



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Investigación y desarrollo de la Reutilización de aguas residuales industriales

Autor: Isabel Irigoyen Porcel

Institución: Isofotón

E-mail: i.irigoyen@isofoton.com

Otros autores: Luis López Torremocha



RESUMEN:

El agua de calidad para satisfacer las necesidades humanas es un recurso cada vez más escaso, y su posesión constituye un factor esencial para el desarrollo.

La problemática actual de sequía que acontece a la cuenca Mediterránea y consecuentemente afecta a las industrias ubicadas en dicha geografía, ha originado que la gestión de las aguas residuales industriales sea considerada como una fuente adicional de abastecimiento de agua. Por este motivo, las empresas consumidoras y, por tanto, dependientes de este recurso han orientado sus esfuerzos a estudiar y desarrollar nuevas técnicas encaminadas a efectuar una gestión eficiente de los recursos hídricos.

En Isofotón, nuestro compromiso con el Desarrollo Sostenible y la prevención de la contaminación nos ha motivado a ir más allá de una gestión controlada de dicho recurso y plantearnos como objetivo la investigación y desarrollo de posibilidades de reutilización del vertido de aguas residuales industriales procedentes de nuestro propio proceso productivo.

Tras analizar la documentación existente y comprobar la falta de estudios que nos aportaran una base para desarrollar esta aplicación en la industria, decidimos abordar la realización de una planta de investigación / pruebas, a la que denominamos "**Planta Piloto**" con el objetivo de analizar las posibilidades de reutilización a través de conclusiones fundamentadas en los resultados obtenidos en los análisis realizados durante su explotación. Dicha planta se dimensionó con el tratamiento indicado según las características propias de nuestro vertido y las conclusiones obtenidas permiten ser positivos ante este tipo de tratamientos.

INTRODUCCIÓN

El agua: un recurso valioso

El agua de calidad para satisfacer las necesidades humanas es un recurso cada vez más escaso, y su posesión constituye un factor esencial para nuestro desarrollo. El uso racional del agua es un concepto asentado hoy en día en la población humana, principalmente en nuestra localización, ya que es considerado un elemento esencial para el desarrollo de los procesos físicos y biológicos así como tiene un carácter insustituible para la actividad humana.

Si de todo el agua del planeta descontamos la porción de agua salada, la que se encuentra en forma de hielo y la que constituye el agua subterránea, nos queda tan sólo un 0,4% de agua utilizable o consumible. Esta cantidad está en incesante movimiento debido al ciclo del agua, por lo que la cantidad de agua realmente aprovechable es muy pequeña y además se encuentra sometida a fuentes de contaminación.

La industrialización y el desarrollo de la actividad humana ha provocado la disminución progresiva de la calidad de las aguas superficiales debido a la existencia de vertidos líquidos urbanos e industriales, que producen como consecuencia la incorporación de sus componentes residuales que implican una alteración de sus condiciones originales.

Cuando disponemos de suficiente agua es lógico pensar en eliminar la residual pero nuestra ubicación geográfica caracterizada por los periodos de sequía nos obliga a considerar su aprovechamiento y a calificar el agua residual como un recurso más del que disponer.

En este contexto la reutilización de aguas residuales se perfila como una fuente adicional de agua merecedora de ser tenida en cuenta en la gestión global de los recursos hídricos.



El agua residual industrial para ser vertida debe cumplir todos los parámetros exigidos en la normativa de vertido de aguas residuales, ya se produzca el vertido a aguas marítimas, continentales o a la red de saneamiento municipal. Si alguno de estos

requisitos legales no pueden ser cumplidos por parte de la industria, será necesario establecer un sistema de depuración adecuada al caudal que se quiere verter y a los parámetros que se deben reducir, previa realización del vertido.

En nuestro caso y en el caso de muchas actividades industriales, es necesario incluir en las instalaciones una **Estación Depuradora de Aguas Residuales Industriales (EDARI)** con el objetivo de cumplir los límites establecidos por la normativa local, que en nuestro caso son establecidos por la Empresa Municipal de Aguas de Málaga (EMASA).

La escasez en Andalucía

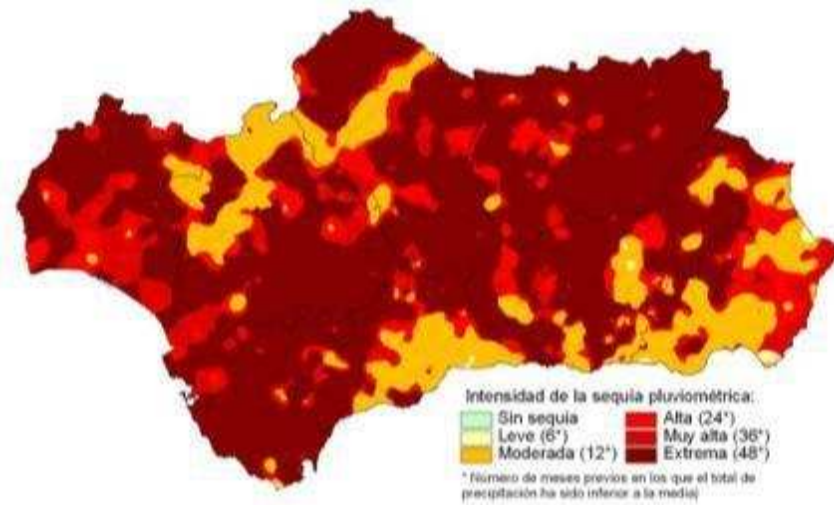
La escasez de recursos hídricos naturales en zonas áridas y semiáridas constituye un problema, para la población asentada en ellas, como es el caso de las regiones mediterráneas, en las que la creciente acumulación de población unida a una escasa pluviometría irregularmente distribuida en el tiempo y a unos limitados recursos superficiales, están llevando al agotamiento o al deterioro irreversible de los recursos subterráneos.

Lo más significativo en cuanto a las características climáticas de Andalucía se produce en relación al comportamiento de la precipitación o, más genéricamente, al balance hídrico, destacando tres aspectos particularmente desfavorables:

- La importancia del déficit hídrico.
- El desequilibrio interanual de las precipitaciones, con inviernos abundantemente regados, pero con una sequía estival prolongada e intensa que, al coincidir con la época de máximas temperaturas, exagera la dureza de sus impactos.
- La irregularidad pluviométrica interanual con alternancia de años lluviosos o muy secos que requieren de un proceso de adaptación no siempre fácil.

Todo ello determina que el **gran problema climático** de la región sea sin duda el **agua**, a pesar de que los volúmenes medios de precipitación en Andalucía no sean tan bajos como se tiende a pensar en ocasiones desde la imagen popular y a pesar de que existan incluso enclaves en los que la precipitación se cuenta entre las más elevadas de España.

Las zonas de mayor peligrosidad por sequía en Andalucía se sitúan en el centro de la región y no en las zonas más áridas de la misma, tal y como se puede apreciar en la siguiente imagen.



Situación de la sequía en Andalucía (Septiembre 2005).

Tomando como referencia la última gran sequía sufrida en la comunidad (1990-1995) uno de los impactos más relevantes es la reducción drástica del suministro de agua a las poblaciones incluyendo a los servicios e industrias ubicadas en ellas.

LA IMPORTANCIA DEL AGUA EN ISOFOTÓN

En el año 1999, motivados por la protección del medio ambiente, que ha caracterizado la labor de nuestra compañía desde sus orígenes, se comenzó a implantar un sistema de gestión ambiental basado en la norma UNE-EN-ISO 14001:1996 obteniendo el certificado del sistema de gestión ambiental en 2001.

Durante el año 2005 se realizó un importante trabajo para llevar a cabo la adaptación del Sistema de Gestión Ambiental a la nueva norma UNE-EN ISO 14001:2004, al mismo tiempo que se adaptó el alcance a las nuevas instalaciones del Parque Tecnológico.

Tal y como expresamos en nuestra Política Ambiental, el principal objetivo en el marco de la gestión sostenible es la protección del Medio Ambiente y la prevención de la contaminación, como respuesta a las necesidades socioeconómicas para la producción de una energía limpia e inagotable

En una línea de mejora continua, hemos avanzado durante todos estos años en el control de los aspectos ambientales asociados a las actividades de negocio, así como en la búsqueda y aplicación de las mejores técnicas disponibles.

Uno de los aspectos ambientales de mayor consideración en nuestra actividad es el consumo de agua. Como se expone a continuación, la actividad fabril de Isofotón necesita agua para poder desarrollar sus procesos pero debido al compromiso adquirido con el medio ambiente, un objetivo principal es llevar a cabo continuos estudios con el fin de disminuir la cantidad de agua consumida y reutilizar el agua residual procedente de nuestro proceso.

Tratamiento y consumo de agua

Para comentar el consumo de agua que se realiza y los procesos donde tiene lugar es imprescindible realizar una breve descripción de los tratamientos que tienen lugar previo al consumo y posterior a éste.

Isofotón cuenta con dos plantas de tratamiento, siendo éstas:

- Planta de Tratamiento de Agua de Aporte.
- Planta de Tratamiento de Vertidos.

Planta de tratamiento de agua de aporte

1. *Producción de agua desionizada*

Pretratamiento

El agua sufre en primer lugar una fase de filtración mediante un filtro con una carga de carbón activo que tiene como objetivo preparar el caudal de agua que va a pasar al tratamiento mediante ósmosis inversa de forma que se eviten obstrucciones en las membranas y se alargue su vida útil.

Al agua filtrada se le dosifica un producto antiincrustante y secuestrante, para evitar sales de magnesio, sulfatos, sílice, etc., que produzcan incrustaciones en las membranas y por lo tanto pérdida de caudal en el agua tratada.

Ósmosis Inversa

Se realiza mediante una filtración del agua que retendrá partículas, sólidos en suspensión, etc. Posteriormente el agua pasa al interior de las membranas de la ósmosis inversa impulsada por bombas de alta presión. A la salida de estas membranas se producen dos corrientes: una será agua tratada, y la otra corriente será de rechazo que se dirige hacia la EDARI.

Desmineralización

El agua una vez tratada pasará a tres depósitos de almacenamiento donde se mezclará con el caudal de alto contenido en fluoruros y de aquí la mezcla se impulsará al tratamiento de desmineralización mediante un sistema de lecho mixto para la obtención de un agua apta para el uso en nuestros procesos, con una conductividad aproximada de 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en el caso del tratamiento con resinas nucleares 0.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2. Producción de agua descalcificada

El agua procedente de red pasa por el sistema de lecho de resinas aniónicas de intercambio específicas para eliminar la dureza del agua. Consiste en la eliminación de iones de calcio por sustitución con iones cloruros.



Planta de Tratamiento de Agua de Aporte

Consumo de agua

Actividad productiva

El consumo de agua de la actividad fabril realizada por Isofotón tiene lugar básicamente en los siguientes procesos:

- Formación de micropirámides, que se caracteriza por la realización de un ataque alcalino a la superficie de las obleas para generar pirámides microscópicas con el fin de reducir el índice de reflexión.
- Eliminación de Óxido crecido durante el proceso de difusión mediante la inmersión en un medio.

El consumo efectuado en estos procesos da lugar a un vertido caracterizada por elementos básicos procedentes del proceso de formación de micropirámides y a otro vertido caracterizado por elementos ácidos derivados de la eliminación de óxido.

Instalaciones vinculadas al proceso productivo

Es importante destacar, que el consumo de agua en las instalaciones de Isofotón no tiene lugar únicamente en las actividades relacionadas con el proceso de fabricación de células solares, paneles fotovoltaicos y captadores térmicos solares. Es elemental comentar que para la correcta realización de las actividades fabriles así como mantenimiento, oficinas y otro tipo de actividades que se encuentran en las instalaciones, es necesaria la existencia de torres de refrigeración, compresores, calderas, humectadores, sanitarios y otros dispositivos que proporcionan unas condiciones adecuadas. Entre todas estas infraestructuras, destacan las torres de refrigeración por ser mayor el consumo necesitado.

Planta de tratamiento de vertido

El proceso de fabricación de Isofotón genera diferentes vertidos, teniendo cada uno de ellos unas características especiales. Por ello, se han instalados diferentes líneas de tratamiento, con el objetivo de que el vertido final sea acorde a los límites establecidos por la Empresa Municipal de Aguas de Málaga (EMASA).

Las líneas se caracterizan por los tratamientos que realizan, siendo éstos:

- Tratamiento Físico-químico.
- Evaporación.
- Homogeneización.



Planta de Tratamiento de Vertido

Tratamiento Físico- Químico

Este tratamiento se realiza al vertido de carácter ácido. En primer lugar se inertiza la carga contaminante mediante la adición de cal y posteriormente se hace decantar la carga mediante el proceso de coagulación y floculación. Por último se hace pasar el decantado por un filtro prensa obteniendo como resultado unos fangos que son deshidratados y gestionados como residuos.

Evaporación

El tratamiento es realizado al vertido de carácter básico y consiste en la evaporación forzada del mismo, mediante un sistema de depuración en el que el agua se separa físicamente de todas aquellas impurezas que no son volátiles en las condiciones de presión y temperatura del evaporador. Por tanto, se aplica el principio de evaporación a vacío y baja temperatura.

Homogeneización

Los vertidos procedentes de los enjuagues, rechazos y aguas tratadas en las líneas expuestas anteriormente son recepcionados en una balsa para sufrir un proceso de homogeneización tanto en caudal como en carga contaminante.

Por último, una vez que el vertido se encuentra homogeneizado se bombea al colector donde se realiza un control del pH y de la conductividad.

ESTUDIOS REALIZADOS PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE AGUA

El ámbito territorial en el que la empresa desarrolla su actividad productiva, la cuenca Mediterránea, uno de los problemas ambientales de mayor importancia y actualidad es la gran escasez de agua. Ante este hecho la empresa ha decidido aumentar sus esfuerzos y estudiar las diferentes posibilidades para conseguir una reducción del consumo de agua.

El primer punto a abordar para poder establecer objetivos de reducción es elaborar una base de datos que ofrezca una información cuantitativa de la evolución del consumo. En este punto, se implantó un **Plan de Control de Consumos**, en el que se estableció el desarrollo de las siguientes actividades:

- Instalación de contadores
- Lectura de datos
- Análisis de resultados
- Actuaciones derivadas del análisis

Tras obtener datos que nos permitiesen analizar la situación del consumo, efectuar la realización de comparaciones y plantearnos objetivos, pudimos poner en marcha los siguientes estudios con el fin de reducir el consumo de agua:

Optimización de consumos en procesos

La realización de esta medida requiere un importante estudio tanto para reducir el consumo de agua y aumentar la eficiencia de su uso como para realizar un desarrollo adecuado del proceso. Para llevar a cabo una optimización del consumo en un proceso es importante estudiar al mismo tiempo como afectará dicha medida al producto y concluir si técnicamente es viable.

En el caso del proceso de micropirámides se está realizando una importante labor de optimización que comenzó con la adquisición de dos nuevas líneas para el proceso de última tecnología y cuyo consumo es menor. Sobre éstas así como sobre las líneas anteriores se está trabajando continuamente optimizando las recetas de proceso.

Para el proceso de eliminación de óxido también se han adquirido nuevas máquinas que nos permiten obtener mayores calidades y efectuar un consumo menor.

Reutilización de agua

Una actuación innovadora y ambiciosa en la que la Isofotón tiene grandes aspiraciones es la reutilización del vertido de aguas residuales, hecho con el que se plantea conseguir una reducción del 20% del consumo total efectuado en las instalaciones.

Las incitativas llevadas a cabo por las Administraciones públicas han desempeñado una función esencial en relación al establecimiento de estrategias económicas y territoriales para la gestión y distribución del agua, pero dichas acciones han sido derivadas fundamentalmente a la agricultura, cuya demanda de agua en Andalucía representa un 77,56% del total del consumo.

Una iniciativa llevada a cabo por la Administración en el año 2007 ha sido la aprobación del *RD 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas* cuyo objeto es establecer el régimen jurídico para la reutilización de las aguas depuradas, entendiéndose como **reutilización de aguas** a la aplicación, antes de su devolución al dominio público hidráulico y al marítimo terrestre para un **nuevo uso privativo** de las aguas que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido al proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido y a los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los usos a que se van a destinar.

En este punto es importante comentar que el consumo industrial representa un porcentaje muy bajo en el conjunto del consumo efectuado en Andalucía (2,8%). Además una parte significativa del consumo de agua de aquellas industrias situadas en el ámbito urbano se suele contabilizar como consumo urbano, ya que no existen redes de distribución específicas.

Por todo lo comentado anteriormente, no existen estándares de calidad de agua para la reutilización de aguas residuales industriales (agua utilizada para el mismo uso primitivo) y los requisitos son marcados por las propias necesidades de la empresa. Las iniciativas privadas son responsables de numerosos avances tecnológicos en este ámbito ya que para muchas industriales el uso eficiente de este recurso es fundamental. En nuestro caso, el planteamiento de reutilización de agua se realizó considerando las características de nuestro vertido y nuestras posibilidades para obtener calidades óptimas tras el proceso de depuración.

Este planteamiento se plasmó en la realización de una Planta Piloto que nos permitiese simular el tratamiento terciario realizado al vertido con el fin de poder analizar su viabilidad técnica y económica.

Planta Piloto

Se realizó la instalación de una Planta Piloto destinada al ensayo y estudio de un tratamiento terciario del agua de salida de la depuradora actual, con el fin de acondicionar dicho vertido para poder reutilizarlo como agua de entrada en el proceso productivo. Al mismo tiempo que se analizó la repercusión de esta reutilización en la EDARI, al cambiarle las características del agua de entrada a la misma.

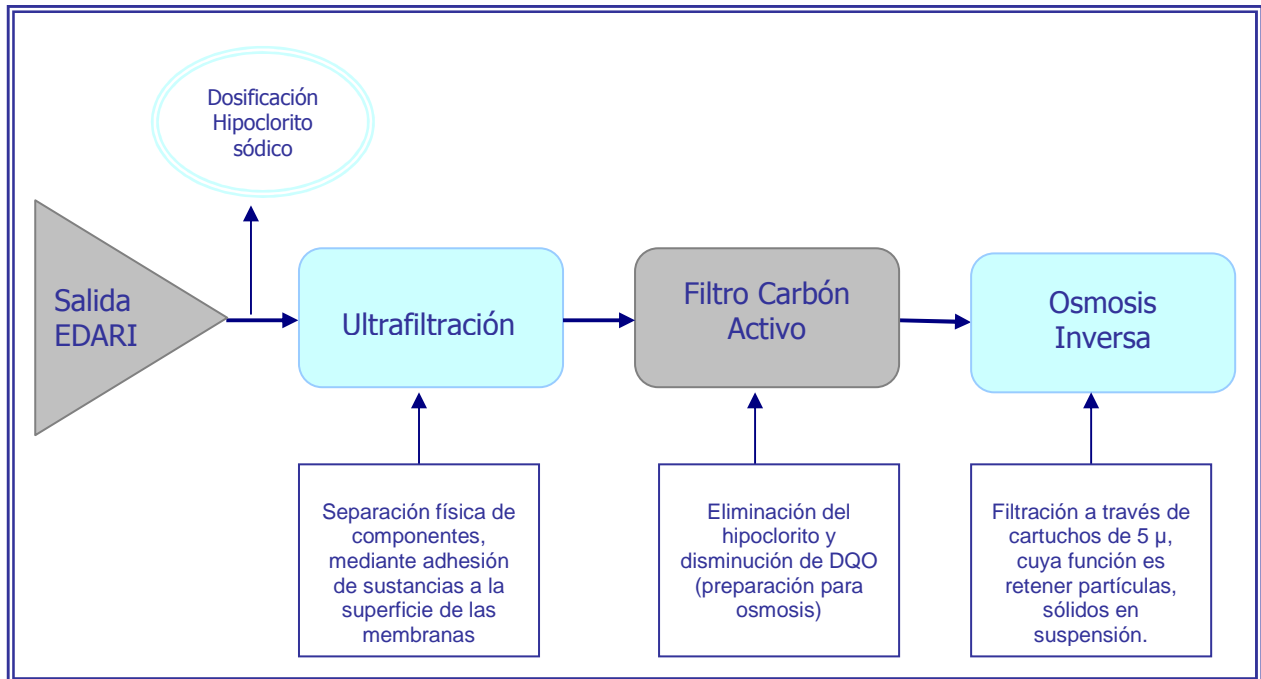
Se trató un caudal de 12 m³/día (0,5 m³/h) y se realizó un seguimiento analítico de los principales parámetros, en puntos intermedios al tratamiento y a la salida de la planta.

La duración de dicha investigación fue aproximadamente 2 meses, durante los cuales se efectuaron analíticas con una frecuencia semanal.

Tratamiento planteado, analizado y evaluado

El diseño del tratamiento se realizó atendiendo a los resultados obtenidos en los parámetros analizados mensualmente en el agua vertida por la depuradora y fue dirigido principalmente a la eliminación de Sólidos en suspensión mediante un tratamiento de ultrafiltración, la eliminación de la DQO mediante un filtro de carbón activo y la disminución de la conductividad presente a través de un tratamiento de ósmosis inversa.

Las etapas ejecutadas para el tratamiento quedan expuestas a continuación en el siguiente esquema:

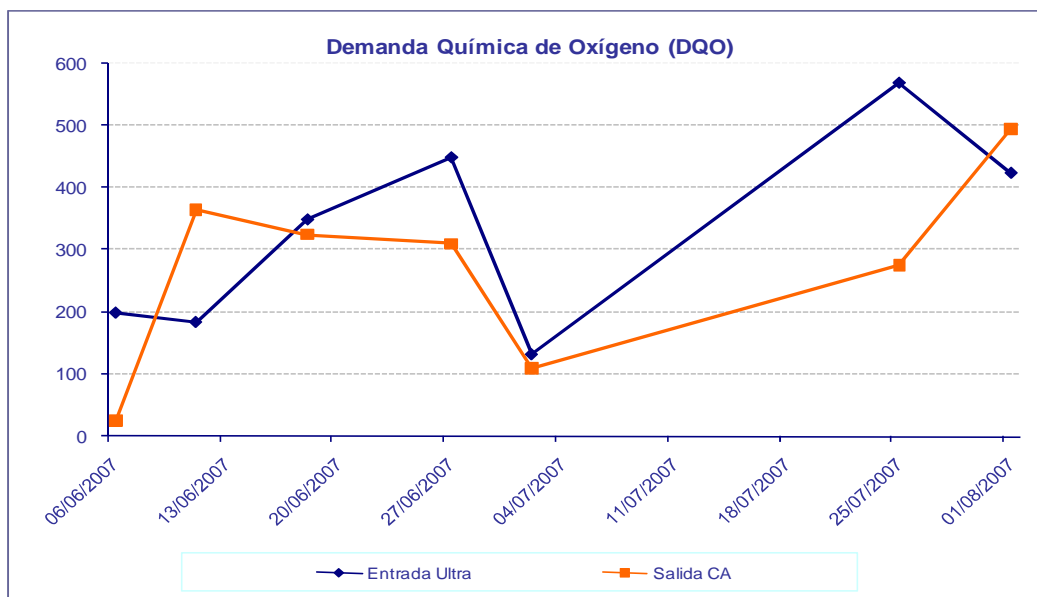
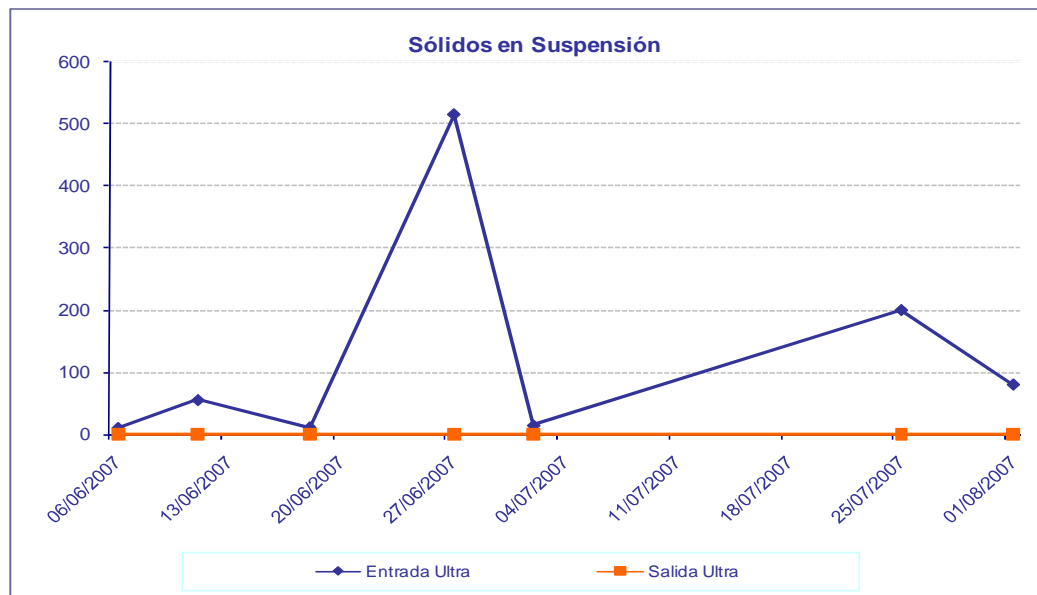
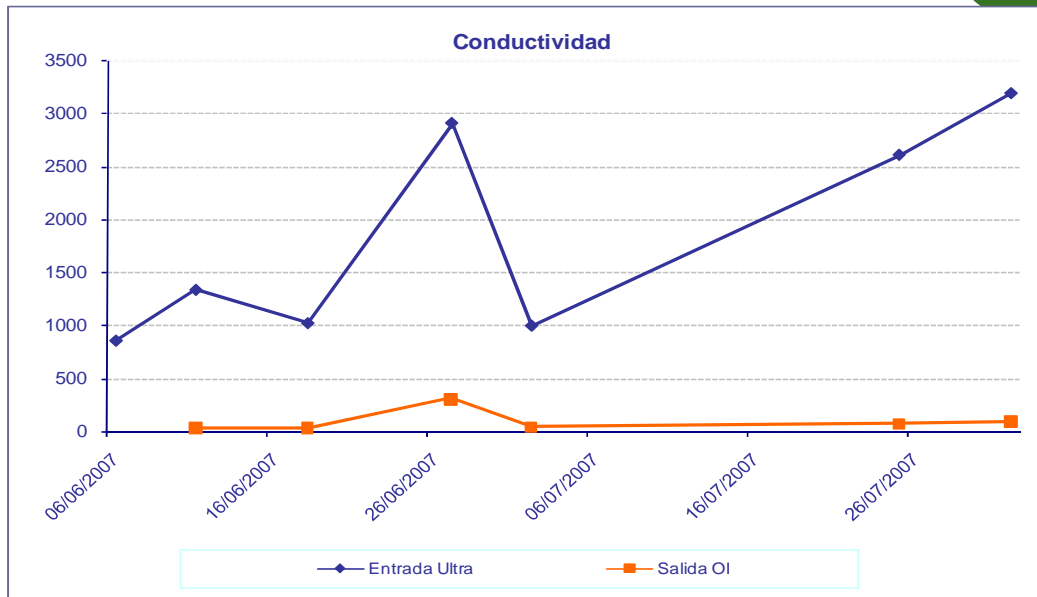


Resultados obtenidos

Los resultados obtenidos a través de las analíticas realizadas a la Planta Piloto se exponen en la siguiente tabla.

Fecha	Conductividad (μS/cm)		DQO (mg/l)		SS (mg/l)	
	Entrada Ultra	Salida OI	Entrada Ultra	Salida CA	Entrada ultra	Salida Ultra
06/06/07	853		200	25	10	<10
11/06/07	1330	25	185	365	55	<10
18/06/07	1017	31	350	325	11	<10
27/06/07	2900	309	450	310	515	<10
02/07/07	994	36,4	133	110	14	<10
25/07/07	2600	65,7	570	275	200	<10
01/08/07	3180	91	425	495	80	<10

A continuación se describe detalladamente la evolución de dichos parámetros a lo largo de la investigación.



CONCLUSIONES

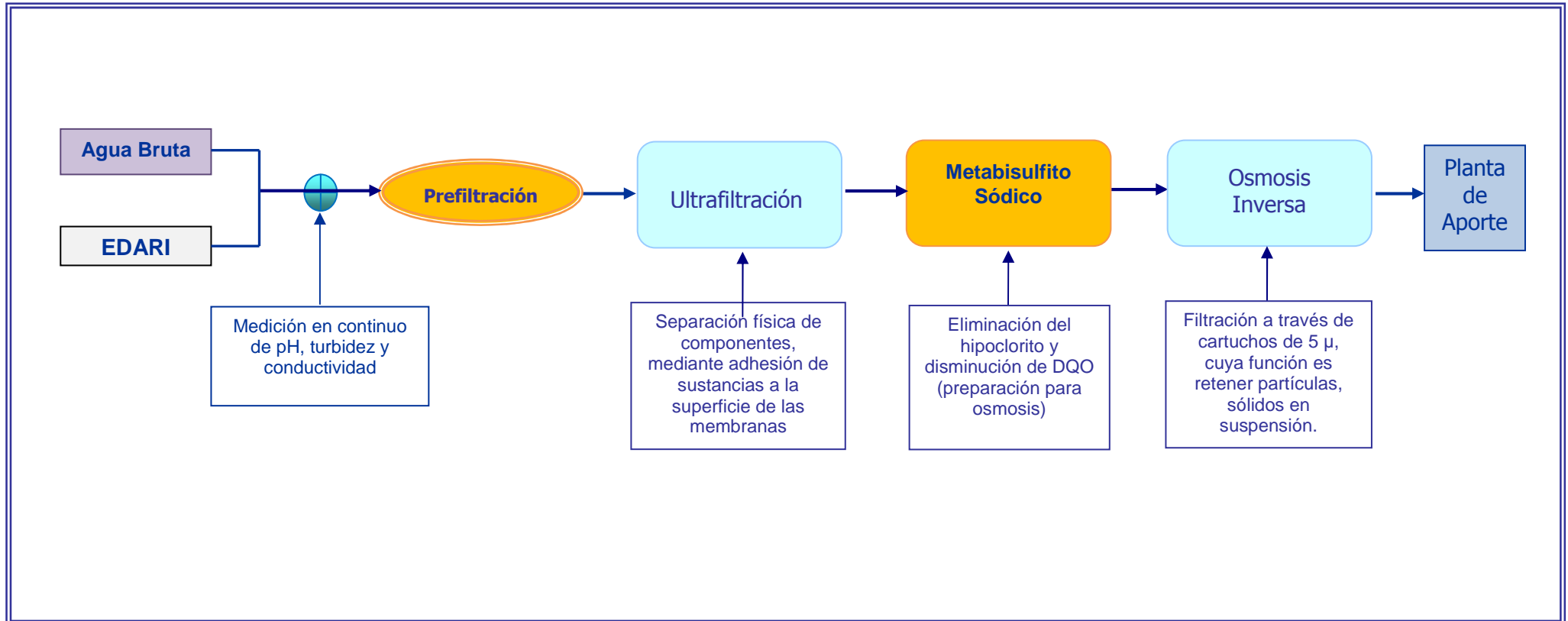
Tras el análisis de los resultados obtenidos durante el funcionamiento de la planta experimental, las conclusiones que se obtienen son las siguientes:

- La **conductividad** de salida de la planta es adecuada para el uso que se le quiere dar, destacando que las pruebas con dicha planta se han realizado únicamente con un primer paso de osmosis inversa mientras que la planta industrial se ha planteado con un segundo paso de osmosis para llevar el agua a las características adecuadas para su uso en proceso. En cualquier caso, la salida de conductividad de osmosis sigue una tendencia semejante a la entrada, por lo que es necesario asegurarse la calidad del vertido, para lo que será conveniente la instalación de un equipo de medida en continuo que discrimine una entrada inadecuada mediante la programación de un punto de conductividad máxima aceptable.
- Los **sólidos en suspensión** son eliminados completamente por el tratamiento de ultrafiltración, siendo en todos los casos el valor obtenido inferior a 10 mg/litro. Por tanto, la ultrafiltración cumple el objetivo de impedir el paso de sólidos a la osmosis inversa, retardando el ensuciamiento de las membranas.
- La **demanda química de oxígeno** no se elimina satisfactoriamente mediante el filtro de carbón activo. La duración efectiva de la carga de carbón activo es aproximadamente una semana, por este motivo no es recomendable su implantación en planta de recuperación.
- La planta de recuperación será el paso intermedio entre la EDARI y la Planta de Tratamiento de Agua de Aporte, adaptando las mismas para efectuar el tratamiento propuesto.

Con estas conclusiones las etapas propuestas en la Planta Piloto se modifican para obtener el rendimiento y la calidad en la Planta de Recuperación. Por tanto, las etapas serán las siguientes:

1. Entrada de agua y paso por **prefiltración** mediante un filtro de malla de 100 μm de luz de paso, que retendrá partículas en suspensión.
2. Análisis por **equipos de medición en continuo** de pH, turbidez y conductividad para determinar si es apta para pasar a la planta.
3. **Ultrafiltración** mediante flujo directo, es decir, se hará pasar la totalidad del caudal a través de la membrana de ultrafiltración.
4. Acondicionamiento del agua mediante la dosificación de **metabisulfito sódico** en lugar del filtro de carbón activo planteado en la Planta Piloto.
5. Filtración mediante dos pasos de **Osmosis Inversa**, a través de cartuchos de 5 micras de tamaño que retendrán partículas, sólidos en suspensión, etc.

Diseño revisado de la Planta Piloto para utilizarlo en una Planta de Recuperación



REFERENCIAS

Metcalf & Eddy "Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización", 3ª ed. (1ª en español), McGraw-Hill, Madrid, 1995.

Ramalho, R.S. "Tratamiento de aguas residuales", Reverté, Barcelona, 1996.

Ministerio de Medio Ambiente (CHS). "Plan de Depuración y Reutilización de las aguas residuales de la Comarca de Poniente" (Almería).1995

Pérez Parra, J.; Valverde Arbós, A. "Depuración y Reutilización de Aguas Residuales", Almería, 1998.

IPCC, "Tercer Informe de Evaluación. Tendencias de las temperaturas en algunos observatorios andaluces durante el siglo XX". La Base Científica, 2001.

Agencia Andaluza del Agua. "Prioridades del uso del agua" 2005.

Agencia Andaluza del Agua. "Actuaciones en marcha". 2005.

Ayuntamiento de Málaga, Área de Medio Ambiente "Apuntes medioambientales de la ciudad de Málaga".

Consejería de Medio Ambiente, Agencia Andaluza del Agua. "Gestión del Agua y la Sequía".

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) "La reutilización de las aguas residuales: acondicionamiento y uso".

Roldán, J. "La reutilización para el riego en España. Curso sobre reutilización de aguas para riego". ETSIA de Valencia, 1997..