo y la innovación para asegurar procesos y servicios sostenibles.

Dentro de la variedad de proyectos que se están llevando a cabo en la empresa durante mi periodo de prácticas me he centrado en el análisis de membranas de los procesos de ultrafiltración tanto para una ETAP como para una EDAR. Evaluando los problemas más comunes de este tipo de instalaciones.

### **3.- OBJETIVOS**

Los objetivos de la presente memoria responden a los trabajos encomendados por la empresa para el periodo que duraron las prácticas. Estos se detallan a continuación:

En primer lugar, se puede decir que uno de ellos era conocer cuál es el funcionamiento de una empresa de estas características, como es su día a día y como trabajan para sacar adelante los proyectos que les son encargados.

Aunque el objetivo principal era aprender sobre el tema que se había reservado para este caso.

Dentro de la multitud de proyectos que se están llevando a cabo por parte de la empresa, mi dedicación en estos meses ha sido realizar un estudio sobre el funcionamiento del sistema de ultrafiltración y la recuperación de la presión intermembrana en una ETAP. Además de llevar un estudio de sistemas de membranas MBR para el tratamiento de lixiviados (EDAR).

Por lo tanto el primer objetivo era conocer las plantas que iban a formar parte del estudio, es decir, saber que sistemas estaban implantados, cuál era su disposición, la función que realizaba cada uno de ellos... en resumen, leer y entender los proyectos de estas plantas.

El siguiente fue conocer que función tenían las membranas, que tipos existen y las características concretas de las que se han utilizado en estas plantas. Para esto, se nos aportó la documentación que los fabricantes utilizan para que las empresas conozcan sus tecnologías.

Después de conocer la información necesaria, nos facilitaron los datos a tiempo real de cada planta para proceder a su análisis. En el caso de la ETAP se analizaron los datos referentes a las presiones de transmembrana, gracias a ellos pudimos ver en qué momento se produjeron fallos en el sistema y como se solucionaron. Y para la EDAR, los datos que usamos fueron los relativos al caudal y varias pruebas necesarias para controlar su correcto funcionamiento.

El último objetivo fue conocer los problemas más comunes que ocurren en las plantas, estos son el fouling y el clogging. Conocer sus orígenes, causas, problemas que ocasionan... Es necesario controlarlo para evitar que produzcan daños mayores en la instalación.

A lo largo de toda esta memoria, estos objetivos serán desarrollados de la mejor manera posible, para que sean entendibles y útiles para cualquier persona que la consulte.

El objetivo de este estudio, es estudiar la evolución del rendimiento de las unidades de UF 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.

#### **4.- METODOLOGÍA**

En este apartado se describirá el procedimiento y desarrollo llevado a cabo durante estos meses en la empresa SOCAMEX,S.A.

##### **4.1.- Conocimiento de las instalaciones mediante la lectura de los proyectos.**

En un primer momento se nos puso en conocimiento de la información necesaria de las plantas, es decir, datos iniciales de caudales y cargas, las etapas de las que constaba, cuáles eran los sistemas de los que disponían, para que servía cada uno, tiempo de trabajo... esto lo vi mediante la lectura del proyecto de alternativas y de ejecución.

Para entender mejor en que consistió mi trabajo, creo que es necesario indicar de forma breve cuál fue la elección de los dispositivos desde el punto de vista técnico para cada una de las plantas.

- ETAP

El sistema se basa en un tamizado para la eliminación de sólidos de gran tamaño que puedan dañar la instalación, oxidación mediante preozonización o adición de hipoclorito sódico, en este caso la planta fue diseñada con dos sistemas de preoxidación, uno mediante el uso de hipoclorito y el otro mediante el uso de ozono. Normalmente se utiliza el sistema de ozono dejando el de hipoclorito en reserva, por si en algún momento es necesario utilizarlo por problemas en el anterior.

El sistema de hipoclorito, tiene el inconveniente de que si el agua contiene compuestos orgánicos como el ácido húmicos o fúlvicos, la cloración da lugar a sustancias indeseables, muchas de ellas está comprobado su poder tóxico o mutagénico para el hombre, como pueden ser los halometanos o trihalometanos. Por esta razón se limita su uso. Aunque en este caso se podría usar, ya que el sistema de membranas que está instalado posteriormente es capaz de eliminar estos compuestos por completo del agua.

El otro sistema con el que cuenta la planta es el de ozono. Como en todos los sistemas pueden existir problemas, en este caso podrían aparecer si el agua contuviese bromo. Ya que el bromo en contacto con el ozono puede generar bromuros, y estos pueden llegar a ser cancerígenos aunque todavía por normativa no estén catalogados. En este momento es el sistema utilizado, ya que no se ha detectado problemas de este tipo en el agua.

La siguiente fase es la coagulación, cuya función para hacer que puedan decantar las sustancias coloidales existentes en el agua. Esta etapa puede ser prescindible ya que con el sistema de ultrafiltración estas partículas quedarían retenidas. Posteriormente se encuentra la ultrafiltración mediante membranas (explicada posteriormente en el siguiente apartado). En esta planta se disponen de dos líneas. Una de ellas funcionando a pleno rendimiento y la otra se diseñó con la idea de un futura ampliación del municipio. En estos momentos trabaja en ocasiones puntuales.

La preozonización para la desinfección, filtración mediante carbón activo granular para eliminar el olor y sabor que pueda contener el agua, remineralización con adicción de CO<sub>2</sub> y cal para compensar el índice de Langelier y evitar que el agua sea corrosiva o incrustante y desinfección final mediante hipoclorito ya que es obligatorio por normativa que el agua en la red contenga un pequeño porcentaje de este producto para su perfecto estado a la hora de llegar a los domicilios.

La ETAP, tras cerca de dos años de funcionamiento y trabajando aproximadamente al 50% de capacidad, ha registrado, en momentos puntuales, un pequeño 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 del todo el nivel normal de rendimiento.

- EDAR

En este caso la EDAR se utiliza para depurar el lixiviado generado en el vertedero, este posee una carga contaminante tal, que imposibilita su vertido directo a cauce. Así pues, el lixiviado es recogido en el depósito que para este fin se dispone de la citada instalación, requiriendo ser depurado antes de su vertido.

La planta está basada en la combinación de varios procesos. En primer lugar existe un pretratamiento inicial del lixiviado que cumple el mismo objetivo que en la otra instalación, y es eliminar los sólidos de mayor tamaño que puedan dañar las instalaciones en algún momento del proceso. Después de este sistema le sigue un sistema MBR (membrane bio reactor) compuesto por una fase de degradación biológica seguida de un sistema de ultrafiltración (UF) que será explicado posteriormente.

El efluente de la ultrafiltración es por último sometido a un proceso de ósmosis inversa (OI) para poder cumplir todos los parámetros según normativa y poder ser vertido a cauce.

#### **4.2 .-Sistemas de membranas utilizadas**

Para ello lo primero que hay que saber es que las membranas de ultrafiltración son un tipo de filtración que proporciona un efluente de alta calidad. La aplicación de esta tecnología ha crecido considerablemente en los últimos años, sustituyendo a los tratamientos convencionales de decantación, impulsado en gran medida por las restricciones cada vez más severas impuestas a la calidad del agua efluente. Sin embargo, no todo es positivo en esta tecnología ya que en ocasiones se pueden dar disminuciones del rendimiento como resultado de los procesos de ensuciamiento que ocurren en la superficie de la membrana. Esto, unido a su alto coste y complejidad de operación hacen que en ocasiones no sea la principal opción a tener en cuenta, pero es un sistema que con una adecuada operación puede llegar a resultar muy fiable y proporcionar un efluente de muy alta calidad.

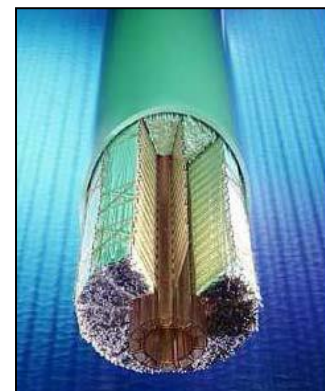
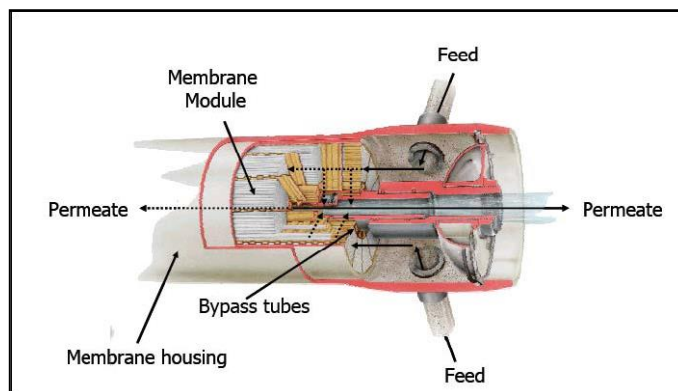
## - Membranas de ultrafiltración

El principio de funcionamiento consiste en 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.

### Descripción de las Membranas de ultrafiltración

Dado que la ETAP de Garray se construirá en dos fases, la fase I incluye la instalación de la mitad de módulos de ultrafiltración necesarios para trabajar a caudal completo. Se decide la instalación de dos bastidores de membrana cada uno de ellos dotado de 10 espacios libres para la instalación de tubos de presión, cada uno de estos bastidores dispondrá de un 50% de las membranas, es decir de 5 tubos de presión cada uno de los cuales a su vez posee 4 módulos de membranas X-Flow SXL-225 con 40 m<sup>2</sup> de superficie unitaria.



Los tubos de presión se disponen en horizontal y están contruidos en PVC, con un diámetro exterior de 8", cada uno de ellos posee cuatro módulos de aproximadamente 1,5 metros de longitud unidos entre sí mediante interconectores.

Las membranas instaladas están fabricadas a base de PVP (polivinilpirrolidona) y PES (poliestersulfona), disponen de estructura de microporos asimétrica, con un diámetro hidráulico de 0.8 mm y un tamaño nominal de poro de 200 kDA. La retención prevista para este tipo de elementos es  $> \log 4$  para virus y  $> \log 6$  para bacterias.

Las maniobras entre las corrientes de impulsión y lavados se realizan mediante válvulas neumáticas.

## - Bioreactor de membrana (MBR)

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.

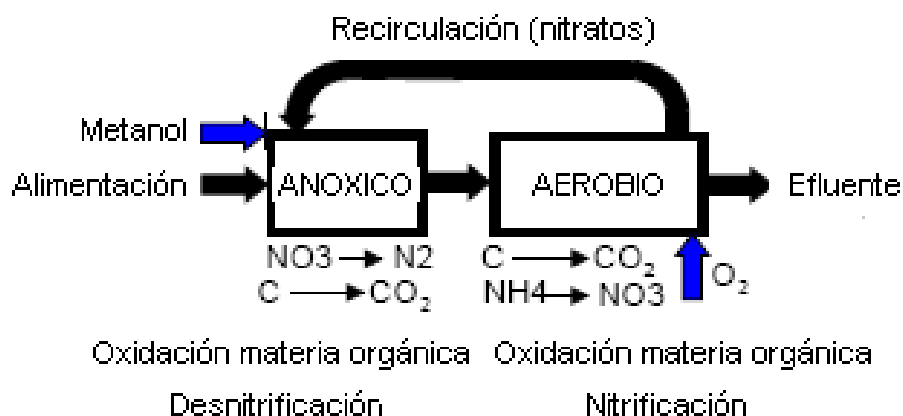
Por lo tanto, los bioreactores de membrana están compuestos por dos partes principales que son:

- 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, cuyo objetivo es la eliminación del nitrógeno presente en el agua residual. Para ello se parte de nitrógeno orgánico o amoniacal que es necesario pasar a nitrato, pasando por la forma intermedia nitrito, para desnitrificarlo a nitrógeno atmosférico y por lo tanto eliminarlo del agua residual.

El bioreactor está formado por dos compartimentos, uno anóxico y otro aerobio. El reactor anóxico está en primer lugar para aprovechar la materia orgánica soluble que viene con el vertido y utilizarla para la desnitrificación. Si el aerobio estuviera primero en él se oxidaría toda la materia orgánica soluble y no quedaría suficiente para un correcto proceso de desnitrificación.



Por lo tanto, en el reactor aerobio se producen las reacciones de nitrificación y oxidación de materia orgánica (que libera NH<sub>4</sub><sup>+</sup> que es nitrificado a su vez). Para éstas reacciones es necesario el aporte de oxígeno.

En la cámara anóxica llevamos a cabo el proceso de reducción de los nitratos formados en el reactor óxico, cuyo contenido es recirculado a este primer tanque. Para que se lleve a cabo el proceso de desnitrificación es necesario que se encuentre a disposición de las bacterias desnitrificantes materia orgánica fácilmente biodegradable. Dado el contenido en  $DBO_5$  que refleja la analítica resultante tomada como base de diseño, en principio se puede considerar que no sería suficiente con el aprovechamiento de esta materia orgánica contenida en el lixiviado para recuperar la alcalinidad perdida durante la nitrificación.

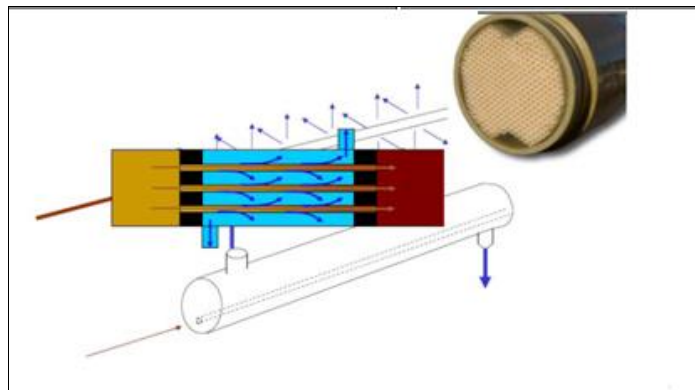
Las bacterias, para realizar correctamente sus funciones biológicas, requieren una proporción adecuada de carbono-nitrógeno-fósforo (C/N/P). Como consecuencia de la edad y características del vertedero el lixiviado obtenido posee una relación C/N/P inadecuada para depuración completa del amonio.

La relación óptima de nutrientes es la correspondiente a:

C 100: N 5: P 1

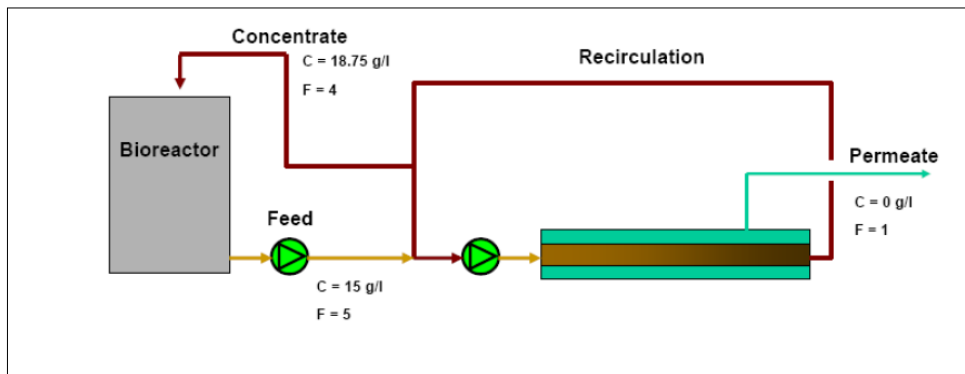
### **Descripción del módulo de membrana**

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



El sistema se trata de una unidad de membrana presurizada externa al reactor con dirección de filtrado de dentro hacia fuera. 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,

En el siguiente esquema se representa la distribución del sistema MBR instalado en esta planta de lixiviados.



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

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

Sin embargo, sería 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 creado problemas, pero sería más recomendable haber dado un margen más amplio de seguridad, ya que no supondría un incremento del coste elevado.

#### 4.3.- Sistemas de limpieza de las membranas

Una vez conocidos los sistemas y su funcionamiento, también tenemos que tener en cuenta el proceso de mantenimiento de los sistemas para un funcionamiento óptimo. En este caso, nos centraremos en las membranas ya que es la parte que estamos analizando. Como hemos indicado, este sistema lo que hace es filtrar el agua desde dentro hacia fuera, por lo que la suciedad se queda en el interior de la membrana. Si no somos capaces de eliminar estas partículas, el rendimiento de las membranas se irá reduciendo hasta ser incapaz de utilizarla.

A continuación voy a explicar en qué consiste cada tipo de limpieza, ya que es una fase fundamental del proceso. Al igual que en el apartado anterior, haré distinción entre ambas plantas.

- ETAP

#### Retrolavados

Según 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.

Sólo se puede lavar simultáneamente una de las líneas, por tanto en caso de que las dos líneas de ultrafiltración pidan un retrolavado una de ellas se mantendrá en espera hasta que termine la otra.

Las condiciones que se tienen que producir para realizar el retrolavado son las siguientes:

- Parar el ciclo de filtración si se alcanza una alta presión transmembrana (TMP de 0,6 bar)
- Parar el ciclo de filtración si se alcanza un volumen de 50 m<sup>3</sup>
- Se alcanza el valor de baja permeabilidad

### **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, utilizando en un primer momento hipoclorito sódico y sosa y posteriormente 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 (controlado a través del PID sobre las bombas de retrolavado), 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.

Tanto el agua procedente de los retrolavados como el procedente de lavados químicos se envían al espesador de fangos para proceder a su reutilización y purga.

### **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 dos formas de actuar; realizar la autopsia de un módulo de membrana o realizar limpiezas CIP siguiendo el método del ensayo y error.

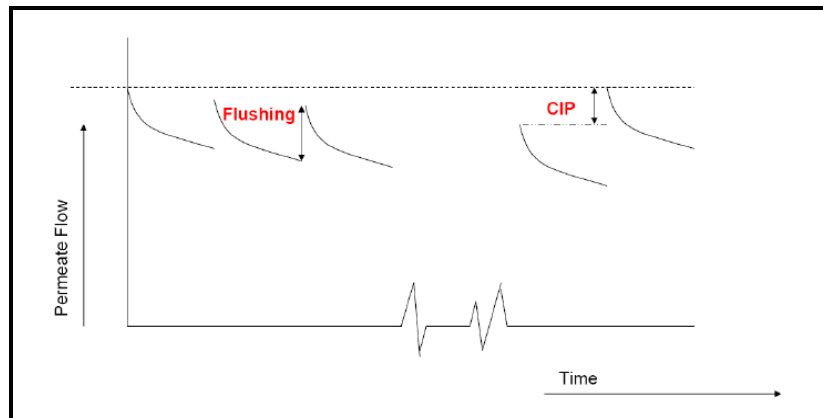
En esta planta se aplicaron los siguientes productos químicos para las limpiezas de recuperación:

- Ácido oxálico
- Ácido ascórbico
- Hipoclorito

- EDAR

### **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 realizada con la bomba CIP, 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).



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 siguientes 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 %

#### 4.4.- Análisis de datos

Una vez adquirida una idea general de las plantas, comencé a trabajar con los datos registrados de cada planta. En el caso de la ETAP los datos eran los siguientes:

- 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 con oxálico y ascórbico.

A partir de los datos iniciales de presiones se han elaborado 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.

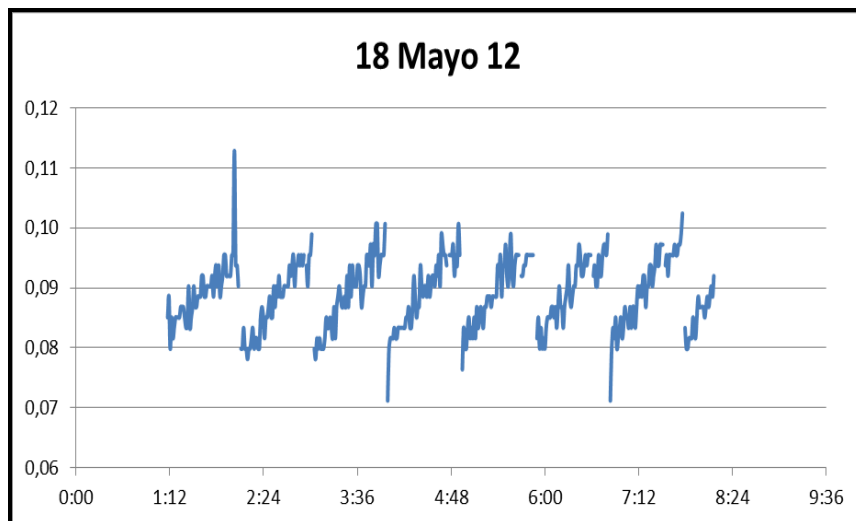
Los datos consisten en valores de presión (en bares) por minuto de todos los días del año. Si el valor de presión es negativo significa que la membrana no está en funcionamiento o que se está llevando a cabo un retrolavado de la misma. Si el valor de presión es positivo significa que se está llevando a cabo la filtración del agua. Se han eliminado los valores de presión negativos para facilitar la visualización y comprensión de las gráficas.

Durante los meses de mayo, junio, julio, agosto y septiembre del año 2012 se han elaborado gráficos cada 15 días, ya que no se producen cambios bruscos en la TMP. A partir de octubre del 2012 se han realizado cada 7 días, con el objetivo de ver con mayor claridad las variaciones de la TMP en los meses donde ha tenido más problemas.

A mayores se han elaborado más gráficas (aproximadamente una cada 3 días) durante los meses de febrero, marzo, abril, mayo y junio del 2013, para reflejar las actuaciones de las limpiezas CIP y los lavados químicos, pues es la época del año donde la TMP sufre mayores variaciones.

Al final se ha elaborado una gráfica que recoge un resumen de los datos de todas las otras gráficas. En esta gráfica 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.

A continuación se indica una gráfica de un día elegido al azar, para que se pueda ver qué tipo de representación se obtiene con los datos antes indicados. Como podemos ver las presiones se mantienen entre 0,08-0,10 bar (valores normales).



El objetivo era saber en qué momento se producían los posibles problemas y si funcionaba o no la solución que se aplicaba para cada caso. Más adelante explicaré los problemas ocasionados y las causas más comunes.

En el caso de la EDAR, los datos que fueron aportados fueron:

- Caudales con los que trabajaba la planta durante el año 2012.
- Aplicación de los químicos y demás productos.
- Presiones antes y después del filtro y presiones antes y después de la recirculación.

En este caso concreto, los datos aportados fueron directamente la media de cada mes, por lo que no tuvimos que hacer un análisis tan extenso como en el caso anterior.

#### 4.5.- Problemas más frecuentes en las membranas

Durante toda la memoria estoy haciendo una comparación entre los sistemas empleados en una planta de potabilización de agua y una estación depuradora. En este caso, no es necesario hacer una separación de conceptos, ya que los siguientes problemas que voy a explicar son los que en mayor o menor medida siempre se producen en un sistema de este tipo.

Como norma general, podemos decir que en una ETAP se producirá de manera más común el fouling mientras que en una EDAR se dará más el clogging. Esto es porque la calidad del agua de un sistema y del otro son completamente diferentes, es decir, nunca se producirá un atascamiento en tubería en una ETAP ya que este agua no tiene un elevado contenido de sólidos que puedan derivar en una obstrucción.

Según avanza el proceso, se produce la acumulación de las partículas. En función de cómo se acumula la suciedad en la membrana hay dos tipos de problemas, estos se denominan clogging y fouling.

- Clogging u obstrucción

Nos referimos a este término, cuando la suciedad que se acumula en la membrana obstruye los tubos impidiendo el paso del agua, y por tanto reduce la efectividad de la membrana.

Los síntomas de clogging son muy parecidos a los de fouling, y son los siguientes:

- Disminución del flujo de permeado.
- En las membranas de tipo MBR la presión de funcionamiento es constante durante todo el proceso, si ocurre este fenómeno lo que se hace es modificar el flux que atraviesa la membrana. Por lo tanto se notaría este problema en los caudales registrados.

La identificación de este problema es intuitiva, es decir, solo hace falta mirar la membrana para ver que está colmatada. Aunque también se puede comprobar mirando algunos factores como los que indicamos a continuación:

- Verificación de la temperatura, conductividad y pH de alimentación
- Verificación de las presiones, flujos y recuperaciones
- Normalización del flujo de permeado

La forma de resolver este problema es de tipo manual, es decir, cuando la membrana está afectada por una situación así, lo normal es proceder a su limpieza mediante cepillos, ya que la aplicación de químicos además de ser ineficaces también puede provocar daños en la membrana, una vez realizada la limpieza es necesario dejar la membrana en remojo con agua limpia para evitar que se modifique la estructura de poros.

- Fouling o ensuciamiento

El término fouling se refiere a todos los fenómenos relacionados con el ensuciamiento de las paredes de las membranas debido a la precipitación de partículas, bien suspendidas o coloidales, contenidas en el agua a tratar.

Las consecuencias que originan en la membrana pueden ser las indicadas a continuación:

- Decrecimiento del flujo de permeado.
- Bloqueo de poros.
- Formación de una torta en la superficie de la membrana.
- Con el fouling el flujo desciende paulatinamente y el fenómeno puede ser más o menos irreversible, dependiendo del tiempo en el que esté en estas condiciones.

Cuanto más tiempo la membrana este con un bajo flujo, más difícil será la recuperación de la membrana, por problema en el cambio de estructura inicial de la membrana.

Las medidas que hay que tomar para prevenir estos problemas son:

- Pretratamiento de la corriente de alimentación, para disminuir la concentración de las especies responsables de este fenómeno.
- Químicos (ajuste de pH, adicción de aditivos...)
- Físicos ( pre-filtración)

Para mantener las membranas en perfecto estado, como indicamos anteriormente se deben de realizar las limpiezas necesarias, que se dividen en:

- Retrolavado, la dirección de la filtración es invertida para eliminar todos los elementos que obstruyen la membrana.
- Lavado químico

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.

El fouling se puede eliminar a través de la aplicación de un reactivo químico de limpieza que pasa a través de la membrana, a este proceso se le denomina como limpieza en el lugar o CIP. El reactivo más comúnmente usado para esta tarea es el hipoclorito de sodio, mediante el cual se recupera permeabilidad de la membrana de ensuciamiento orgánico. El hipoclorito a veces es seguido por un ácido cítrico para eliminar los depósitos de óxido de metal. También se usan productos como el ácido ascórbico y el ácido oxálico cuando la suciedad existente en la membrana es de tipo inorgánico.

Como hemos indicado anteriormente, en función del tipo y composición tenemos varios tipos de ensuciamiento como son inorgánico, orgánico y bioensuciamiento. A continuación indicamos las características más importantes de cada uno.

#### Tipos de ensuciamiento Inorgánico

- Sílice: los depósitos de sílice son muy duros. La precipitación de silicatos siempre está asociada a la presencia de hierro o aluminio, formando silico-aluminatos complejos de calcio y hierro. La limpieza de estos precipitados debe hacerse en medio alcalino a valores de pH y temperatura lo más elevados posibles, con productos detergentes
- Aluminio: el aluminio en las membranas puede tener diversos orígenes: iónico, coloidal (aluminosilicatos) y de exceso de coagulantes. El procedente de coagulantes tiene una difícil limpieza, y en muchas ocasiones hay que utilizar elevados pH y temperatura para favorecer la acción de detergentes.
- Hierro: puede tener diversos orígenes: corrosión de tuberías (no problemático), hierro en disolución (se deposita como óxido férrico), hierro procedente de coagulantes (cloruros y sulfatos férricos). Para eliminarlo, se solubiliza con un ácido, funcionando muy bien el ácido cítrico y mejor aún si se combina con agentes surfactantes. El pH de máxima solubilidad del hierro es 4,1, por lo que lavando cercano a este pH se optimiza su eliminación.
- Sulfato cálcico: forma precipitados duros, densos y frágiles, su eliminación es complicada al ser altamente insoluble en agua, siendo necesario un ácido fuerte combinado con agentes quelantes.

- Fosfato cálcico: se eliminan con una limpieza ácida media-suave, aunque pueden utilizarse también surfactantes alcalinos.

#### Ensuciamiento orgánico

Consiste en la acumulación de partículas orgánicas en la superficie de la membrana. Una parte de los coloides del agua de alimentación son transportados a la superficie de la membrana donde se adsorben, formando una delgada capa ensuciadora. Para minimizar estos problemas es importante reducir al máximo la MOC, especialmente aquella que por tamaño molecular, se aproxime al tamaño de los poros de la membrana. Para ello, se utilizan sistemas de precoagulación o coagulación-floculación antes de la membrana.

#### Bioensuciamiento

Al igual que en el caso anterior, los microorganismos también pueden ser transportados hacia la superficie de la membrana, donde se adsorben y multiplican utilizando los nutrientes del agua, formando una capa biológica (uniforme o no uniforme) que pueden reducir el rendimiento del sistema. El tipo de limpieza química aconsejable para este ensuciamiento es similar al utilizado para el ensuciamiento orgánico, pudiendo combinar con agentes biocidas, quelantes, etc.

### **5.- ESTUDIO DE LOS PROBLEMAS ENCONTRADOS EN CADA SISTEMA**

#### **5.1.- ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE PRESIONES EN LAS MEMBRANAS DE ULTRAFILTRACIÓN**

A partir de las gráficas diarias 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 día.

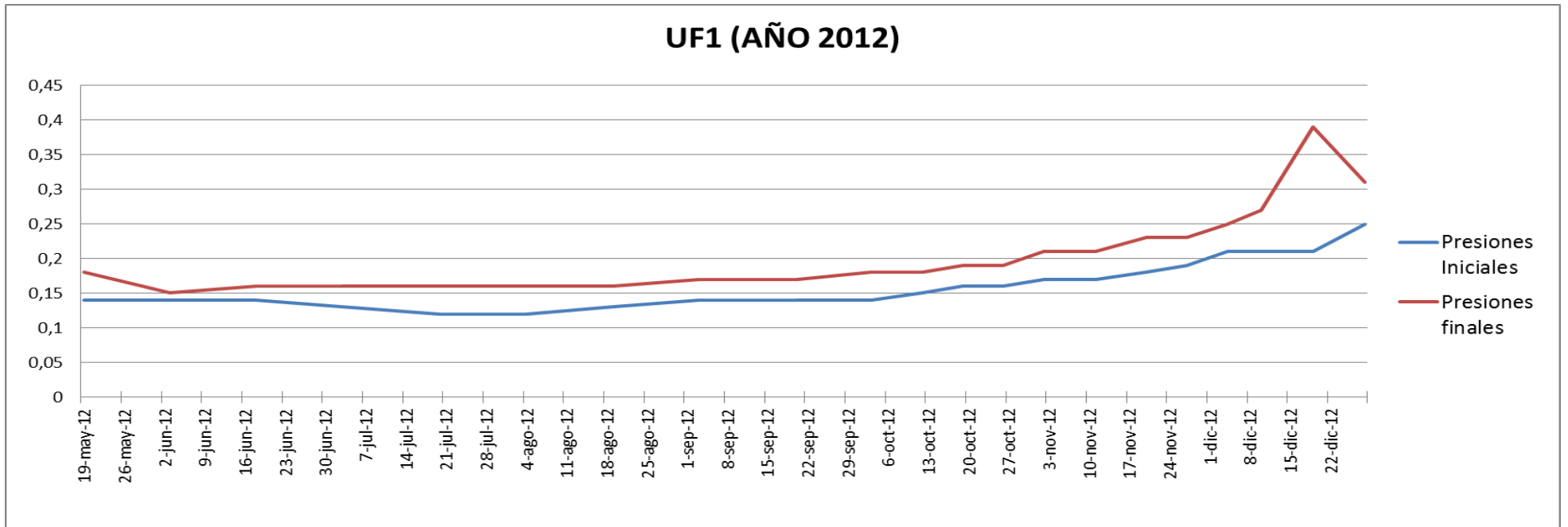
El objetivo es poder ver de una sola pasada la evolución a lo largo del periodo de tiempo de la TMP en cada unidad de ultrafiltración, identificando los puntos de mayor presión y el momento en el que se estabilizaron.

A continuación se presentan las distintas gráficas de cada unidad de ultrafiltración.

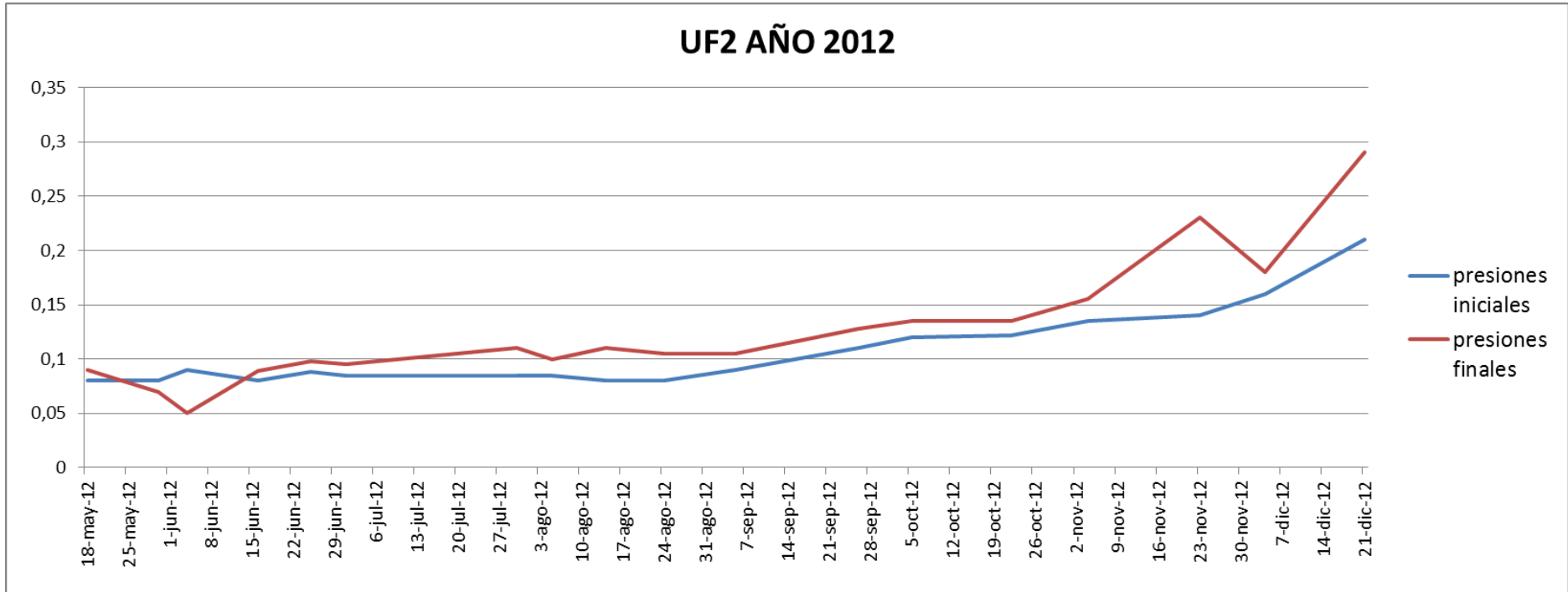
- En las primeras se puede apreciar la evolución de la presión inicial y de la presión final de cada día de filtrado durante el año 2012 y 2013.
- En las siguientes se puede observar, además, los días de aplicación de los distintos productos químicos y cómo han influido estos en la variación de la TMP.



Evolución de la TMP (en bares) de la UF1 durante el año 2012



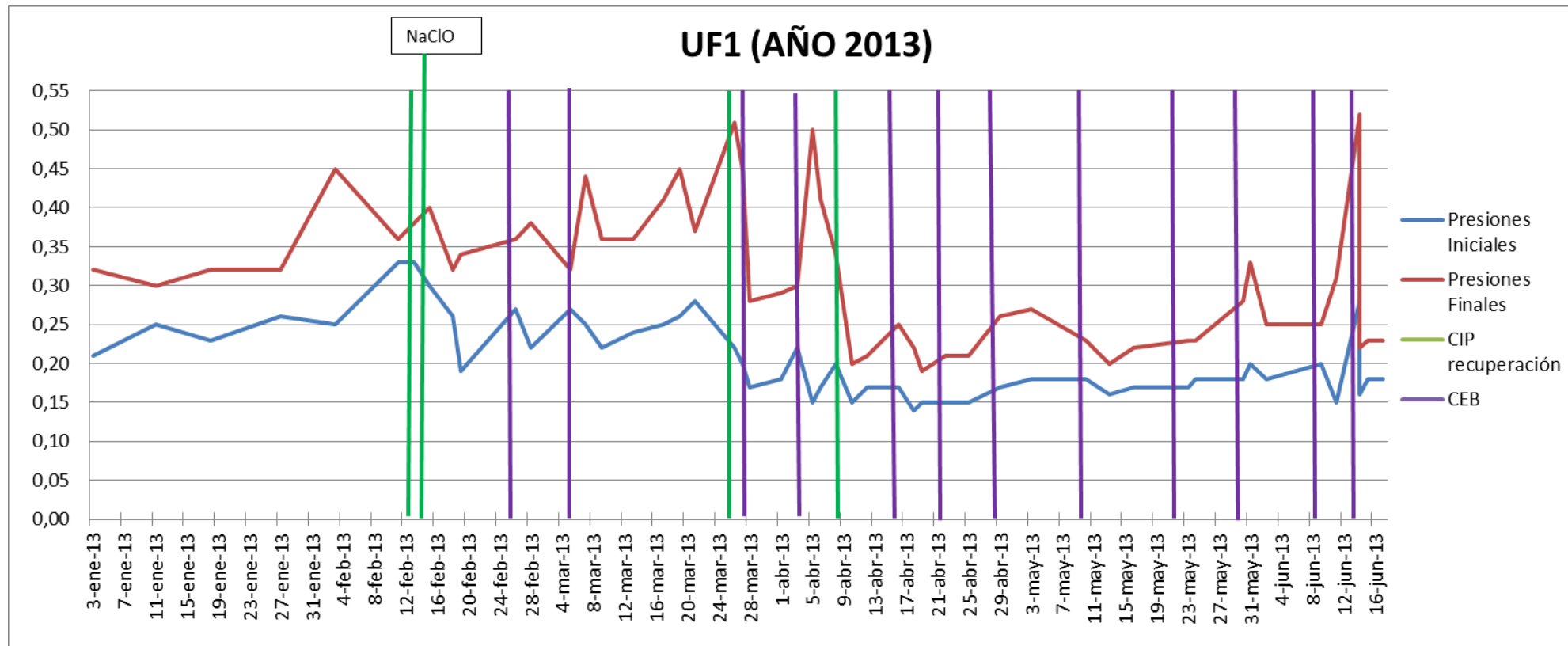
Evolución de la TMP (en bares) de la UF2 durante el año 2012



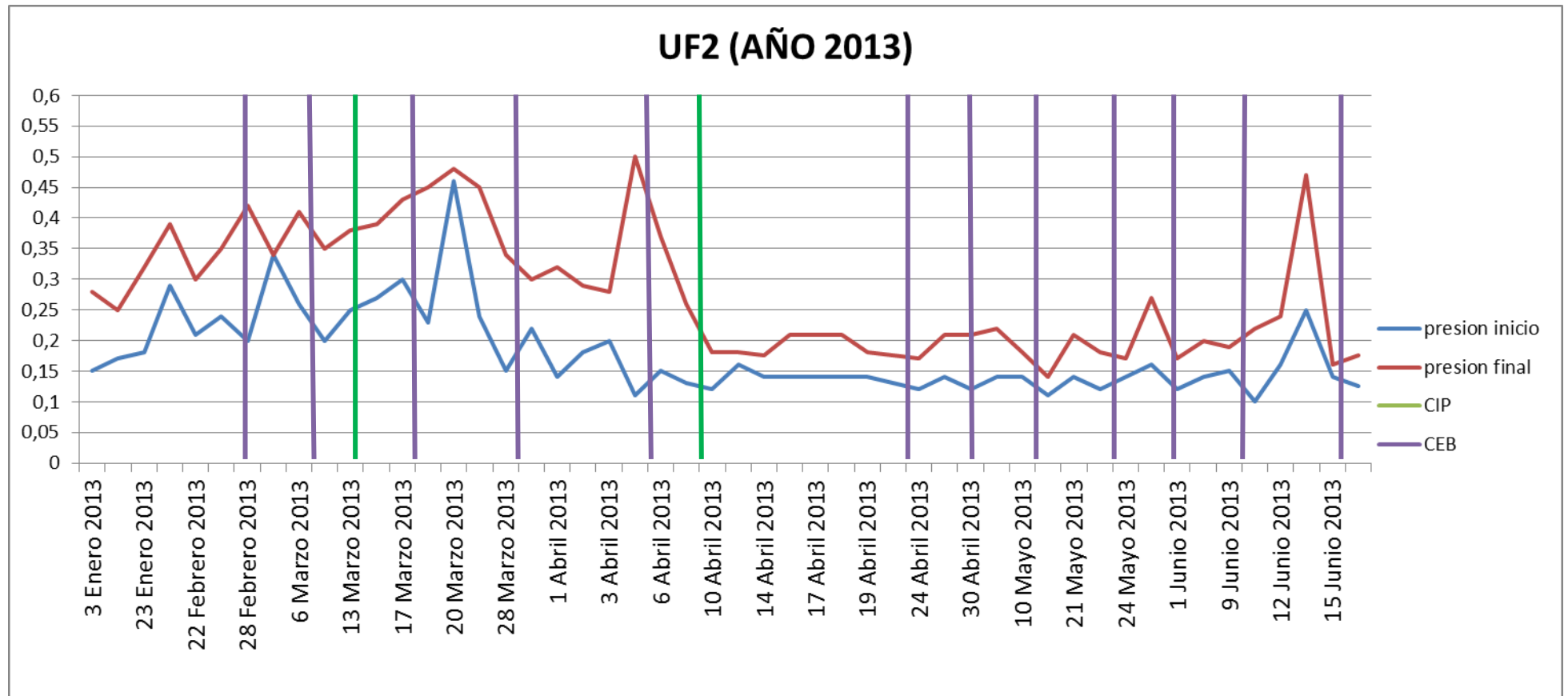
Analizando el comportamiento de la TMP a lo largo de este año 2012 se observa:

- 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 en la UF1 y entre 0,05 y 0,15 en la UF2.
- 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. En las gráficas anteriores se puede apreciar como la TMP incrementa hasta casi doblar los valores que se venían dando últimamente.
- Aunque la TMP de inicio y final de los ciclos ha aumentado mucho, la presión diferencial a lo largo de los ciclos se mantiene más o menos constante.
- Se puede concluir que se ha empezado a producir un ensuciamiento que ni los retrolavados ni los lavados químicos CEB son capaces de eliminar.

Evolución de la TMP (en bares) de la UF1 durante el año 2013 (incluye la aplicación de productos químicos de limpieza)



Evolución de la TMP (en bares) de la UF2 durante el año 2013 (incluye la aplicación de productos químicos de limpieza)



Analizando el comportamiento de la TMP a lo largo de este 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.
- A partir del 26-30 Marzo se cierra la válvula AV-21-10-02 cuando se realizan las limpiezas de recuperación con oxálico y abscórbico, algo que no se venía haciendo hasta ahora (de ahí que las limpiezas CIP no tuvieran el efecto deseado) lo que trae consigo que las limpiezas de recuperación sean efectivas y produce la bajada de las presiones medias hasta niveles aceptables de funcionamiento.
- En torno al 13 de Junio la presión se dispara. Esto es debido a un problema en la dosificación de coagulante, ya que la tubería estaba obstruida y no dosificaba, pero una vez solucionado el problema se vuelve a los niveles aceptables de presión.
- 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.

## **SOLUCIONES APLICADAS EN LA ETAP**

### Ensuciamiento inorgánico (fouling inorgánico)

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

Este ensuciamiento inorgánico puede ser debido a una acumulación de aluminio en el lado del permeado, lo que explicaría el por qué los retrolavados y los lavados químicos CEB no son capaces de eliminarlo.

El aluminio procede del coagulante utilizado en la etapa anterior. 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 ascórbico 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 ascórbico (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 ascórbico 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.

### Obstrucción de tubería

En torno al 14 de Junio, como se podrá apreciar en las gráficas anteriores, tras haber recuperado los niveles normales de TMP, se produce una subida de la TMP en poco tiempo. 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.

### 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.

## **5.2.- ANÁLISIS DE LAS CAUSAS DEL DESCENSO DE PERMEADO EN LA EDAR**

Los problemas de la planta consistían en un descenso del nivel de permeado, lo cual venía dado por un cortocircuito del sistema que aumentó la concentración del fango y produjo problemas de clogging en las membranas. Las constantes limpiezas manuales del clogging provocaron daños por desecación en la membrana que cambiaron su estructura, dejando de ser apta para el proceso.

El problema de clogging viene dado por algunos problemas que no se tuvieron en cuenta en la etapa constructiva de la planta.

Se realizó una conexión de tuberías que cortocircuitaban el sistema, 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 antes descritos.





Cuando se empezó a observar que el caudal de permeado descendía hasta valores de 0,4 m<sup>3</sup>/h, se procedió a realizar la prueba V30 de filtración. Que consiste en tomar muestras de la alimentación procedente del aerobio y de la recirculación del MBR y filtrar ambas muestras. Para que el sistema funcione correctamente, la filtrabilidad de ambas muestras debe ser la misma.

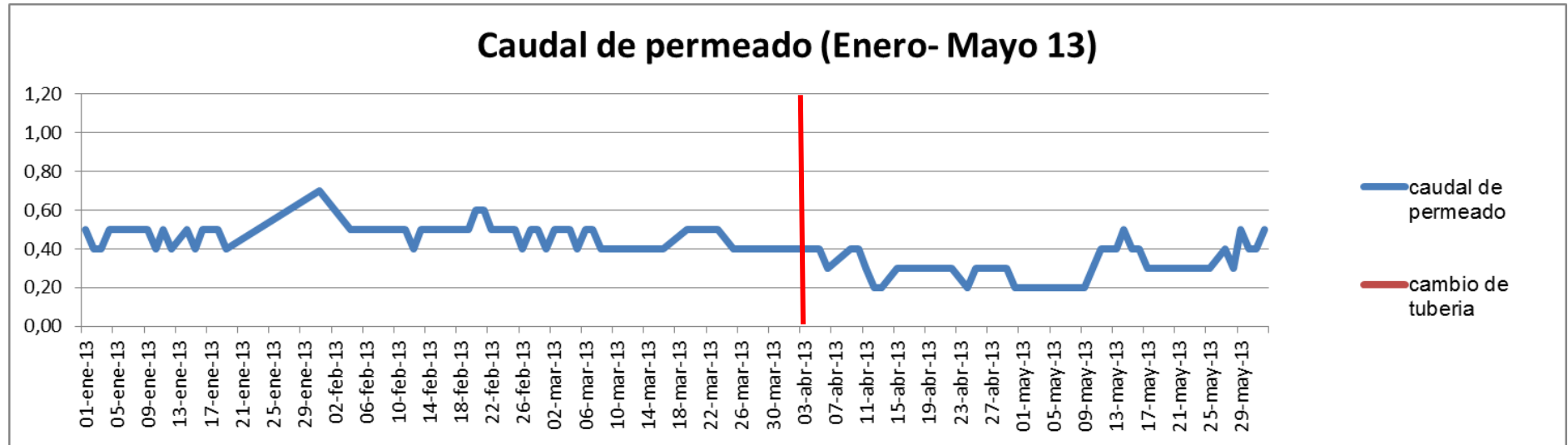


En la primera imagen podemos ver cuál fue el resultado según se tomaron las muestras. Y en la imagen de la derecha vemos cuál fue el resultado cuando se dejaron reposar. Para que todo fuese correcto deberían tener el mismo contenido de sólidos

| FECHA      | HORA             | MUESTRA            | Fango a filtrar ml | Filtrado ml | Tiempo filtración min |
|------------|------------------|--------------------|--------------------|-------------|-----------------------|
| 04/02/2012 | 17:52 A<br>18:12 | RECIRCULADO<br>MBR | 30                 | <b>12,2</b> | 20                    |
| 04/02/2012 | 18:28 A<br>18:48 | REACTOR<br>AEROBIO | 30                 | <b>16,1</b> | 20                    |

Se puede apreciar que hay menor cantidad de filtrado en la recirculación, lo que supone que está más concentrado que la alimentación del aerobio. Esto demuestra que se estaba produciendo un aumento de la concentración del fango, ya que las purgas no se realizaban en el lugar correcto.

**Evolución del caudal de permeado de UF**



En el momento inicial, la planta tenía un valor óptimo de funcionamiento (0.75 m³/h), pero según fue transcurriendo el tiempo comenzó a producirse el problema de clogging, por lo que el caudal de permeado se vio afectado disminuyendo.

En esta gráfica vemos la evolución del caudal de permeado durante el primer semestre del 2013 que está en torno a 0,4 – 0,5 m³/h, el cual es muy bajo. Al realizar las limpiezas del clogging el caudal se recuperaba un poco, pero tras muchas limpiezas el caudal dejó de recuperarse. La modificación de tuberías se realizó el 03/04/13 (en la gráfica marcado mediante una línea roja). Vemos que tras la reparación el caudal no se recupera, esto es debido a que las membranas ya estaban lo suficientemente dañadas por lo que el caudal no aumenta una vez solucionado el problema, por lo que fue necesario el cambio de las mismas.

## SOLUCIONES APLICADAS EN LA EDAR

### - Cambio de tuberías

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.



**Figura 1: Situación inicial de las tuberías**



**Figura 2: Cambio realizado**

Tras el cambio de las tuberías el día 03/04/2013 se volvió a realizar la prueba de filtrabilidad V30 el día 05/04/2013, obteniendo el resultado que muestra la imagen siguiente:



Se puede apreciar que la filtrabilidad es la misma, lo que significa que el cambio en las tuberías funciona correctamente.

- Cambio de membrana

Antes de descubrir 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, tantas limpiezas cambiaron la estructura de la membrana, ya que esta se secó al no dejarla en disolución tras algunas limpiezas, por lo que aun habiendo resuelto el problema de las tuberías y la concentración del fango, la membrana no recuperaba el caudal de permeado, así que la única solución posible fue el cambio de la misma.

## **6.- CONCLUSIONES**

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.

Como conclusión final 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.

## **7.- BIBLIOGRAFÍA**

Toda la documentación utilizada durante el periodo de prácticas, ha sido aportada por la empresa SOCAMEX. S.A . Y por tanto no se puede indicar con precisión por motivos de confidencialidad.

He dispuesto de:

- Los proyectos de ejecución de ambas plantas.
- Datos concretos aportados por los jefes de planta sobre la problemática y la situación actual.
- Informes de los fabricantes de las membranas.
- Explicación por parte del personal de la empresa debido a su elevada experiencia en el sector.