

EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LAS TECNOLOGÍAS DE REGENERACIÓN DE AGUAS

Philippe Rougé

Aguas de Barcelona – SOREA
Director departamento depuración.
Torre AGBAR
Avenida Diagonal 211
08018 Barcelona.
E-mail: prouge@agbar.net

RESUMEN

Este documento pretende dar al lector una serie de criterios para el diseño de planta de tratamiento terciario. Evalúa los datos de partida, objetivos de calidad y los rendimientos de cada operación unitaria que esta a la disposición del proyectista para realizar una Planta de Tratamiento Terciario (PTT) de aguas depuradas. También permite situar económicamente cada proyecto facilitando el OPEX y el CAPEX de cada proceso que compone una PTT. Estos datos que permiten esta evaluación técnica y económica se han obtenido basándose en plantas reales operadas por diversas empresas del grupo AGBAR.

Palabras clave: reutilización, costes inversión, costes operación, plantas de tratamiento terciario, agua regenerada.

SUMARIO

1. Definición de los objetivos de tratamiento de una Planta de Tratamiento Terciario (PTT):
 - 1.1. El punto de partida: Calidad del agua disponible
 - 1.2. Los objetivos de calidad del agua tratada en función de los usos posteriores y de la modalidad de utilización de este recurso alternativo
2. El proyecto de una PTT:
 - 2.1. Las tecnologías disponibles
 - 2.2. La ubicación de las instalaciones
 - 2.3. La combinación de operaciones unitarias (línea de tratamiento)
 - 2.4. Los costes de implantación

3. La operación de una PTT:
 - 3.1. El control de puntos críticos - El riesgo sanitario
 - 3.2. Los costes y riesgos económicos asociados
4. La distribución de agua regenerada:
 - 4.1. Las medidas de seguridad a adoptar
 - 4.2. Las garantías de continuidad del suministro

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo consiste en analizar los criterios de diseño de una planta de tratamiento terciario de aguas residuales tratadas convencionalmente. Estos criterios se han obtenido basándose en un análisis técnico económico de las operaciones unitarias que componen plantas de tratamiento terciario proyectadas y construidas u simplemente operadas por empresas vinculadas al grupo AGBAR

Como preámbulo, queremos definir el alcance de los proyectos de reutilización de aguas depuradas que analizaremos en este documento. Partiremos de proyectos de tratamiento terciario de aguas residuales urbanas o mixtas (urbanas e industriales mezcladas) tratadas, obtenidas después de un tratamiento secundario y que tienen una calidad que cumple con Directiva CEE/271/91. Sin embargo, debido a su relevancia, expondremos un caso práctico de tratamiento avanzado de aguas industriales procedentes del sector de curtido por su complejidad y por las innovaciones tecnológicas que comporta.

A nuestro modo de ver, la reutilización permite mejorar la calidad de los recursos de aguas continentales al permitir la utilización de un agua de calidad suficiente para aplicaciones que no requieren una calidad superior a la necesaria, preservando asimismo los recursos naturales. De hecho el agua regenerada solo puede ser considerada y contabilizada como un recurso alternativo cuando resta de los caudales naturales que se vierten al mar.

En el momento de realizar un proyecto de reutilización, el proyectista tiene que integrar los aspectos principales siguientes:

- La calidad del agua de partida y su origen (urbana, industrial, mixta)
- La calidad del agua tratada y especialmente sus condiciones sanitarias su composición química y régimen de producción
- Las garantías de suministro, almacenamiento y distribución
- Las modalidades de aplicación y utilización del agua regenerada

DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE TRATAMIENTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO TERCIARIO (PTT)

El punto de partida: Calidad del agua disponible

Partiendo de un agua procedente de una planta de tratamiento de aguas residuales convencional se ha de exigir como mínimo respetar las condiciones de vertido de la directiva CEE/271/91 o lo que en cada caso aplique siempre y cuando estas condiciones sean más restrictivas. Esta directiva prevé vertido a cauce público y la calidad de vertido solo es relativa a parámetros de contaminación globales tales como:

- MES
- Materia Orgánica (DBO5, DQO)
- Nutrientes (nitrógeno y fósforo) sólo cuando sea de aplicación por categoría del punto de vertido (sensible)

Esta calidad del agua para vertido a cauce publico no prevé otros criterios directamente relacionados con las necesidades del destino final de esta agua en caso de ser reutilizada como por ejemplo:

- Contenido en microorganismos patógenos, virus, parásitos, ...
- Contenidos en sales
- Contenidos en elementos contaminantes específicos que pueden invalidar el uso de esta agua para aplicaciones concretas (boro con regadío de cítricos)

El contenido en estos elementos contaminantes permitirá definir mas adelante las operaciones unitarias necesarias para la eliminación de los mismos.

Unos de los puntos a analizar antes de realizar un proyecto de Planta de Tratamiento Terciario (PTT) es necesario evaluar la fiabilidad de las instalaciones de tratamiento secundario que produce las aguas motivo del posterior tratamiento. Esta evaluación ha de permitir valorar la necesidad de prever de dotar estas instalaciones de tratamiento terciario de las seguridades oportunas. El éxito del tratamiento terciario depende del funcionamiento del tratamiento secundario previo.

Otro de los aspectos a tener en cuenta es el perfil de los caudales disponibles ya que condiciona el dimensionamiento de las plantas de tratamiento terciario y también permite evaluar las necesidades de una regulación de caudales antes o después de las plantas de tratamiento terciario para integrar las variaciones de cantidad de agua disponible en intervalos cortos (diurno/nocturno) o largos (variaciones de la demanda estacionales)

Los objetivos de calidad del agua tratada en función de los usos posteriores y de la modalidad de utilización de este recurso alternativo

La calidad del agua regenerada es función de los posteriores usos que se pretende dar a este recurso. No hay legislación que regule esta calidad de agua en función de su posterior uso pero existen guías practicas como por ejemplo la del CEDEX y la de la ACA. A título de ejemplo en la Tabla 1 se presentan los criterios de calidad del agua regenerada en función de los usos adoptados por la ACA.

La gran diversidad de casos de aplicación de agua regenerada fomenta la necesidad de utilizar reglas generales y de sentido común en la utilización de esta agua regenerada como por ejemplo manuales de buenas practicas con el objetivo de proteger las personas que operan plantas de tratamiento terciario y los utilizadores de este recurso alternativo así como los consumidores finales de productos obtenidos a partir de agua regenerada.

Tabla 1. Criterios de calidad del agua regenerada adoptados por la ACA en función de los usos.

A		
	Recarga de acuíferos por inyección	Se inyecta agua directamente en el acuífero o a través de los pozos de carga
	Recarga de acuíferos por percolación	La recarga se realiza filtrando el agua a través del terreno
B		
	Usos/Servicios urbanos	Riego de zonas verdes Riego de campos de golf Limpieza de calles
	Cultivos de invernadero	Uso agrícola en invernaderos y cultivos intensivos
	Cultivos de consumo en crudo Otros cultivos por aspersión	Riego de cultivos que se consumen en crudo y otros cultivos regados por aspersión
	Masas de agua de acceso público (no apto baño)	Masas de agua en lugares donde el acceso del público no está restringido pero en los cuales está prohibido el baño (Estany de la Ciutadella, Lago de Puigcerdà, etc.)
C		
	Pastos animales de leche / carne	Riego de prados y pastos para animales productores de leche o de carne
	Cultivos de conserva Cultivos de consumo no crudo Frutales no aspersión	Riego de cultivos que son procesados antes de su consumo (legumbres, verduras) y frutales no regados por aspersión
	Acuicultura	Uso del agua en acuicultura, excepto los moluscos filtradores
	Masas de agua de acceso no público	Masas de agua donde el acceso al público está restringido (balsas, depósitos anti-incendios)
D		
	Cultivos industriales Forrajes ensilados Cereales Oleaginosas	Riego de cultivos industriales (cáñamo, algodón) Forrajes ensilados (maíz) Cereales (trigo, cebada) Plantas oleaginosas (soja, girasol)
	Refrigeración industria no alimentaria	Agua de refrigeración industrial, salvo industrias alimentarias
E		
	Bosques Zonas verdes no públicas	Riego de bosques y zonas verdes donde el acceso al público está restringido (medianas autopistas)

EL PROYECTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO TERCIARIO (PTT)

Las tecnologías disponibles

Las tecnologías disponibles son de 2 tipo en función de si sólo es preciso una desinfección del agua o bien si además es necesaria una desalobración de las aguas a tratar dentro de una planta de tratamiento terciario.

Tratamientos de desinfección

Los tratamientos de desinfección son los siguientes:

- La desinfección con cloro
- La desinfección con UV
- Las otras tipologías de tratamientos de desinfección (desinfección con otros reactivos químicos que no sean el cloro o sus derivados (Bromo, ácido peracético, ozono, pH alto o bajo, etc...), desinfección con tratamientos de membranas, etc...)
- La desinfección mediante tratamientos extensivos (lagunaje, infiltración percolación, ...)

Estos tratamientos de desinfección a la excepción de los tratamientos extensivos precisan en general un pre-tratamiento del agua con el fin de eliminar al máximo posible la Materia en Suspensión (MeS) y la materia orgánica asociada. Estos pre-tratamientos consisten generalmente en una sola o una combinación de las operaciones unitarias siguientes:

- Tratamientos físico químicos de coagulación, floculación y decantación y/o filtración
- Filtración
- Utilización de técnicas de membranas asociadas o no al tratamiento biológico (situado después de un tratamiento secundario o formando parte del tratamiento secundario como en el caso de un Bio Reactor de Membranas -BRM-)

Tratamiento de desalación o desalobración

Para llegar a este nivel de calidad del agua regenerada es necesaria la utilización de técnicas de membranas. Estos tratamientos se realizan con el objetivo de reducir la conductividad del agua a reutilizar y se pueden utilizar para el tratamiento parcial o completo del agua a obtener según la tecnología utilizada.

Estas tecnologías de tratamiento con membranas son:

- La Osmosis Inversa (OI)
- La Electro Diálisis Reversible (EDR)
- La Nano Filtración (NF)

Estas tecnologías permiten también la desinfección del agua tratada a la excepción de la EDR que tiene un efecto casi nulo sobre los microorganismos patógenos. La utilización de estas tecnologías precisa imperativamente la utilización de pre-tratamientos muy efectivos como por ejemplo de microfiltración o de ultrafiltración. Previamente a la microfiltración o a la ultrafiltración, a su vez se han de implementar tratamientos de filtración eficaces para evitar la colmatación de las membranas. Estos últimos pre-tratamientos son de tipo de tratamientos físico químicos de coagulación, floculación y decantación y/o filtración. En el caso de la EDR estos pretratamientos pueden ser de menor calidad que los necesarios para la OI o la NF. La turbidez del agua que entra a esta última operación unitaria puede ser inferior a 5 NTU. Sin embargo, en general el rango de aplicación de la EDR corresponde a aguas cuya conductividad no supere los 4.000 – 5.000 micro S/cm. El agua a tratar en la EDR ha de ser completamente libre de hierro y de aluminio lo que condiciona la utilización y la operación de tratamientos físico-químicos previos.

Conclusiones

Las conclusiones basadas en nuestra experiencia son las siguientes:

Si sólo se necesita desinfección: En caso de plantas de tratamiento terciario de pequeño tamaño (menos de 2.000 m³/d aprox.) los tratamientos extensivos y especialmente la infiltración percolación son los más adecuados. El problema de esta tecnología viene del espacio que ocupa ya que sólo permite tratar entre 0.3 y 0.8 m³/m²/dia. También se ha de mencionar el riesgo que plantea este tipo de instalaciones en el futuro ya que no existen de momento datos históricos del comportamiento de estos filtros a suficiente largo plazo como para predecir el momento de sustitución o de rehabilitación del media filtrante. Las ventajas de esta tecnología proceden de la ausencia de utilización de reactivos químicos y por tanto de

la ausencia de formación de productos indeseables como aquellos procedentes de la combinación del cloro con materia orgánica etc. También el coste de operación es mínimo.

En caso de plantas de tratamiento terciario de tamaño ya relevante (mas de 2.000 m³/d aprox.), se imponen los tratamientos intensivos de tipo físico-químico de coagulación, floculación y decantación y/o filtración. Lo mejores resultados de calidad obtenidos son utilizando PAC como coagulante (10-20 ppm), polielectrolito aniónico como floculante, decantación lamelar y finalmente filtración sobre filtros de arena de limpieza continua para un afino y una seguridad. Cabe reseñar que los rendimientos de filtros de arena cerrados que funcionan a velocidades más rápidas son inferiores a filtros lentos especialmente en este tipo de aplicación. Con respecto a la desinfección, en este tipo de instalación de tamaño relativamente grande, el cloro o derivados combinado con una desinfección final con radiación UV permite obtener una calidad de desinfección suficiente para la gran mayoría de las aplicaciones posteriores. Las tecnologías de membranas destinadas solamente a la desinfección de agua terciaria son de momento poco utilizadas por su elevado precio pero sin embargo están apareciendo últimamente en el campo de la depuración mediante los BRM combinando el tratamiento secundario de una EDAR convencional un tratamiento avanzado de desinfección.

Si se necesita desalación: En el caso de desear obtener un agua de alta calidad reduciendo su contenido en sales, sólo se pueden utilizar los tratamientos de membranas prestando especial atención a los pre-tratamientos a aplicar. La selección de esta tecnología de membrana ha de tener en cuenta la tipología y concentración de sales a eliminar del agua a tratar. Las experiencias que tenemos en el grupo AGBAR utilizan en su gran mayoría la OI como tecnología de desalación por su adaptabilidad a todo tipo de aguas a tratar y la calidad del resultado obtenido. Las experiencias en plantas piloto con tecnología de Nano Filtración no han sido concluyentes con las aguas con las que se ha intentado trabajar, probablemente por la elevada concentración de su contenido en sales monovalentes. En lo que se refiere a la Electro Diálisis Reversible, su utilización es de momento poco recomendable en caso de aguas con conductividad superior a 4.000 – 5.000 micro S/cm, aunque las instalaciones industriales tengan una tasa de recuperación de agua aparentemente superior a las plantas de RO. (85% en ves de 75%). También cabe reseñar que las instalaciones de EDR no ofrecen la flexibilidad que ofrece la OI en lo que se refiere a al reposición de membranas al ser difícil el cambio de marcas o de tipos de membranas.

En regla general no se puede predecir con exactitud como se van a comportar en la realidad cada una de las operaciones unitarias que se han descrito anteriormente ya que este funcionamiento futuro depende en gran parte de la calidad del agua a la salida del tratamiento secundario. ¡El mejor tratamiento terciario es un buen tratamiento secundario!

La ubicación de las instalaciones

Generalmente los tratamientos terciarios generan uno subproductos resultantes de la concentración de los elementos contaminantes que han sido retirados del agua. Se trata de los fangos procedentes de la purga de decantadores terciarios, de aguas de limpieza de filtros, de rechazos o concentrados de tecnologías de membranas. Unas de las tecnologías mencionadas anteriormente que no produce subproductos separados del agua tratada son la simple cloración por ejemplo o la filtración de tipo Infiltración-Percolación.

Estos subproductos separados del agua y generados por la PTT se encuentran bajo forma líquida y son de dos tipos: aguas fangosas y concentrados de sales. En caso de las aguas

fangosas, se puede fácilmente implementar una línea de fangos tradicional para concentrar esta contaminación. Sin embargo este ejercicio no es tan simple cuando se trata de salmueras.

Todo lo anterior motiva instalar la PTT cerca de la EDAR con el fin de poder retornar los subproductos generados a al entrada o a al salida de la EDAR. Los colectores de agua fangosa pueden ser conectados a la entrada de al EDAR y las salmueras a al salida de esta ultima instalación.

También es importante que el gestor de la PTT sea idéntico al operador de la EDAR. Ello permite que en caso de cualquier anomalía en el funcionamiento de la EDAR sea detectada con la máxima antelación y no afecte al funcionamiento de la PTT teniendo un único responsable para la operación de ambas instalaciones. Esta proximidad a nivel de ubicación de planta permite compartir recursos materiales y humanos lo que permite proporcionar un servicio de operación de mejor calidad.

La combinación de operaciones unitarias (línea de tratamiento)

Para desinfección en plantas de tamaño pequeño (menos de 2.000 m³/día):

Se recomienda la implementación de las operaciones unitarias siguientes:

- Laminación de caudal
- Infiltración Percolación
- Desinfección con UV y/o cloro
- Almacenamiento previo a distribución

Para desinfección en plantas de tamaño relevante (mas de 2.000 m³/dia):

Se recomienda la implementación de las operaciones unitarias siguientes:

- Laminación de caudal
- Coagulación floculación
- Decantación
- Filtración lenta
- Desinfección con UV y/o cloro
- Almacenamiento previo a distribución

Para desalación:

Se recomienda la implementación de las operaciones unitarias siguientes:

- Laminación de caudal
- Coagulación floculación
- Decantación
- Filtración lenta
- Micro filtración o ultrafiltración
- Nanofiltración, Electrodialisis Reversible o Osmosis Inversa
- Desinfección cloro
- Almacenamiento previo a distribución

Los costes de implantación

Los costes de inversión en plantas de tratamientos terciarios son muy variables en función del objetivo perseguido, del tamaño y tipo de la planta de tratamiento y de la calidad del agua de la cual partimos.

Para avanzar unos ordenes de magnitud citaremos los ejemplos siguientes:

- Plantas de infiltración-percolación con desinfección final UV situada después de un tratamiento secundario convencional (capacidad de tratamiento del orden de 2.000 m³/día): 200 €/m³.d-1
- Plantas de tratamiento físico químico de coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección cloro y UV situada después de un tratamiento secundario convencional (capacidad de tratamiento del orden de 10.000 m³/día): 200 €/m³.d-1
- Plantas de tratamiento físico químico de coagulación, floculación, decantación, filtración y desinfección cloro y UV situada después de un tratamiento secundario convencional (capacidad de tratamiento del orden de 1.000 m³/día): 400 €/m³.d-1
- Plantas de tratamiento de microfiltración y osmosis inversa situada después de un tratamiento secundario convencional seguido de un tratamiento físico químico con filtración (capacidad de tratamiento del orden de 2.000 m³/día y conductividad de 4.000 micro S/cm): 1.000 €/m³.d-1
- Plantas de tratamiento de osmosis inversa situada después de un BRM (capacidad de tratamiento del orden de 5.000 m³/día y conductividad de 15.000 micro S/cm): 200 €/m³.d-1

LA OPERACIÓN DE UNA PTT

El control de puntos críticos - El riesgo sanitario

La salinidad es fácil de controlar con sensores “on line”. La calidad bacteriológica no es tan obvia ya que de momento no existen sensores “on line”. Los puntos de control han de permitir evitar accidentes de calidad en todos los elementos de producción. Estos puntos son principalmente los que definen la calidad del agua a tratar, la salida de cada una de las operaciones unitarias que componen la PTT y el punto final de entrega del agua a la red de distribución o al almacenamiento. Se ha de prestar especial atención a la calidad del agua en el punto de aplicación ya que su característica ha podido cambiar, especialmente después de haber pasado por almacenamientos de larga duración. La materia orgánica aun contenida en el agua regenerada puede favorecer fenómenos de reminiscencia o reaparición de microorganismos patógenos.

Cabe reseñar la importancia del origen del agua depurada y especialmente de la existencia de determinadas actividades industriales que vierten a la red de alcantarillado.

Existe una analogía entre una PTT y una ETAP. Las tecnologías utilizadas en ambas tipología de plantas de tratamiento se parecen mas entre ellas que no a las tecnologías convencionales de depuración de aguas residuales urbanas. Además los riesgos sanitarios asociados son la principal preocupación en ambas actividades. El funcionamiento continuo de los procesos es generalmente el modo de operación utilizado en ambas tipología de plantas.

Por motivo de facilidad de explotación es recomendable dosificar cloro en la entrada de la mayoría de las operaciones unitarias de una PTT a la excepción de a la entrada de tecnologías de membranas por el daño que este reactivo puede ocasionar en caso de no dosificarse de forma no controlada. Este último reactivo permite evitar el desarrollo incontrolado de algas y de biofilms en las superficies en contacto con el agua y las correspondientes operaciones de mantenimiento y limpiezas que generan.

Los costes y riesgos económicos asociados

Los costes de gestión de PTT se desglosan entre costes fijos y variables. Estos últimos son proporcionales al agua tratada en estas instalaciones.

Costes fijos:

Estos costes son en regla general los siguientes:

- Costes de personal de operación y mantenimiento
- Costes de mantenimiento electromecánico
- Costes varios de seguimiento y control, seguridad y salud y administrativos en general

En general, el impacto de estos costes depende de la posibilidad de compartirlos con los de una EDAR colindante. Esta regla recobra su máxima importancia en el capítulo de los costes de personal.

Los costes anuales de mantenimiento electromecánico ascienden a una cantidad del orden del 1% al 2% del montante de la inversión en equipos de la instalación, sin contar la reposición de equipos para la cual se ha de prever un fondo de amortización técnica del orden del 10% del montante de la inversión en equipos de la instalación anualmente. Estos costes de mantenimiento tampoco contemplan la reposición de membranas en caso de instalaciones que utilizan esta tecnología ya que este tema tendrá que ser tratado en un capítulo a parte.

Los costes varios se han de evaluar caso por caso.

Costes variables:

Estos costes son en regla general los siguientes:

- Costes relativos al consumo de energía eléctrica
- Costes relativos al consumo de reactivos químicos
- Costes relativos a la reposición de membranas
- Costes de tratamiento y evacuación de subproductos generados en caso de no ser evacuados a través de la EDAR colindante

Los costes relativos al consumo de energía eléctrica se pueden estimar de la manera siguiente:

Los costes relativos al consumo de energía eléctrica son mínimos si se considera un tratamiento de desinfección convencional con cloro y/o UV, de físico químico con decantación y/o filtración lenta. En todos estos casos estos consumos de energía eléctrica son generalmente inferiores a los consumos del bombeo de agua regenerada y/o inapreciables.

Sin embargo no es el caso si existen tecnologías de membranas y especialmente OI ya que las instalaciones de baja presión, usualmente utilizadas, no constan de recuperadores de energía a la diferencia de las plantas de desalación de agua de mar.

Estos consumos energéticos son a título orientativo los siguientes:

- Micro Filtración o Ultra Filtración de agua de salida de tratamiento secundario: 0,35-0,50 kWh/m³ (20-30 €/Dam³)
- Micro Filtración de licor mixto de tratamiento secundario con membrana sumergida (BRM): 1,0 kWh/m³ (60 €/Dam³)
- Ultra Filtración de licor mixto de tratamiento secundario con membrana tubular (BRM): 4,0 kWh/m³ (240 €/Dam³)
- Osmosis Inversa de agua microfiltrada o ultrafiltrada: 1,0 kWh/m³ (para un agua origen de 4.000 micro Siemens/cm) (60 €/Dam³)
- Electro Diálisis Reversible agua de salida de tratamiento secundario filtrada: 1,0 kWh/m³ (para un agua origen de 4.000 micro Siemens/cm) (60 €/Dam³)
- Osmosis Inversa de agua microfiltrada o ultrafiltrada: 1,2 kWh/m³ (para un agua origen de 15.000 micro Siemens/cm) (72 €/Dam³)
- Radiación UV para dosis de 70-80 mJ/cm² en un agua de 60% de transmitancia: 0,1 kWh/m³ (6 €/Dam³)

Los costes relativos al consumo de reactivos químicos y otros materiales fungible se pueden estimar de la manera siguiente:

- Para la floculación y coagulación de efluentes procedentes de plantas de aireación prolongada los consumos de reactivos químicos son los siguientes:
 - Foculante: Polielectrolito aniónico a una dosis generalmente inferior a 1 ppm (Inferior a 3 €/Dam³)
 - Coagulante: PAC 18 a una dosis del orden de 20 ppm (4 €/Dam³). Esta dosis puede ser mucho más elevada en caso de salida de mala calidad del tratamiento secundario
- Para la desinfección con cloro, las dosis necesaria de cloro gas o de hipoclorito son muy función de la calidad del agua a desinfectar, y especialmente de su contenido en nitrógeno amoniacal y en materia en suspensión en el agua a tratar. Esta dosis oscila entre 2 y 8 ppm (1,5-6,5 €/Dam³).

Para las limpiezas de membranas de Micro Filtración o de Ultra Filtración que tratan aguas procedentes de un tratamiento secundario convencional, los productos mas utilizados son la sosa, el ácido y los detergentes en combinación con los reactivos anteriores. Las dosis utilizadas según nuestra experiencia son las siguientes:

- Álcali: NaOH: 5 ppm (1,5 €/Dam³)
- Ácido: H₂SO₄: 2 ppm (0,5 €/Dam³)
- Detergente: inferior a la ppm (4 €/Dam³)

Los 2 primeros reactivos tienen tanto un coste como una dosificación bajo. El detergente se suele utilizar en dosis muy bajas pero su coste es generalmente elevado. Su utilización es generalmente obligatoria y relacionada con las garantías que existen sobre las membranas.

Para la limpieza de las membranas de Micro Filtración o de Ultra Filtración de BRM, los reactivos utilizados son similares a los descritos anteriormente. No tenemos de momento

experiencias a escala real con BRM con membranas sumergidas y solo contaremos los costes relativos a BRM con membranas externas tubulares. En este caso los consumos de reactivos son los siguientes:

- Ácido cítrico: 5 ppm (4,0 €/Dam³)
- Detergente álcali: 5ppm (30 €/Dam³)

Estas limpiezas, su frecuencia, la calidad de los productos utilizados incluyendo la manera de realizarlas condiciona enormemente los flujos de permeado de las membranas en tal punto que según nuestra experiencia, el saber hacer en esta materia es el mas importante que el operador ha de poner en practica para garantizar el buen funcionamiento de la instalación. Esta manera de limpiar condiciona los consumos energéticos y la frecuencia de reposición de membranas por lo que se ha de prestar especial atención a este capitulo y centro de costes ya que influye sobre todos los otros gastos.

Los reactivos utilizados en las plantas de Osmosis Inversa son generalmente de 4 tipos: ácido, antiescalante, desinfectante -acompañado o no de reductor cuando se trata de un desinfectante que pueda oxidar las membranas- y finalmente productos de limpieza ácida o alcalina. Las dosis de estos reactivos varían en función de la tipología de agua a tratar y de las membranas utilizadas.

- Acido para evitar la precipitación de fosfatos y otras sales afines a una precipitación en medio álcali: Ejemplo Calafell: 100 ppm (17 €/Dam³)
- Antiescalante para evitar la precipitación de sulfatos y otras sales que no se han podido evitar dosificando ácido: Ejemplo Calafell, Lorca: 3,5 ppm (24 €/Dam³)
- Biocida: Existen varias posibilidades de administrar un biocida con el fin de evitar el *biofouling* de las membranas de Osmosis Inversa. En las primeras instalaciones que hemos operado en las islas Canarias, se añadía al agua a osmotizar hipoclorito para desinfectar y después bisulfito de sodio para eliminar el cloro activo y asimismo la posibilidad de oxidar y dañar las membranas. También, mas adelante se probó para evitar el riesgo de oxidación de membranas por falta de reductor de dosificar hipoclorito para llegar solo a la formación de cloraminas con suficiente poder desinfectante para evitar el biofooling y con menos poder oxidativo que el cloro activo. Ultimamente la tendencia consiste en dosificar biocidas adaptados a las membranas bien en dosis continua bien en dosis de choque. A titulo orientativo, las dosis de biocidas que en la actualidad dosificamos en nuestras instalaciones oscilan entre 5 y 20 ppm, administrando siempre este reactivo en dosis choque de manera discontinua (20-200 €/Dam³).
- Productos de limpieza. La frecuencia y la tipología de limpiezas a realizar en una planta de Osmosis inversa dependen de muchos factores. A titulo muy orientativo, en coste de las mismas en instalaciones relativamente nuevas ascienden a unos 10 €/Dam³.
- Los filtros de protección de la OI.

En ningún caso hemos considerado los costes de reactivos químicos para la conservación de membranas cuando se para temporalmente un a instalación. En general, este coste esporádico es desestimable.

Estimación de los costes relativos a la reposición de membranas

En general las membranas que se utilizan en el campo de la depuración o tratamiento terciario de aguas residuales están garantizadas durante un periodo del orden de 3 años por el propio fabricante. En caso de considerar este periodo como periodo de reposición de estas membranas, el tratamiento de esta agua saldría por un coste prohibitivo. Por tanto el arte del

operador de una planta que utilice una de estas tecnologías consiste en intentar alargar la vida útil de estas membranas con el fin de minimizar el coste relativo a su reposición manteniendo a la vez los objetivos de calidad del agua tratada en la instalación así como los flujos de permeado y consumos de energía y reactivos adecuados.

El principal problema en el momento de establecer un tiempo de reposición de estas membranas es la falta de datos históricos que tiene en cuenta y que se aproximen lo más posible a los parámetros principales de la instalación de referencia (calidad del agua a tratar, diseño de la instalación, tipo de membrana, etc).

A efecto meramente indicativo, los costes de reposición de membranas en plantas de tratamiento terciario operadas por AGBAR son del orden de:

- Micro Filtración en tratamiento terciario: 25 €/Dam³
- Ultra Filtración en BRM membrana externa tipo tubular: 70-140 €/Dam³
- Osmosis Inversa: 50-100 €/Dam³

Los costes de tratamiento y evacuación de subproductos generados en caso de no ser evacuados a través de la EDAR colindante se tendrán que evaluar caso por caso.

LA DISTRIBUCIÓN DE AGUA REGENERADA

Las medidas de seguridad a adoptar

En la distribución de agua regenerada es preciso evitar cualquier interconexión con la red de distribución de agua potable con el fin de evitar accidentes debidos al consumo de agua de calidad incorrecta.

Para alcanzar este objetivo, es preciso:

- Formar el personal que manipule este tipo de redes de manera adecuada
- Utilizar la misma compañía operadora de la red de distribución del agua potable local para las tareas de construcción y operación de la red de distribución y conexiones del agua regenerada
- Utilizar la máxima cantidad de recursos técnicos para evitar este riesgo de interconexión como por ejemplo utilizar un código de colores en la red de distribución de agua regenerada (color lila por ejemplo) y una presión inferior en esta red a la que se suele usar en la red de distribución de agua potable, etc.

Las garantías de continuidad del suministro

Para garantizar el suministro de agua regenerada es necesario construir un sistema de regulación de este recurso alternativo o bien utilizar sistemas de regulación ya existentes que proporcionan aguas de mejor calidad que las regeneradas e introducirlas en al red de distribución de aguas regeneradas. Para ello es necesario contar con el apoyo de compañías locales de gestión del agua con el fin de resolver todo tipo de incidencias que podrían crear situaciones de crisis por falta de recurso. Hemos de recordar que no siempre una planta depuradora o una planta de tratamiento terciario puede producir un agua de calidad requerida por ser simplemente instalaciones industriales que en un momento dado pueden fallar.

CONCLUSIONES

A la vista de la experiencia que tienen las empresas que forman parte del Grupo AGBAR en diseño, construcción y operación de plantas de tratamiento terciarios, se puede concluir que hoy por hoy existen en el mercado las tecnologías que permiten alcanzar los objetivos de calidad requeridos por el usuario final del agua regenerada. Estas tecnologías no permiten alcanzar con tanta precisión todas las calidades de aguas que figuran en las tablas de las futuras regulaciones sobre el agua regenerada en función de los diversos usos.

La experiencia a nivel de la operación de plantas de tratamiento terciario demuestra que es más fácil operar una planta de tratamiento terciario cuando la planta de tratamiento secundario funciona bien y de manera fiable. En caso contrario, la eficacia del tratamiento secundario se ve muy afectada negativamente, caso que se da por ejemplo en épocas donde se producen las puntas de tratamiento secundario y que a veces coinciden con las puntas de demanda de agua regenerada.

Las tecnologías de tratamiento terciario y en especial aquellas que utilizan tecnologías de membranas requieren que se continúen los esfuerzos de investigación que se están realizando en la actualidad, especialmente en los ejes experimentales que permiten incrementar la vida útil de las mismas mejorar la eficacia de las limpiezas, y en la reducción de los consumos energéticos de las instalaciones.

También otro de los ejes de interés para desarrollar proyectos de reutilización con total seguridad desde un punto de vista higienista y de asegurar la continuidad del suministro consiste en integrar la distribución del agua regenerada en las tareas del operador de la planta de tratamiento terciario o del distribuidor local de aguas. Este tipo de proyecto no se acaba con la construcción ni con la operación de la planta de tratamiento terciario sino con la distribución del agua regenerada hasta el cliente final: el reutilizador.

