

Estación de regeneración y reutilización del agua depurada en la EDAR de Fibracolor (Barcelona)

Desde principios de este año se encuentra en servicio la Estación de Regeneración y Reutilización (ERR) de las aguas depuradas de Fibracolor, un proyecto promovido por la Agencia Catalana del agua (ACA) y el Consejo General de Cámaras de Comercio de Barcelona, y cuya construcción fue adjudicada a la firma Agua, Residuos y Medio Ambiente S.A. (AREMA). El objetivo de este proyecto ha sido construir la instalación de tratamiento terciario del agua de salida de la EDAR de Fibracolor, una empresa textil ubicada en Tordera (Barcelona), para obtener un efluente final con calidad suficiente para su reutilización como agua de proceso de baja salinidad. Así, la ERR de Fibracolor permite recuperar un caudal de reutilización de agua para proceso de 600 m³/h a través de un tratamiento integral compuesto por fases de filtración, ultrafiltración y ósmosis inversa, lo que la convierte en una de las mayores instalaciones de recuperación de agua a nivel industrial de España.

Introducción

Durante el año 2006, la Agencia Catalana del agua (ACA) y el Consejo General de Cámaras de Comercio de Barcelona realizaron un convenio para llevar a cabo el estudio de la reutilización de las aguas depuradas de la empresa textil Fibracolor S.A. con la finalidad de poder abastecer su consumo interno con agua regenerada y así ayudar a conservar los recursos hídricos y reduciendo de ese modo el caudal captado del acuífero.

Previamente a la realización del proyecto constructivo, se llevó a cabo la instalación de una planta piloto de tra-

tamiento terciario con la finalidad de poder evaluar la solución técnica que mejor garantizara la calidad del agua obtenida para su utilización posterior.

El proyecto se ha llevado a cabo como una solución a la escasez de agua que se vive actualmente en Cataluña. Esta solución cumplirá el principio básico que rige la política y la gestión del agua, como es la sostenibilidad en sus cuatro aspectos: el ambiental, el de garantía, el económico y el social.

La instalación construida, cuyas obras comenzaron en junio de 2007, tiene una capacidad de producción máxima de 9.600 m³/día (400 m³/h), siendo necesaria-



Figura 1. Localización de las instalaciones del tratamiento terciario

Parámetros de calidad a la entrada y a la salida del tratamiento

Concepto	Agua de alimentación	Agua de salida (promedio)
Conductividad (µS/cm)	3.700	76,52
Sólidos disueltos totales (TDS)	4.100	
Temperatura (°C)	20 - 29	
pH	8 - 8,6	7
Turbidez	7,1	<0,01
Materias en suspensión (mg/l)	10 - 25	<1
DQO (mg/l)	90 - 120	11
Calcio (mg/l)	75	0,74
Magnesio (mg/l)	15	<0,5
Sodio (mg/l)	900	7,7
Potasio (mg/l)	45	<0,5
Estroncio (mg/l)	1	<0,5
Hierro (mg/l)	1	0,1
Manganeso (mg/l)	0,5	0,32
Sulfatos (mg/l)	950	0,95
Cloruros (mg/l)	500	8,81
Bicarbonatos (mg/l)	1.350	37,6
Silice (mg/l)	22	0,3

rio para ello un caudal de abastecimiento de la misma de 13.440 m³/día (560 m³/h). La diferencia entre el abastecimiento y la producción son los rechazos de los distintos procesos de tratamiento.

Esta planta de tratamiento es una de las mayores instalaciones de recuperación de agua a nivel industrial en España. La redacción del proyecto constructivo y la ejecución de las obras estuvieron a cargo de la empresa Agua, Residuos y Medio Ambiente S.A. (AREMA), habiéndose iniciado la puesta en marcha de las instalaciones en febrero de 2008. La ingeniería Dopec fue responsable de la dirección de obra. La inversión total ha ascendido a unos 4 millones de euros.

Localización

Esta instalación se encuentra dentro de los antiguos terrenos de Fibracolor, al lado de la planta depuradora de la propia fábrica, que se encuentra ubicada en el término municipal de Tordera, a unos 70 km al noreste de Barcelona, a orillas del río Tordera, tal y como se observa en la figura 1.

Datos de partida

Las aguas de alimentación de la instalación de recuperación de agua proceden directamente de la salida de la depuradora de Fibracolor, que básicamente consta de un tratamiento biológico de fangos activos y posteriormente una decantación secundaria. A la salida de estos decantadores, las aguas se almacenan en un depósito de 300 m³ y desde ahí se bombean a la nave industrial donde se realizan los tratamientos.

La calidad de salida del agua procedente de los decantadores secundarios, como muestra la tabla adjunta, presenta una salinidad considerable con gran contenido de sólidos disueltos y un pH ligeramente alcalino además de un color intenso y constante debido al empleo de los tintes en el proceso industrial.

Teniendo en cuenta estos datos y las exigencias en la calidad final requerida, se consideró que el tratamiento más eficiente para conseguir este propósito era instalar un tratamiento compuesto por varias etapas consecutivas.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El tratamiento implementado en la ERR de Fibracolor ha sido proyectado para producir el menor número de subproductos y para conseguir una mayor efectividad en la eliminación de sustancias coloidales, responsables de la coloración del agua.

Las distintas zonas de la instalación se muestran de forma básica en el plano



Figura 2. Plano de la ERR de Fibracolor

representado en la figura 2. La planta consta de los siguientes procesos diferenciados:

- Depósito de acumulación.
- Bombeo de agua bruta y floculación en línea.
- Filtración mediante filtros de arena.
- Ultrafiltración (UF).
- Ósmosis inversa (OI).
- Depósito de agua producto final.

La instalación se ha diseñado para poder trabajar de forma continua y automática, y también de forma modular, para permitir el funcionamiento individual de los módulos que integran las etapas de filtración, de ultrafiltración y de ósmosis inversa.

La compañía Cepex, a través de la ingeniería Astramatic, ha suministrado válvulas y accesorios de PVC para la ERR de Fibracolor, especialmente válvulas D315 de la serie industrial. El material utilizado para válvulas y tuberías es el PVC, ya que presenta altas cualidades mecánicas, como la resistencia a la abrasión, el frío y la corrosión.

La ERR de Fibracolor tiene instaladas en total 242 válvulas de bola, 24 de clapeta, 288 de guillotina y 311 de mariposa, de las cuáles 32 son de diámetro 315 mm de la nueva serie industrial.

Bombeo de agua bruta

Tal y como se comentaba anteriormente, el agua de salida de la depuradora se almacena en un depósito. En este depósito se inyecta cloruro férrico como coagulante, a fin de formar un flóculo que posteriormente se pueda separar con la filtración.

Para la alimentación de los filtros de arena se han instalado tres bombas de tipo centrífuga (dos en servicio y una

de alternancia) que aportan agua a la batería de filtros de arena, con un caudal de 560 m³/h (figura 4).

Con el objetivo de poder compensar las pérdidas de agua en los diferentes procesos se ha previsto que al depósito de alimentación llegue agua procedente de la depuradora municipal de Tordera, por un caudal máximo de 2.000 m³/día, que o bien se puede mezclar en el depósito con las de la industria o bien ir directamente a un grupo de filtros.

En condiciones normales, cada bomba impulsará un caudal de 280 m³/h a una presión máxima de 3 bares. Asimismo, las bombas se han programado para arrancar o parar en función de los niveles del depósito de almacenamiento, con la finalidad de permitir la adaptación del caudal de bombeo al caudal de alimentación de los filtros de arena. El control de nivel en el depósito se realiza en continuo mediante un transmisor de nivel ultrasónico.

La práctica totalidad de las bombas horizontales han sido suministradas por Grundfos.



Figura 3. Interior de la nave de proceso



Figura 4. Bombeo de agua bruta

Pretratamiento: Filtros de arena

La instalación de una batería de filtros de arena como sistema de pretratamiento es indispensable para garantizar la calidad adecuada del agua de entrada en el tratamiento posterior. En la ERR de Fibracolor, el lecho filtrante de los filtros está compuesto por 3 capas de arena de sílex con distinta granulometría entre 0,4 y 5 mm. Las unidades instaladas permiten procesar un caudal total de 560 m³/h.

La filtración está compuesta por diez unidades de filtros verticales del fabricante STF Filtros, en funcionamiento automático mediante válvulas y actuadores neumáticos (figura 5). La función de estos equipos es eliminar la cantidad máxima de sólidos suspendidos del agua de entrada y retener los flocos formados anteriormente.

Por otro lado, los filtros disponen de lavados externos para evitar la colmatación de los mismos. El lavado, que garantiza el esponjamiento del medio filtrante, se realiza con aire y con agua filtrada previamente que es bombeada mediante 3 (2+1R) bombas centrífugas desde el correspondiente depósito. Durante esta operación se realiza así mismo un acondicionamiento químico con hipoclorito sódico con el objetivo de prevenir el crecimiento bacteriológico en el lecho filtrante.

Ultrafiltración

Bombeo de aportación

La alimentación de los módulos de UF se efectúa por medio de un bombeo de agua filtrada desde un depósito in-



Figura 5. Filtros de arena



Figura 6. Bastidores de ultrafiltración

termedio de 400 m³ de volumen situado en la misma nave, a través de dos grupos de bombas en servicio más una en reserva.

Como paso previo para la protección de la ultrafiltración, se dispone de una filtración de seguridad por cartuchos. Su función principal es actuar como barrera de protección para garantizar que el agua llegue al sistema de UF con la calidad requerida. Estos cartuchos están instalados de forma vertical y el interior de cada carcasa contiene un total de 4 filtros de 200 micras absolutas que proporcionan una eficiencia de rechazo del 99,98%.

Módulos de ultrafiltración

La ultrafiltración (UF) es un proceso físico de separación mediante membra-

nas semipermeables, indispensable como pretratamiento de la ósmosis inversa. Ésta es la parte más importante de la instalación.

El tratamiento por UF en la planta se consigue mediante 4 bastidores con una capacidad unitaria de 105 m³/h (figura 6). Cada uno de ellos contiene 34 membranas, con posibilidad de ampliación hasta un máximo de 42 membranas. El funcionamiento de los bastidores se realiza en cascada o de forma independiente en función del caudal de aportación. Es decir, tres bastidores producen agua, mientras uno puede estar en modo de limpieza.

Cada bastidor dispone de un sistema de control de estado y un test de integridad con aire para detectar el mal estado de los capilares de las membranas. Además, el sistema de control asegura que la desinfección se lleve a cabo.

La configuración interna de las membranas es de tipo capilar, con una medida mínima de 0,8 mm. Las membranas están montadas dentro de un contenedor de plástico que forma un solo bloque. Su montaje es vertical, lo que favorece el funcionamiento inverso y la extracción de las mismas en el caso de reemplazo.

Este tipo de membranas tubulares se han seleccionado debido a que trabajan muy bien a concentraciones altas de contaminantes y de sólidos. Su limpieza puede ser tanto química como mecánica y el ensuciamiento es mínimo. Además, pueden trabajar con fluidos con amplios rangos de pH.

Se trata de membranas orgánicas de polisulfona con un corte de 150.000

Dalton, un material que permite el lavado químico a contracorriente. Éste es un requisito indispensable cuando el agua a tratar tiene variaciones muy altas de sólidos y unas características muy irregulares, como es el caso.

Respecto al modo de trabajo de las membranas de ultrafiltración, en este proyecto se ha previsto en *single pass* y con la posibilidad de trabajo en filtración tangencial (*Cross Flow*). El primer tipo, *single pass*, consiste en la filtración del agua entre un 85 y 95%. El resto del agua sale como un concentrado para evitar la acumulación de material en el interior de la membrana, es decir, se realiza una purga continua de sólidos. Para este modo de funcionamiento se utiliza una batería de válvulas por cada bastidor. Además, el *single pass* permite operar la planta con hasta 10 mg/l de concentración a un menor coste energético.

Y en cuanto a la configuración de filtración tangencial (*Cross Flow*), ésta permite aumentar la concentración de sólidos hasta 30 mg/l. Esta posibilidad de trabajo se seleccionó debido a las grandes variaciones de calidad en el agua de alimentación de la instalación, motivo por el que se escogieron membranas del fabricante Koch Membrane Systems, dado que permiten esas dos modalidades de trabajo.

Por el contrario, esta otra modalidad de funcionamiento exigió la instalación de una bomba marca ABS que fuese capaz de suministrar 1.000 m³/h a una presión de 0,7 bares para cada bastidor (figura 7). La función de esta bomba es crear una recirculación en la alimentación de las membranas, de modo que aumente la velocidad del agua en el in-



Figura 8. Detalle de la zona de reactivos

terior de la membrana para crear turbulencia en el agua de entrada.

El permeado se controla en base a la relación de presiones del sistema de recirculación y la salida. Además, el funcionamiento en *cross flow* disminuye el *fouling* en la membrana ya que el exceso de caudal suministrado produce un fenómeno de auto-limpieza arrastrando la suciedad depositada sobre la superficie de la membrana, permitiendo así un mayor paso de sólidos a la entrada de la misma. Sin embargo, tiene un mayor coste energético comparado con el modo *single pass*. Únicamente el *cross flow* se pone en funcionamiento cuando la concentración de alimentación del agua supera los 10 mg/l, siendo un proceso totalmente automático.

Finalmente, como resultado de la UF el agua de salida está completamente desprovista de sólidos suspendidos, pero aun mantiene color, debido a los tintes y sales disueltas, que son eliminadas posteriormente. Este agua producto se almacena en un depósito que sirve para

alimentar el proceso de ósmosis posterior y cuya capacidad es de 400 m³.

Lavado de la unidad de ultrafiltración

El sistema de ultrafiltración y sus correspondientes procesos de tratamiento tienen asociados determinadas operaciones que incluyen: pretratamiento, lavado a contracorriente, limpieza química, test de integridad y post tratamiento.

Las unidades de ultrafiltración disponen de un contralavado a contracorriente de tipo "flushing", BF (*Backflush*) con agua ultrafiltrada para asegurar el buen funcionamiento del sistema y la obtención del agua con la calidad deseada. El caudal estimado de contralavado es de 150 l/h/m² en un tiempo de 60 segundos con aportación de agua y 210 segundos de recirculación.

Lavado o acondicionamiento químico

El lavado químico en un sistema de ultrafiltración generalmente se realiza con tecnología de sistema CEB (*Chemical Enhanced Backflush*) y CIP (*Clean In Place*). Ambas tecnologías se llevan a cabo de forma automática y además disponen de un sistema de control que permite el lavado inducido manualmente por el operario fuera de la secuencia normal de funcionamiento, tanto para todas las etapas de lavado como de forma individual para cada etapa.

El lavado CEB consiste en una limpieza con solución biocida/oxidante a pH alcalino (hipoclorito sódico o similar). Posteriormente, el enjuague se efectúa con solución alcalina (sosa cáustica). El lavado ácido elimina incrustaciones de sales, utilizando un oxidante como el hipoclorito y compuestos orgánicos. La eliminación del biofilm que se pueda formar sobre las membranas se realiza con la sosa cáustica. La función del producto alcalino es eliminar sustancias de carácter lipofílicas (materia orgánica, aceites y grasas y similares) adheridas a



Figura 7. Bombas de recirculación del funcionamiento en *cross flow*, suministradas por ABS



Componentes de la ósmosis inversa

Las cajas de presión instaladas en el módulo de ósmosis inversa de la ERR de Fibracolor son de la marca CODELINE, modelo 80S45, y fueron suministradas por la compañía Vivaqua International, S.L.



Sus características son las siguientes:

- Cajas de entrada lateral de la gama OCTA
- Puertos de alimentación/rechazo roscados sobre superficies interiores planas para asegurar la estanqueidad
- Presión de diseño: 450 PSI (31 bar)
- Tapa compacta de Noryl
- Cierre rápido mediante anillo en espiral
- Acabado liso en poliuretano blanco
- 68 cajas con capacidad para 4 elementos de ósmosis inversa de 8" de diámetro y 60" de longitud (tamaño magnum) equivalente a 6 elementos de 40" de longitud

Vivaqua International, S.L. suministró asimismo los elementos de ósmosis inversa FLUID SYSTEMS de Koch modelo TFC8832HR-575 Magnum cuyas características principales son:

- Enrollamiento en espiral
- Membrana de alto rechazo en poliamida
- Superficie de membrana: 53,4 m²
- Producción nominal: 56,8 m³/día
- Rechazo de sales: 99,5%
- Presión máxima de trabajo: 41,4 bar
- Temperatura máxima de trabajo: 45 °C
- Contenido máximo de cloro libre: 0,1 mg/l
- Dimensiones: 1524 x 203,2 mm



las membranas. Para cada caso, también se pueden utilizar similares de eficiencia demostrada y acción similar a concentraciones que no afecten a la membrana.

El lavado CIP es un tratamiento con recirculación, que permite una limpieza más fuerte de la membrana. Este método es aplicable en casos de taponamiento de las membranas.

La planta dispone del lavado CEB que es el habitual, a contracorriente con solución biocida, alcalina y ácida por cada ocho horas de ciclo de ultrafiltración. La duración de cada etapa del contra lavado mejorado químicamente es de 20 minutos. El acondicionamiento químico que se realiza actualmente consiste en la dosificación de los siguientes reactivos: ácido clorhídrico, hipoclorito de sodio y sosa cáustica.

Cada reactivo cuenta con un equipo dosificador formado por tanques de almacenamiento suministrados por Tadipol, cuya capacidad permite una autonomía de más de siete días. El contenido de reactivo presente en cada depósito se mide a través de transmisores de nivel de tipo ultrasónico con interruptores de seguridad. Asimismo, por seguridad se ha instalado en cada depósito un medidor de nivel visual de tipo flotador para el control del nivel durante la carga del mismo. La dosificación para cada reactivo se lleva a cabo mediante bombas dosificadoras de tipo doble membrana, suministradas por Milton Roy Ibérica.

Por otra parte, la limpieza de las membranas se efectúa con el lavado CIP utilizando una solución EDTA que circula a través del circuito de recirculación.

Durante este proceso, la entrada de alimentación de la unidad de filtración se mantiene cerrada.

Ósmosis inversa

La ósmosis es un proceso físico de separación a alta presión que utiliza membranas semipermeables para disminuir el contenido de sales disueltas en el agua.

En el tratamiento terciario implantado con tecnología de OI se pretende reducir más del 95% de sales y sustancias coloidales responsables de ocasionar color al agua. El proceso se compone básicamente de las siguientes etapas:

- Pretratamiento de la OI
- Bombeo de alta presión
- Tratamiento por membranas.

Pretratamiento

En esta etapa se efectúa un acondicionamiento químico con ácidos, anti-incrustante y dispersantes para inhibir la precipitación de sales en la superficie de la membrana.

El ácido clorhídrico se utiliza para ajustar el pH, ya que el agua ultrafiltrada tiene un pH ligeramente básico. La dosificación de los reactivos se asegura mediante bombas dosificadoras y un detector de flujo que permite la parada del bastidor en el caso de anomalía en los dosificadores.

Por otra parte, para eliminar el cloro residual que pueda contener el agua de entrada a la OI, se ha previsto su eliminación añadiendo bisulfito de sodio como un potente agente reductor. Este procedimiento es necesario ya que el cloro es un fuerte oxidante capaz de



Figura 9. Filtros de cartuchos para proteger la OI

deteriorar las membranas al entrar en contacto con ellas. Para asegurar la correcta dosificación del bisulfito se ha instalado un controlador de ORP y un variador de frecuencia para cada bomba dosificadora.

Tras el acondicionamiento químico para proteger a las membranas y como segundo paso de esta fase de pretratamiento, el agua ultrafiltrada pasa por una filtración de seguridad por cartuchos capaz de eliminar partículas de tamaño igual o inferior a 5 micras (figura 9). En total se han instalado 8 grupos de filtros, dos por cada bastidor.

Los equipos disponen de manómetros para controlar la pérdida de carga a la entrada y a la salida de los colectores, así como de dos transmisores de presión en ambos lugares.

Bombeo de alta presión

El agua acondicionada químicamente y de alimentación a la OI es impulsada a través de 6 (4+2R) bombas de alta presión, de tipo centrífuga multietapa, que garantizan un caudal de entrada de 105 m³/h a una presión de 18 bares.

Tratamiento por membranas de OI

El sistema de membranas está montado en cuatro bastidores de construcción en acero inoxidable AISI 316L (figura 10 y 11). Este tipo de instalación proporciona un mejor balance de flujo sobre membrana y de carga hidráulica por tubo de presión entre la primera y la segunda etapa. Cada línea de tratamiento tiene una capacidad de 78,6 m³/h.

Cada bastidor o tren de ósmosis se compone de un paso de doble etapa y con una bomba booster de incremento de presión en 4 bares entre la primera y segunda etapa. Esta bomba garantiza una mayor presión de trabajo en la segunda etapa a fin de optimizar el consumo energético.



Figura 10. Bastidores de membrana de ósmosis inversa

Cada etapa dispone de 11 (1ª etapa) y 6 tubos (2ª etapa) respectivamente, de la marca Codeline modelo 80545 y suministrados por Vivaqua Internacional, S.L. A su vez cada tubo contiene 6 membranas de 8" de diámetro por 60" de longitud, con una presión nominal máxima de 27,5 bares (400 psi).

La membrana seleccionada es de tipo *Low Fouling*, es decir, de carga superficial neutra. Su material es de poliamida de alta resistencia química que permite trabajar con altos rangos de pH (3-11), con aguas residuales cargadas de compuestos orgánicos y también admiten lavados químicos.

Estas membranas se caracterizan también por su alto rechazo en sales, consiguiendo un rendimiento del 99,5%, y aseguran la calidad del agua requerida para el proceso. Al igual que en el caso anterior, estas membranas son del fabricante Koch Membrane Systems. Entre los motivos de su elección destaca que el coste de operación es inferior al disminuir la presión de alimentación y se prolonga la vida útil de la membrana.

El rendimiento obtenido en el proceso, en base a la conductividad analizada a la salida del permeado, es del 98,28%, siendo en promedio < 70 µS/cm.

Finalmente, el concentrado generado es descargado a un emisario que recoge las aguas de salida de la depuradora de Blanes.

El agua producto, por su parte, cumple los límites de calidad establecidos por la industria, tal como muestra la tabla adjunta y además cumple con las exigencias establecidas por el RD 1620/2007. Su reutilización la llevan a cabo tanto la propia Fibracolor como otras empresas de la zona.



Figura 11. Bastidores de OI y bombas de alta presión

Instalación eléctrica

La empresa Electricidad Insoltec ha colaborado en la realización integral de la instalación eléctrica de toda la ERR de Fibracolor, desde la realización del cuadro principal de distribución de 1.250 A, el cuadro de control, los cuadros de potencia con arrancadores y variadores de frecuencia con potencias superiores a 100 kW, hasta la integración de toda la instalación mediante la red de comunicación Profibus. En los sistemas de suministro de agua de la depuradora, Insoltec ha realizado las instalaciones eléctricas y la comunicación vía fibra óptica de diferentes estaciones de bombeo. Complementariamente a la parte eléctrica, Insoltec también ha realizado el sistema centralizado de toda la instalación de aire comprimido controlada mediante Profibus y encargada de gestionar todos los actuadores neumáticos de la planta.

Conclusiones

El tratamiento terciario de recuperación de aguas instalado en Fibracolor concluye que:

- Por las propias características de este proyecto se ha buscado tener la máxima versatilidad en el diseño, de modo que se permita trabajar en la instalación en condiciones muy adversas y garantizando siempre la capacidad de producción y la calidad de la misma.
- El tratamiento por floculación, filtración, ultrafiltración y ósmosis inversa proporcionan un rendimiento del proceso del 98,28%, cumpliendo sobradamente las expectativas de calidad solicitadas.
- La calidad del agua de salida cumple lo implantado por el RD 1620/2007.
- Se consigue la finalidad esperada de autoabastecimiento de la industria, permitiendo que los acuíferos se puedan recuperar.



