

Experiencias de explotación en Cataluña en estaciones depuradoras con procesos de tratamiento biológico híbridos: los casos de la EDAR Gavà-Viladecans y la EDAR Terrassa

LUCAS MORAGAS BOUYAT (*), EMILIA B. GARCÍA FERNÁNDEZ (**), JORDI ROBUSTÉ CARTRÓ (***), PEDRO AGUILÓ MARTOS (****), JOSEP GASSÓ BARQUÉ (*****), SILVIA FERNÁNDEZ JUNQUERA (*****), ELVIRA CESAR GALOBARDES (******) y IÑAQUI GARCÍA DEL CAMPO (******)

RESUMEN Los nuevos requerimientos aplicables a la calidad de las aguas tratadas han supuesto la revisión de los procesos de tratamiento adoptados en las estaciones depuradoras urbanas. A menudo, las instalaciones de depuración existentes ya habían sufrido modificaciones respecto a la configuración inicialmente adoptada, evolucionando finalmente hasta los tratamientos biológicos con eliminación de nutrientes. En este artículo se describen los casos prácticos de las estaciones depuradoras de Gavà-Viladecans y Terrassa (Barcelona), en las que se ha remodelado el tratamiento biológico para incorporar la eliminación de nutrientes por vía biológica. Dadas las singularidades de cada instalación, con una limitada disponibilidad de terreno para acometer las ampliaciones de los procesos de tratamiento, se optó por una solución altamente compacta: los sistemas híbridos de tratamiento que combinan la actuación de la biomasa fijada en algún tipo de soporte (móvil o fijo), y la biomasa en suspensión. Los sistemas híbridos permiten aumentar la cantidad de biomasa activa sin aumentar el volumen de reacción. La descripción de los casos prácticos contempla los aspectos de diseño de los procesos de tratamiento, la ejecución de las obras y la operación de las nuevas instalaciones haciendo especial énfasis en el mantenimiento. En el caso de la EDAR Gavà-Viladecans se optó por un sistema híbrido sobre soporte móvil HYBAS (Hybrid biological activated sludge) en el reactor biológico, mediante una configuración que combina zonas anóxicas y aerobias. En este caso, las zonas aerobias incluyen un relleno plástico además de disponer de nuevos sistemas de aireación. En el caso de la EDAR Terrassa se optó por un sistema híbrido sobre soporte fijo IFAS (Integrated Fixed Film Activated Sludge). Los reactores biológicos existentes se transformaron a una configuración Bardenpho con el objetivo de aprovechar al máximo el escaso carbono disponible en las aguas a tratar.

TWO HYBRID WASTEWATER TREATMENT PLANTS CASE STUDIES IN CATALONIA: THE GAVÀ-VILADECANS WWTP AND THE TERRASSA WWTP

ABSTRACT *The recent regulatory requirements issued from European Directives applying to the treatment of urban wastewater, require reviewing treatment processes at wastewater treatment plants. Often, sanitation facilities have already undergone through process adjustments regarding the original configuration, to finally set up biological nutrient removal processes. This article describes the case studies of the Gavà-Viladecans and the Terrassa wastewater treatment plants (Barcelona), in which the biological processes have been redesigned to adopt a new biological nutrient removal configuration. Because of the singular aspects of every facility, with limited surface availability to carry out a conventional process upgrade, a highly compact solution was chosen: the hybrid treatment processes that combine attached biomass (based on fix or mobile supports) and suspended biomass. Hybrid systems allow increasing the final biomass concentration using the original volume of the biological reactor. The case study description examines the design of the treatment process, works execution and facilities operation taking specially in account maintenance. In the Gavà-Viladecans WWTP case, a hybrid system based on a mobile support, the Hybrid biological activated sludge (Hybas) biological reactor was chosen, adopting a combination of aerobic and anoxic reactors. In this case, the aerobic biological area incorporates a plastic support packing besides a new aeration system. In the Terrassa WWTP case, a hybrid system based on a fixed support biological Integrated fixed film activated sludge (Ifas) reactor was chosen. Existing biological reactors were transformed to a Bardenpho configuration on the basis of taking the most advantage of the limited carbon available in the incoming raw water.*

(*) Ingeniero Industrial. Jefe del Depto. de Gestión de Acometidas (Infraestructuras eléctricas). ACA. Agència Catalana de l'Aigua. C/ Provença, 204. 08036 Barcelona. E-mail: lmoragas@gencat.cat

(**) Ingeniero Químico. Jefe de Unidad del Depto. de Explotación de Sistemas de Saneamiento. ACA. Agència Catalana de l'Aigua. C/ Provença, 204. 08036 Barcelona. E-mail: ebgarcia@gencat.cat

(***) Doctor CC. Químicas. Jefe de Unidad del Depto. de Explotación de Sistemas de Saneamiento. ACA. Agència Catalana de l'Aigua. C/ Provença, 204. 08036 Barcelona. E-mail: jrobuste@gencat.cat

(****) Ingeniero Industrial. Director técnico. Empresa Metropolitana de Sanejament, EMSSA. E-mail: paguilo@emssa.com

(***** Lic. CC. Bioquímicas. Jefe de planta. Edar Gavà-Viladecans. Empresa Metropolitana de Sanejament, EMSSA. E-mail: jgasso@emssa.com

(***** Ingeniera Química. Dpto. de Proyectos. Empresa Metropolitana de Sanejament, EMSSA. E-mail: sfernandez@emssa.com

(***** Ingeniera Química. Gerente UTE Edar Terrassa. Depuración de Aguas del Mediterráneo S.A. E-mail: elvira.cesar@dam-aguas.es

(***** Ing. Téc. Química Industrial. Jefe de planta. Edar Terrassa. Depuración de Aguas del Mediterráneo S.A. E-mail: inaqui.garcia@dam-aguas.es

Palabras clave: Sistemas híbridos, IFAS, Hybas, Remodelación, Nutrientes.

Keywords: Hybrid systems, IFAS, Hybas, Upgrade, Nutrient.

1. INTRODUCCIÓN

Los nuevos requerimientos normativos derivados de las Directivas europeas aplicables a la calidad de las aguas residuales tratadas han supuesto la revisión de los procesos de tratamiento adoptados en las estaciones depuradoras urbanas. A menudo, las instalaciones de depuración existentes ya habían sufrido modificaciones respecto la configuración inicialmente adoptada, evolucionando desde los tratamientos físico-químicos iniciales, a los tratamientos biológicos para la eliminación de materia orgánica, hasta los tratamientos biológicos con eliminación de nutrientes.

En este artículo se describen los casos prácticos de las estaciones depuradoras de Gavà-Viladecans y Terrassa (Barcelona), en las que se ha remodelado el tratamiento biológico para poder asegurar la eliminación de nutrientes por vía biológica, optando por la adopción de procesos híbridos de tratamiento biológico.

2. LA EXPERIENCIA EN LA EDAR GAVÀ-VILADECANS

2.1. ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DE LA EDAR PREVIA A LA AMPLIACIÓN

La planta depuradora de Gavà-Viladecans está situada al lado del mar y en la actualidad sirve a una población de unos 203.000 habitantes asociada a los municipios de Gavà, Viladecans, Sant Climent de Llobregat, Sant Boi de Llobregat, Castelldefels y les Botigues de Sitges. La planta entró en servicio en el año 1986 con una capacidad de tratamiento de 36.000 m³/d. Debido al crecimiento demográfico de las aglomeraciones servidas por la EDAR, la planta se amplía en 1994 para poder tratar otros 36.000 m³/d adicionales. La ampliación asociada a la línea de agua se lleva a cabo de forma independiente a las instalaciones existentes. Una vez elevada el agua residual, el caudal se divide, siendo tratada una parte en las instalaciones iniciales (línea 1) y la otra en las instalaciones remodeladas (línea 2).

En ambas líneas, el tratamiento de la línea de agua posterior a la elevación constaba de:

- Desbaste: tamizado de 3 mm de paso. Tres unidades por línea.
- Desarenador-desengrasador: dos unidades por línea.
- Decantación primaria: dos decantadores circulares línea 1 y dos rectangulares en la línea 2.
- Reactores biológicos. Dos reactores en cada línea. Los reactores eran similares, siendo la línea 2 más flexible por la variación de los flujos de entrada de agua residual y de recirculación. La aireación se realizaba con turbinas de dos velocidades. Cada reactor disponía de 6 turbinas. En la línea 1 había instaladas dos turbinas de 65 y de 45 kW. En el caso de la línea 2, las turbinas eran de 55 kW. Al tratarse de un sistema de aireación mediante turbinas, la lámina de agua era de unos 4,05 m.
- Decantación secundaria: dos decantadores circulares en cada línea de 35 m de diámetro.
- Evacuación del agua tratada al mar mediante un emisario submarino, o impulsión a un sistema de correderas (canales) para su reutilización indirecta según se describe a continuación.

Este tratamiento permitía obtener una reducción de los sólidos en suspensión por debajo de los 35 mg/l y de la materia orgánica (DBO₅) por debajo de los 25 mg/l.

2.2. JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

La depuradora se encuentra dentro del sistema hidrológico del Delta de Llobregat. La zona se caracteriza por su poca pendiente, la presencia de elevados niveles freáticos y unos sistemas de lagunas y humedales muy próximos a la edar. Asimismo es una zona con una importante actividad agrícola. Los terrenos cercanos a la depuradora están surcados por un sistema de correderas (canales) conectado al estanque de la Mutra situado al lado de la EDAR. Este sistema de correderas y estanque permite regular el nivel del freático en la zona. El estanque de la Mutra está equipado con un sistema de bombeo para evacuar el exceso de agua al mar.

Parte del agua depurada era bombeada al sistema de correderas en épocas de baja pluviometría. Este caudal servía para ayudar a mantener el nivel freático y contribuir a mantener el equilibrio de agua dulce/ agua salada reduciendo los procesos de salinización de los terrenos más próximos a la costa. El resto del agua tratada es vertida al mar mediante un emisario submarino.

Esta zona es declarada “zona sensible” dentro del marco de recuperación medioambiental del tramo bajo del río Llobregat, siendo necesaria la eliminación de nutrientes. Esta ampliación del tratamiento queda recogida en la revisión del Programa de Saneamiento de Aguas Urbanas (PSARU) efectuada el año 2006. Se deben obtener unas concentraciones en el agua de salida inferiores a 10 mg/l de N total y 1 mg/l de P total.

Asimismo toda la zona alrededor de la depuradora ha quedado incorporada a la red Natura 2000 y también se enmarca en la zona ZEPA (zona de especial protección de las aves). Este punto es importante porque limita la capacidad de ampliación de los terrenos hacia la zona este de la depuradora, alejados de los reactores biológicos, que estaban declarados como Servicios técnicos.

Las ampliaciones de tratamiento para la eliminación de nutrientes en los sistemas convencionales exigen un aumento del volumen de los reactores biológico y de los decantadores. Sin embargo los espacios disponibles dentro de la depuradora eran escasos, mal situados hidráulicamente y difíciles de aprovechar debido a las interferencias con las instalaciones existentes. Por lo tanto se decidió emplear técnicas compactas que permitiesen aumentar la concentración de la biomasa en los reactores y así poder mantener el volumen existente.

Con el fin de seleccionar la tecnología a emplear se realizaron estudios previos para evaluar la demanda de agua regenerada en la zona, tanto en el sistema de correderas como en los municipios e instalaciones industriales de la zona servida por la EDAR. Este caudal se estimó en cerca de los 30.000 m³/d. Por otro lado, las campañas de caracterización de las aguas residuales llevaron a establecer el caudal de diseño de la ampliación de la EDAR en 64.000 m³/d y una población equivalente de 373.300.

Aprovechando la implantación existente en la depuradora con dos líneas de tratamiento de agua independientes, se decidió ampliar el tratamiento con dos tecnologías diferenciadas, cada una con capacidad para tratar la mitad del caudal de diseño:

Línea 1: se remodelan los reactores biológicos y se construyen nuevas instalaciones para albergar el sistema de tratamiento por reactores de membranas (MBR) y el nuevo sistema de aireación del biológico (difusores). A tal efecto, se utiliza el espacio ocupado por uno de los decantadores secundarios. El agua tratada es desinfectada y almacenada para su posterior bombeo a la red de distribución en función de la demanda.

Línea 2: (objeto de este artículo). En base a los estudios de demanda de agua regenerada, el agua tratada en esta línea sería evacuada al emisario al menos en los primeros años, pero tenía que ser capaz de eliminar nutrientes tanto en el futuro como en el presente para poder aportar agua al sistema de correderas en caso de que el sistema de membranas tuviera problemas para suministrar la demanda de agua regenerada. Por lo tanto se buscó un tratamiento que cumpliera los siguientes requisitos:

- Un tratamiento con capacidad para la eliminación de nutrientes pero que también funcionase bien con solamente eliminación de la materia orgánica. El tratamiento debería de permitir pasar de la eliminación de materia orgánica a eliminación de nitrógeno sin afectar a la decantación y en un periodo de tiempo corto.
- Adaptable a los cambios de caudal y cargas contaminantes. En función de la demanda de agua regenerada, es conveniente poder cambiar la distribución de caudal entre las dos líneas de tratamiento.
- Poder mantener las instalaciones existentes de clarificadores, recirculación externa y purga de fango. Este punto era importante por la dificultad que entrañaba construir un nuevo decantador (falta de espacio cercano) o intentar remodelar y adaptar el clarificador existente de la línea 1. El elevado número de instalaciones existente entre las dos estructuras hacia muy complicado y costoso la interconexión de las líneas de agua y fango y la adaptación del clarificador a la piezométrica de la línea 2.
- Poder incorporar la tecnología manteniendo la línea piezométrica existente. Aunque el caudal se reduce, había poco margen para cambiar la cota del vertedero de los reactores biológicos manteniendo la de los clarificadores.
- Cuando la planta estuviese funcionando para eliminar materia orgánica, el coste de la explotación no fuese su-

perior al existente y permitiese mejorar la calidad del agua tratada.

- Experiencia en instalaciones existentes.

Se seleccionó el sistema de reactores con parte de la biomasa fijada a un lecho y parte en suspensión, el proceso Hybas (Hybrid biological activated sludge). Después de estudiar las alternativas tecnológicas que difieren respecto al tipo de lecho, fijo y móvil, se seleccionó el móvil (carrier) por adaptarse mejor a las características de los reactores existentes: altura lámina de agua y volumen de la zona óxica. Al encontrarse parte de la biomasa adherida al relleno móvil, la concentración del licor mixto se puede mantener a unas concentraciones totales de biomasa que no afectan al funcionamiento de los clarificadores. Se conservaron los dos reactores biológicos con un volumen unitario de 6.000 m³. Cada reactor consta de una zona anóxica, tres zonas óxicas dotadas del relleno plástico, una segunda zona anóxica y una pequeña zona óxica al final sin relleno. Así, la configuración adoptada fue D–N–D–N y el soporte plástico (carrier) que se incorporó fue el modelo K3 de AnoxKaldnes. El volumen de las zonas óxicas con lecho es de 2.743 m³ por reactor con un volumen de lecho de 906 m³.

2.3. PUESTA EN MARCHA DEL PROCESO HÍBRIDO

La obra de remodelación de la EDAR de Gavà-Viladecans para implementar el sistema híbrido se inició a mediados de Junio y concluyó a finales de Septiembre de 2010. El proceso de tratamiento se arrancó de forma gradual sembrando fango activo desde las otras líneas de tratamiento. En la puesta en marcha se partió de una concentración de SSLM de unos 1.000 mg/l con una carga adecuada que garantizase que la calidad del efluente fuese la adecuada.

Transcurrido aproximadamente un mes de la puesta en marcha ya se empezó a apreciar el crecimiento de la biopelícula en el interior del soporte plástico. El proceso de formación de la biopelícula alcanzó su fase óptima a principios de Enero de 2011.

El único problema que surgió en esta fase de puesta en marcha fue la formación de espumas. La proliferación de espumas se atribuye a la sobreaireación que tuvo que soportar el proceso para asegurar la correcta circulación del soporte plástico en el interior del reactor biológico. Inicialmente el soporte no tiene biomasa adherida y tiende a flotar en la super-



FIGURA 1. Vista aérea de la Edar Gavà-Viladecans.



FIGURA 2. Detalle del licor mezcla y el soporte móvil de biomasa.

ficie del reactor, por lo que hay que aportar un alto caudal de aire para que se mantenga en suspensión (de hasta 2 veces el Q aireación en condiciones normales de operación). Al ir desarrollándose la biomasa sobre los soportes móviles, la densidad del soporte aumenta disminuyendo su flotabilidad, produciéndose entonces la circulación necesaria en el seno del reactor para asegurar una homogeneidad en todo el volumen.

Para controlar la formación de espumas se dosificó una pequeña cantidad de solución de polielectrolito catiónico en la línea de recirculación externa de fango. El polielectrolito empleado fue el mismo que se dosificaba en el proceso de deshidratación de fango.

El caudal tratado y la calidad el efluente durante la puesta en marcha del proceso híbrido se resume en la Tabla 1.

	Octubre	Noviembre	Diciembre
CAUDAL (m ³ /d)	22.607	21.600	19.559
DBO (mg/l)	7	6	4
DQO (mg/l)	56	51	50
SS (mg/l)	9	7	9
N-NH ₄ (mg/l)	5,0	4,9	6,5
N-NO _x (mg/l)	4,2	3,9	3,8
NT (mg/l)	16,5	11,1	12,0
PT (mg/l)	2,8	3,5	3,2

TABLA 1. Calidad del agua tratada durante el proceso de arranque.

2.4. EXPLOTACIÓN DEL PROCESO HÍBRIDO

Actualmente el sistema híbrido lleva dos años en funcionamiento. En los apartados siguientes se va a proceder a realizar una comparación, desde el punto de vista de explotación, del proceso de tratamiento por fango activo convencional y del proceso híbrido.

2.4.1. Calidad del efluente

Durante los tres meses de puesta en marcha del proceso híbridos quedó patente su efectividad para cumplir con la normativa vigente estatal y autonómica. Posteriormente se dejó de nitrificar y desnitrificar en los reactores biológicos híbrido y se operó la planta solamente para eliminar la materia orgánica biodegradable.

	CAUDAL HYBAS	DBO Entrada	DBO Salida	SS Entrada	SS Salida	DBO Decantada	SS Decantada	Carga DBO Decantada
	m ³ /día	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	kg/día
JUNIO	27.884	572	14	587	21	288	220	8.031
JULIO	28.427	402	13	503	23	278	242	7.903
AGOSTO	26.939	309	8	481	20	178	131	4.795
SEPTIEMBRE	27.889	462	12	610	23	251	180	7.000
OCTUBRE	30.014	296	7	363	16	212	141	6.363
NOVIEMBRE	29.481	350	9	387	18	210	160	6.191
DICIEMBRE	27.707	411	13	417	24	224	155	6.206
ENERO	27.750	528	14	637	25	248	170	6.882
FEBRERO	28.986	508	12	468	16	273	127	7.913
MARZO	27.753	517	9	541	19	256	155	7.105
ABRIL	27.904	640	10	749	21	237	164	6.613
MAYO	27.972	547	10	626	18	221	165	6.182
DESEMBRE	29.028	343	13	565	20	147	148	4.267
MEDIA	28.226	462	11	531	20	240	168	6.765

TABLA 2. Histórico de la calidad agua tratada del proceso convencional.

	CAUDAL IFAS	DBO Entrada	DBO Salida	SS Entrada	SS Salida	DBO Decantada	SS Decantada	Carga DBO Decantada
	m ³ /día	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	kg/día
JUNIO	25.992	310	17	263	18	174	112	4.523
JULIO	26.531	391	20	369	20	209	110	5.545
AGOSTO	23.689	389	9	265	14	224	110	5.306
SEPTIEMBRE	27.382	321	18	233	17	209	112	5.723
OCTUBRE	28.732	387	9	333	10	171	106	4.913
NOVIEMBRE	34.438	289	14	251	16	168	116	5.786
DICIEMBRE	27.814	366	6	337	11	230	132	6.397
ENERO	23.360	457	13	376	14	261	142	6.097
FEBRERO	23.827	481	25	447	20	276	165	6.576
MARZO	23.829	452	16	383	14	259	148	6.172
ABRIL	24.756	426	24	328	22	236	169	5.842
MAYO	24.034	475	23	441	25	278	187	6.681
MEDIA	26.199	395	16	336	17	225	134	5.884

TABLA 3. Histórico de la calidad agua tratada del proceso híbrido.

PROCESO	kWh / día	kWh / kg DBO ₅
FANGO ACTIVO CONVENCIONAL	5.933	0,877
HYBAS	3.959	0,673

TABLA 4. Comparativo ratios energéticos.

En la Tabla 2 se muestran los datos de calidad obtenidos en el proceso de fango activo convencional durante el periodo de Junio de 2007 a Mayo de 2008.

En la Tabla 3 se muestran los datos de calidad obtenidos en el proceso híbrido durante el periodo de Junio de 2011 a Mayo de 2012.

2.4.2. Consumo eléctrico

En el proceso de fango activo convencional cada reactor biológico disponía de seis turbinas de aireación. Cada turbina podía funcionar con dos velocidades. El consumo unitario era de 36 kWh en velocidad lenta, y de 55 kWh en velocidad rápida. El control de funcionamiento de las turbinas requería una especial atención por parte del operador debido a que no era posible el control por medición del oxígeno disuelto debido a la sobreaireación generada por las turbinas. Para operar las turbinas se disponía de unas tablas horarias de funcionamiento acordes con la carga de DBO a tratar. El operador seleccio-

IVF FANGO ACTIVO	117
IVF HYBAS	68

TABLA 5. Comparativo comportamiento IVF.

naba la tabla en función del día (laborable o festivo) y en función de la evolución de la turbidez del efluente.

En el actual proceso híbrido se dispone de dos turbocompresores (más uno de reserva) para los dos reactores biológicos. Cada turbocompresor tiene una potencia de 355 kW y suministra un caudal de aire de unos 18.400 Nm³/h. El control del oxígeno disuelto se realiza por medidores en continuo, quedando el funcionamiento regulado por el sistema de control de planta.

La Tabla 4 muestra el consumo eléctrico medio del período considerado en las tablas anteriores para el proceso de fango activo convencional y el proceso híbrido (solamente eliminando materia orgánica). Conviene indicar que la sumergencia media de los difusores es de 3,7 m.

2.4.3. Índice volumétrico del fango (IVF)

El índice volumétrico del fango (IVF) es menor en el proceso híbrido que en proceso de fango activo convencional. Además, durante el período considerado el IVF del proceso híbrido ha sido extremadamente regular. La Tabla 5 muestra los valores del IVF de ambos procesos.

2.4.4. Edad del fango

Tanto en el sistema de fango activo convencional como en el licor mezcla del sistema híbrido, la edad del fango ha sido similar. La Tabla 6 muestra los valores de edad del fango de ambos procesos.

FANGO ACTIVO	8,3 días
HIBRIDO	7,5 días

TABLA 6. Comparativo edad del fango (días).



FIGURA 3. Aspecto de la biopelícula adherida al material de relleno.

2.4.5. Análisis de la microfauna

En la observación microscópica del fango activo convencional se apreciaba un floc muy desestructurado y pequeño, con abundancia de organismos filamentosos, tanto dentro del floc como libres. Solían estar presentes las especies *Microthrix parvicella* (en invierno), *Nostocodia limicola*, *Nocardia* (en verano), Tipo 021N, Tipo 0914 y Tipo 1851. Sin embargo, la presencia de estas bacterias filamentosas no ocasionaba problemas de bulking, más bien algún episodio de espumas en el reactor biológico durante los meses fríos del año.

Con el proceso híbrido, la presencia de organismos filamentosos ha disminuido, hasta el punto de casi desaparecer, tanto en el licor mixto como en la biopelícula. En cuanto a los ciliados, se ha observado que hay unas diez veces más de actividad en la biopelícula que en el licor mixto. También se ha observado la ausencia total de pequeños metazoos (nematodos y rotíferos).

En varios estudios de caracterización de protozoos, tanto en fango activo convencional como del sistema híbrido, se ha observado una distribución similar de microorganismos. Los protozoos presentes en mayor número en cada uno de los procesos son:

- Proceso fango activo convencional:
 - Flagelados bodonidos.
 - Ciliados: *Aspidisca*, *Epistylis*, *Opercularia*, *Vorticella*, *Litonotus*.
- Proceso HYBAS:
 - Flagelados diplomonádidos.
 - Ciliados: *Aspidisca*, *Epistylis*, *Vorticella*, *Tokophrya*.

Esta abundante presencia de ciliados periticos y ciliados hipótricos reptantes es característica de un fango maduro y la presencia de flagelados se relaciona con una aireación limitada.

2.4.6. Operaciones de mantenimiento

El mantenimiento de las turbinas de aireación en el proceso de fango activo convencional consiste en una revisión anual

de las palas, el cambio de rodamientos del motor cada 20.000 h, cambio de rodamientos del reductor cada 50.000 h, cambio de aceite del reductor cada 6.000 h, y engrase de varios puntos del reductor cada 800 h. Una vez al año se vaciaba el reactor biológico para efectuar una limpieza del fango decantado debajo de las turbinas y en los laterales del tanque.

El mantenimiento de los turbocompresores del proceso híbrido incluye un análisis anual del aceite y una revisión general de la máquina por personal especializado cada 18.000 h de funcionamiento, o al menos cada tres años. En cuanto al sistema de aireación y el soporte plástico, no necesitan ningún tipo de revisión especial. En este tipo de proceso es importante revisar anualmente los colectores de salida de cada zona híbrida para proceder a su limpieza, evitando la colmatación y obstrucción de la plancha perforada que retiene al soporte móvil. Esto requiere un vaciado parcial de los reactores biológicos y una limpieza localizada de los conductos que comunican los reactores.

2.4.7. Problemas operacionales

Uno de los problemas de operación más comunes en las EDAR's es el bulking filamentosos. En el periodo considerado en el que la planta funcionaba por el sistema de fango activo convencional, hubo un episodio de bulking causado por *Microthrix parvicella*, episodios habitualmente registrados durante la época invernal.

Otro problema importante en este tipo de proceso es la desnitrificación espontánea. Se dieron varios episodios de desnitrificación en el decantador secundario, originando escapes masivos de fango. El control de aporte de oxígeno a sistemas que funcionan con turbinas debe ser muy estricto ya que de no ser así pueden darse problemas como el mencionado.

Con el actual sistema híbrido se dispone de un control mucho más preciso del aporte de oxígeno, por lo que el problema anterior se ha minimizado.

El principal problema operacional del sistema híbrido ha sido el de la formación de espumas en el reactor biológico. Estas espumas no están relacionadas con el crecimiento de microorganismos filamentosos y aparecen en dos situaciones concretas: durante los meses de invierno y cuando el caudal de aire aportado a los reactores biológicos es muy alto.

2.4.8. Huella del carbono

Algunas de las actividades que se desarrollan en la EDAR implican un consumo de energía eléctrica, unos desplazamientos que consumen combustible y unos procesos que generan gases de efecto invernadero. Esto se traduce en unas emisiones de CO₂ a la atmósfera.

Para cuantificar el impacto que generan estas emisiones existe una herramienta que es la Huella de Carbono. En la EDAR de Gavà-Viladecans la Huella de Carbono, antes y después de la ampliación, ha sido los mostrados en las Figuras 4 y 5.

3. LA EXPERIENCIA EN LA EDAR TERRASSA

3.1. ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DE LA EDAR PREVIA A LA AMPLIACIÓN

En el año 1994 se puso en funcionamiento la estación depuradora de aguas residuales de Terrassa, dimensionada para tratar un caudal nominal de 75.000 m³/d y que daba servicio a los municipios de Terrassa, Matadepera y Sant Quirze del Vallès. La configuración inicial de la planta, prevista para tratar aguas urbanas con una alta componente industrial, presentaba un tratamiento físico-químico del agua, espesamiento y deshidratación mecánica de los fangos mediante filtros banda.

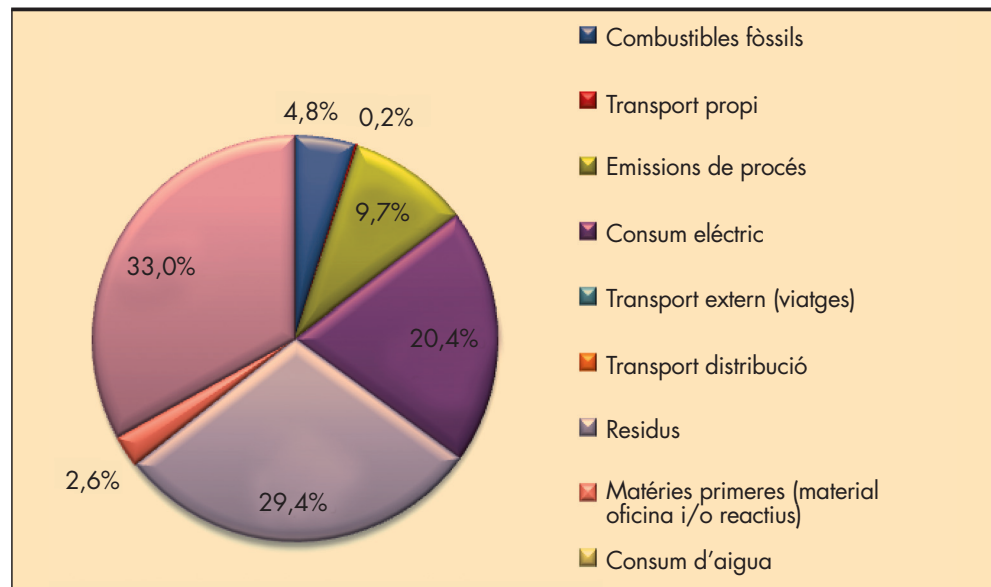


FIGURA 4. Huella de carbono del proceso fango activo convencional (año 2009): 4.212,90 t CO₂ eq.

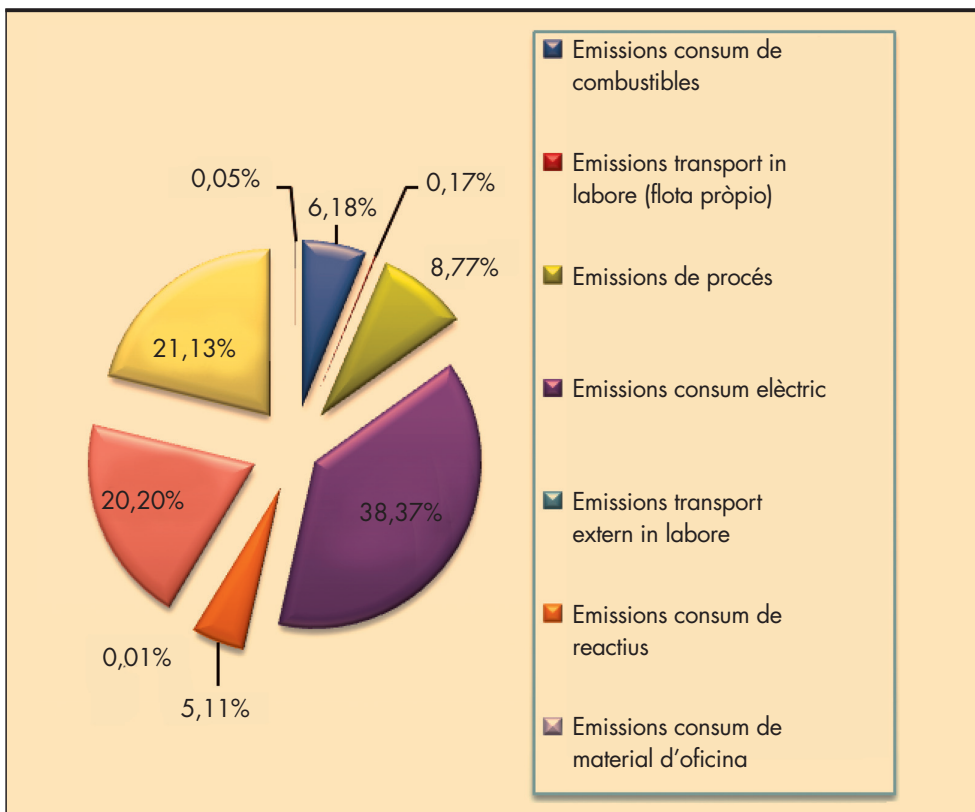


FIGURA 5. Huella de carbono del proceso MBR + IFAS (año 2011): 4.212,90 t CO₂ eq.

Un tiempo más tarde, concretamente en el año 1999, se amplió el nivel de tratamiento con la construcción de un proceso biológico de fangos activados para la eliminación de materia orgánica. Se incorporó un reactor biológico con aeración por soplantes, decantación secundaria y digestión anaerobia de los fangos mixtos. La ampliación se dimensionó para el tratamiento biológico de 60.000 m³/d, sin eliminación de nutrientes en un reactor biológico con configuración de alimentación escalonada (step-feed).

La revisión de la declaración de zonas sensibles llevada a cabo en Cataluña en el año 2006 generó la necesidad de incorporar la eliminación de nutrientes al tratamiento existente en la Edar de Terrassa. De esta manera, en el año 2010 finalizaron las obras de remodelación de la edar para ampliar su capacidad de tratamiento hasta 75.000 m³/d, y modificar el tratamiento incorporando la eliminación de nutrientes.



FIGURA 6. Bastidores Ifas en el reactor biológico.

3.2. JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DE LA TECNOLOGÍA

La baja disponibilidad de espacio que presentaba la infraestructura ya operativa, y que requería una modificación del tratamiento para adoptar la configuración de eliminación de nutrientes, generó la necesidad de analizar alternativas tecnológicas altamente compactas. En una primera instancia se planteó la posibilidad de optar por la tecnología de membranas para tratar la integridad del caudal. Se realizaron pruebas en dos plantas piloto, una basada en tecnología de membranas de fibra hueca y otra basada en tecnología de membranas de placa plana. La operación de las plantas piloto puso en evidencia la problemática de la operación en ambos casos, provocada por la presencia de vertidos industriales, generando procesos de limpieza con frecuencias excesivamente altas. Por este motivo, se optó por abandonar la alternativa tecnológica de las membranas para optar por un sistema híbrido basado en la actuación combinada de biomasa sobre soporte fijo y biomasa suspendida. En el caso de la biomasa fija, la tecnología seleccionada fue el IFAS (Integrated Fixed Activated Sludge), donde la biomasa se desarrolla parcialmente sobre un soporte de material textil en configuración lineal.

Los cuatro reactores biológicos existentes, de 5.500 m³ cada uno, y tipología MLE-modificada (Anóxico-Óxico) se transformaron a una configuración Bardenpho (Anóxico-Óxico-Anóxico-Óxico) con la intención de aprovechar al máximo el escaso carbono disponible en las aguas a tratar y hacer más eficiente la dosificación de carbono procedente de una fuente externa, en el proceso de desnitrificación. En la primera zona óxica se instalaron los soportes IFAS. En cada línea se instalaron 42 módulos de soporte IFAS, cada uno de los 168 módulos consta de 153 telas con una anchura de 0.96 m y una altura de 3.82 m resultando un área total de 561.08 m² por módulo (94261 m² de telas totales). El soporte textil IFAS ocupa el 40% del volumen del tanque óxico donde cada m² lineal de tela representa 23 m² de área específica. Desde el punto de vista volumétrico el área específica es de 200 m²/m³.

El sistema híbrido IFAS permite aumentar la cantidad de biomasa activa sin aumentar el volumen de reacción, garantizando, en periodos de bajas temperaturas, la nitrificación del NKT afluente sin aumentar la edad de fango en suspensión y con concentraciones de oxígeno disuelto similares a las de un proceso convencional.



FIGURA 7. Detalle de la fibra textil soporte de biomasa.



FIGURA 8. Decantador secundario modificado.

Por lo que respecta a la decantación secundaria, se decidió sustituir los equipamientos electromecánicos en los tres decantadores existentes, por nuevos puentes de succión diametral incorporando sistemas de disipación de energía en la alimentación y pantallas Stamford en los muros perimetrales.

Con el objeto de garantizar la continuidad de la calidad de tratamiento durante la etapa de construcción, se decidió la construcción de un nuevo reactor de biomembranas (MBR) con capacidad para el tratamiento de 15.000 m³/día. El funcionamiento del MBR permitió la actuación secuencial en los tres decantadores secundarios para su remodelación durante la ejecución de las obras.

3.3. EXPLOTACIÓN DEL PROCESO IFAS

El sistema IFAS lleva en funcionamiento en la EDAR de Terrassa desde el año 2010. Durante la puesta en marcha inicial se trabajó con el objetivo de eliminar la contaminación carbonosa, y no fue hasta el mes de Abril del año 2012 cuando se modificaron los parámetros de explotación del tratamiento biológico con la intención de eliminar, también, la contaminación nitrogenada.

A continuación se muestran los resultados obtenidos durante siete meses de explotación del proceso: la calidad del agua, los consumos energéticos y las características del fango obtenido.

3.3.1. Datos de operación y calidad del efluente

En la Tabla 7 se puede observar las concentraciones promedio de sólidos suspendidos totales, DBO₅, DQO y nitrógeno total tanto en el agua influente al tratamiento como a la salida del mismo, durante los meses de explotación (desde abril de 2012 a octubre de 2012). Además, en la misma tabla se ha añadido el cálculo del rendimiento del proceso IFAS en la eliminación de cada uno de estos parámetros. El caudal medio de tratamiento fue de 31.500 m³/d.

Las dos últimas columnas de la tabla muestran la edad del fango a la que se ha trabajado y el índice volumétrico de fangos.

3.3.2. Consumo eléctrico

Antes de la puesta en marcha del proceso IFAS, la aportación de aire al tratamiento biológico existente se realizaba mediante 4 soplantes de velocidad fija y 250 kW de potencia unitaria y 2 soplantes de doble velocidad de 150/230 kW, equipos que permanecen operativos como reserva de los 3 turbocompresores que se instalaron en la anterior ampliación. Cada turbocompresor tiene una potencia de 207 a 448 kW y suministra un caudal de aire de 11.703 a 24.607 Nm³/h.

El control de la aireación se realiza mediante el sistema A₂C "Advanced Aeration Controls", sistema que permite mini-

MES	Caudal m ³ / día	SST			DBO ₅			DQO			N total			Fango	
		E	S	Rend.	E	S	Rend.	E	S	Rend.	E	S	Rend.	IVF	Edad
		mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%	mg/l	mg/l	%	mgN/l	mgN/l	%	ml/g	dies
abril-12	35.406	176	12	93	276	7	97	356	59	83	87	60	31	154	12
mayo-12	34.192	131	6	95	284	7	97	428	37	91	61	21	66	112	21
junio-12	30.530	124	5	96	305	8	97	420	40	91	64	22	66	68	14
julio-12	28.709	135	5	96	282	7	97	459	30	93	60	13	78	74	15
agosto-12	24.486	114	4	97	231	5	98	366	23	64	60	18	70	82	9
septiembre-12	30.254	111	3	97	270	6	98	455	23	95	66	21	68	91	11
octubre-12	36.948	113	6	95	291	7	98	430	30	93	65	19	71	77	15
MEDIA	31.504	129	6	96	277	7	98	416	35	87	66	25	64	94	14

TABLA 7. Datos de operación y calidad del agua influente y efluente al tratamiento biológico.

MES	ENERGÍA IFAS		
	kWh/mes	kWh/d	kWh/DBO5
abril-12	146.374	4.879	0,42
mayo-12	215.804	7.193	0,61
junio-12	218.152	7.272	0,63
julio-12	240.253	8.008	0,78
agosto-12	166.203	5.540	0,76
septiembre-12	186.548	6.218	0,62
octubre-12	197.829	6.594	0,51

TABLA 8. Consumo eléctrico del proceso IFAS.

mizar el consumo energético asociado a la aeración y optimizar el rendimiento del proceso de tratamiento ajustando continuamente el punto de funcionamiento de la central de producción de aire y el caudal aportado a los reactores con objeto de mantener los niveles de oxígeno disuelto deseado en los diferentes reactores y zonas de control.

En la Tabla 8 se puede observar el consumo eléctrico medio, del período considerado en la tabla anterior, para el proceso IFAS teniendo en cuenta que durante este periodo se ha eliminado tanto materia orgánica como nitrógeno. Se muestra además el consumo de energía por kg de DBO₅ de entrada al proceso.

3.3.3. Operaciones de mantenimiento

Desde el punto de vista del mantenimiento, el hecho de que exista un soporte IFAS en los reactores biológicos no supone ninguna dificultad añadida a la de un reactor convencional, salvo en el momento en el que haya que operar en los difusores. En esta situación, los soportes IFAS (bastidor donde se ubican las telas), se pueden desplazar para permitir el acceso a los difusores y será el desplazamiento de los mismos la única dificultad adicional a la de un reactor convencional.

Las operaciones de mantenimiento de los equipos de producción de aire, soplantes y turbocompresores, son las mismas que las de cualquier otro sistema de tratamiento.

En cuanto al sistema de aireación y el soporte IFAS, no necesitan ningún tipo de revisión especial.

3.3.4. Problemas operacionales

Durante el breve periodo de tiempo del que se dispone de información del sistema IFAS en condiciones de eliminación de nitrógeno, de abril a octubre de 2012, no se ha registrado en ningún momento episodios de formación de espumas por bulking filamentoso. Las espumas que se observan en la superficie de los reactores, y que en contadas ocasiones tienen un crecimiento masivo, son debidas a aportaciones de aguas residuales de origen industrial caracterizadas por elevada presencia de compuestos con alta tensión superficial.

En estos casos de crecimiento masivo de espumas en los reactores, se dispone de una instalación que permite su extracción por reboso y envío al espesador por flotación.

La baja relación carbono/nitrógeno de las aguas afluentes al tratamiento biológico (416/66=6,3) imposibilita una desnitrificación completa de los nitratos formados. En esta situación, no es posible recuperar todo el oxígeno esperado por lo que el consumo energético aumenta y se registra una elevada concentración de N-NO₃ haciendo que el N_{total} supere el valor deseado.

El IVF medio del fango obtenido presenta un valor de 94 ml/g, valor que indica la buena sedimentabilidad del fango obtenido.

En cuanto al tiempo de retención al que se ha trabajado el valor medio ha sido de 14 días, tiempo suficiente como para que la nitrificación tenga lugar.

4. DISCUSIÓN

La implantación de los sistemas híbridos en los dos casos de estudio destaca por su relativa facilidad de adaptación a las instalaciones existentes. Las tecnologías seleccionadas han permitido remodelar los tratamientos biológicos adaptándose a las limitaciones por la poca disponibilidad de terreno, sin la necesidad de dotarse de volumen adicional en los reactores biológicos, y remodelando parcialmente la decantación secundaria.

De los resultados obtenidos durante los periodos en que han operado las edar estudiadas, se desprende que los procesos híbridos permiten alcanzar elevados rendimientos de eliminación de sólidos suspendidos, DBO₅, DQO y nitrógeno total. En los primeros meses de operación, debido a la necesidad de estabilización y causa de los problemas asociados a la puesta en marcha de los procesos biológicos, se observa cómo los rendimientos de eliminación de cada uno de los parámetros han sido ligeramente inferiores a los obtenidos durante los meses posteriores.

La operación y mantenimiento de las nuevas instalaciones no reviste una complejidad adicional a la habitual en una planta de estas características.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. Proyecto de Liquidación de la Ampliación de la Edar Terrassa-Les Fonts. Clave: S-AA-01334. Agencia Catalana del Agua, junio 2011.
2. Proyecto de Liquidación de la Ampliación y Tratamiento Terciario de la Edar Gavà-Viladecans. Agencia Catalana del Agua, junio 2011.
3. Galí, A.; Trillo, J.; Piriz, A. (2011). Estudio en planta piloto y modelización del tratamiento biológico con biomasa fijada (IFAS) de la ampliación de la Edar Terrassa. Tecnología del Agua, 327, marzo 2011.
4. Zalakain, G.; Larrea, A.; Malfeito, J.; Albizuri, J.; Larrea, L. (2008). El proceso híbrido con lecho móvil HYBAS, una eficaz alternativa para la remodelación de EDAR urbanas existentes. Tecnología del Agua, 294, marzo 2008.
5. Zalakain, G.; De la Sota, A.; Larrea, A.; Malfeito, J.; Albizuri, J.; Larrea, L. (2008). Proceso híbrido HYBAS aplicado a la remodelación de EDAR para eliminación de nitrógeno y fósforo. Tecnología del Agua, 295, abril 2008.
6. Santamaria, A.; Zalakain, G.; Hernández, M.; Fernández, S.; Gassó, J. (2011). Remodelación del tratamiento biológico de la Edar Gavà-Viladecans mediante el proceso híbrido HYBAS. Tecnología del Agua, 327, marzo 2011.