TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUA RESIDUAL URBANA EN LA EDAR DE BENIEL (MURCIA)

El presente artículo expone la metodología y resultados de un estudio realizado en la EDAR de Beniel (Murcia) en el que se ha investigado el tratamiento de un agua residual real mediante un sistema mixto, que combina un unidad de reactores con fango biosoportado sobre esferas de poli vinil alcohol (PVA) con un reactor de fangos activados actuando como etapa de afino del proceso. Este tratamiento permite simultáneamente la eliminación de nitrógeno por vía biológica y una menor producción de fango frente a un sistema de fangos activos, así como menores volúmenes de reactor necesarios. En el estudio se analizaron los rendimientos de eliminación en DQO, SS, Nt y Pt del sistema, así como la producción de fangos en exceso. El sistema obtuvo buenos rendimientos depurativos, con una producción específica de fango en exceso significativamente inferior al valor de referencia de la EDAR.

Pedro J. Simón Andreu, Director Técnico ESAMUR
Carlos Lardín Mifsut, Técnico Explotación ESAMUR
Miguel Ángel Martínez Muro,
Director Técnico UTE URDEMASA-RED CONTROL
Juan Antonio Vicente González, Responsable Explotaciones UTE URDEMASA-RED CONTROL
Claudia Llosá Llácer, Jefa de Planta EDAR de Beniel UTE URDEMASA-RED CONTROL

Uno de los costes más importantes en la explotación de EDARs es la gestión de los lodos generados como residuo del proceso depurativo. Estos lodos son habitualmente sometidos a un costoso proceso de deshidratación mecánica para reducir su volumen y llevan asociados costes de transporte y gestión de los mismos, tanto en el caso en que estos son destinados a uso agrícola como a vertedero. Por ello, la investigación en procesos de depuración que permitan una menor producción de lodo en origen es de vital importancia para una gestión más económica de las depuradoras.

Por otra parte, la actual legislación medioambiental exige en muchos casos el cumplimiento de límites de vertido para nitrógeno y fósforo en el efluente de las depuradoras. Por ello, los nuevos sistemas de depuración deben ser capaces de eliminar estos parámetros.

Material y métodos

Para la realización del estudio, además del material de laboratorio para análisis, se ha contado con una planta piloto de campo. Adicio-

Planta piloto de campo | *Planta piloto de campo*

BIOLOGICAL TREATMENT OF URBAN WASTEWATER AT THE BENIEL WWTP(MURCIA)

This article outlines the methodology and results of a study carried out at the Beniel WWTP (Murcia). The study analysed the treatment of real wastewater using a mixed system that combines a unit of reactors with sludge supported on a biomedia of polyvinyl alcohol (PVA) spheres and an activated sludge reactor acting as the refining stage of the process. This treatment enables the biological removal of nitrogen as well as simultaneously resulting in lower sludge production than an activated sludge system. It also enables a reduction in the reactor volumes required. The study analysed system efficiency for the removal of COD, SS, total N and total P, as well as excess sludge production. The system achieved good treatment performance, with specific excess sludge production being significantly lower than the WWTP reference value.

Pedro J. Simón Andreu, Technical Director ESAMUR
Carlos Lardín Mifsut, Technical Director of Operations ESAMUR
Miguel Ángel Martínez Muro, Technical Director URDEMASA-RED CONTROL consortium
Juan Antonio Vicente González, Head of Operations URDEMASA-RED CONTROL consortium
Claudia Llosá Llácer, Plant Manager Beniel WWTP URDEMASA-RED CONTROL consortium
Lucas Benac Vegas, Technical Dept. WWTP Control RED CONTROL

One of the most significant WWTP operating costs is related to the management of sludge generated in the treatment process. This sludge typically undergoes a costly mechanical dewatering process to reduce volume and also has associated transport and management costs, whether it is used for agricultural purposes or goes to landfill. For this reason, research into treatment processes that enable lower sludge production at source is of vital importance to more cost effective management of treatment plants.

Moreover, current environmental legislation sets out discharge limits on nitrogen and phosphorus for WWTP effluent. Therefore, new treatment systems must be capable of removing these elements.

Material and methods

In addition to the laboratory material required for analysis, a pilot plant was also used in the study. Analysis and observation was carried out with two special pieces of equipment: a respirometer and an electronic microscope.

The pilot plant, designed and built by Red Control, comprises a large number of interconnectable pieces of equipment to simulate different types of water treatment. This equipment is controlled by a central PLC, along with cabled logic systems and manual operation. The entire unit is mounted within a container to facilitate transportation by truck to the location where it is required. In the case relevant to this article, the unit is located on the grounds of the WWTP.

The configuration of the pilot plant can be seen in the following diagram and it has the following elements.

- Feedwater intake: the feedwater is the WWTP influent, subsequent to filtering to avoid the presence of large solids and prior to degritting/degreasing. The water is pumped

nalmente, se han realizado análisis y observaciones con dos equipos especiales: respirómetro y microscopio electrónico.

La planta piloto, diseñada y construida por Red Control, está integrada por un gran número de equipos susceptibles de ser conectados entre sí, simulando diferentes tipos de tratamientos de aguas. Estos elementos están gobernados por un PLC central, junto con los sistemas de lógica cableada y funcionamiento manual. Todo el conjunto se encuentra montado en un contenedor, para poderlo transportar en camión hasta el punto donde se requiera su actividad, en el caso que nos ocupa se posicionó en la parcela de la propia depuradora.

La configuración de la planta piloto se muestra a en la siguiente imagen, y cuenta con los elementos que se describen a continuación.

- Entrada de agua a tratar: es el influente de la EDAR, tomada justo a continuación del debaste, para evitar la presencia de sólidos gruesos, y antes del desarenado-desengrasado. El agua se bombea a través de una tubería flexible hasta la entrada al tamiz de la planta piloto.
- Tamizado: se realiza un tamizado del agua influente con una luz de paso de 1 mm.
- Caudalímetro de agua bruta: a la salida del tamizado se controla mediante un caudalímetro electromagnético y valvulería el caudal de entrada a planta, que se mantiene en torno a 150 l/h.
- Decantador primario.
- Reactor 1 (anóxico): reactor de 600 l, cargado con fango biosoportado sobre esferas de PVA (15% v/v) y dotado de agitación.
- Reactor 2 (aerobio): reactor de 600 l, cargado con fango biosoportado sobre esferas de PVA (15% v/v) y aireado mediante difusores. Desde este reactor se realiza la recirculación interna de agua (las esferas quedan retenidas) al reactor 1. El caudal de recirculación se controla mediante un caudalímetro electromagnético y valvulería y se mantiene en torno al 200%.
- Reactor 3 (aerobio): reactor de 1.200 l, cargado de fango activo y dotado de aireación mediante difusores. Cuenta con una sonda de oxígeno en continuo, que gobierna el funcionamiento de la aireación.
- Decantador secundario: desde el decantador se realiza mediante bombeo la recirculación de fango al reactor de fangos activados (reactor 3). También existe la posibilidad de realizar la purga de fango en este punto.

El biosoporte utilizado son esferas de PVA (polyvinyl alcohol) de 3-4 mm fabricadas por la empresa Kuraray. Este biosoporte tiene una densidad relativa de 1.025 ± 0.01. El interior de las esferas tiene una estructura porosa formada por microtúneles de 20 micrómetros de diámetro.

Fases del estudio

Fase 1: aclimatación del proceso

El objetivo es conseguir crecimiento de bacterias sobre el biosoporte y aclimatar el fango activo a las condiciones de tratamiento. Se cargó el reactor 3 con fango activo proveniente de la EDAR y se condujo la recirculación de fango del decantador secundario al reactor 1. De esta manera, se pone en contacto una concentración elevada de bacterias con el biosoporte, con objeto de conseguir una buena colonización del mismo. La fase de aclimatación del proceso se llevó a cabo durante un mes. El caudal influente fue de 150 l/h, con una caudal de recirculación del 200% del caudal influente.

through a flexible pipe to the inlet to the pilot plant screening process.
- Screening: the influent water is filtered using screens with a mesh size of 1 mm.
- Raw water flow meter: at the outlet of the screening process, the inlet flow to the plant is controlled by an electromagnetic flow meter and valves. This inflow is maintained at around 150 l/h.
- Primary settling tank.
- Reactor 1 (anoxic): reactor of 600 l, loaded with sludge biologically supported on PVA spheres (15% v/v) and fitted with agitation equipment.
- Reactor 2 (aerobic): reactor of 600 l, loaded with sludge biologically supported on PVA spheres (15% v/v) and aerated by means of diffusers. From this reactor, recirculation of water (the spheres are retained) to reactor 1 takes place. The recirculation flow is controlled by means of and electromagnetic flow meter and is maintained at around 200%.
- Reactor 3 (aerobic): reactor of 1,200 l, loaded with activated sludge and equipped with aeration by means of diffusers. It is fitted with an oxygen sensor that continuously monitors levels and governs the operation of aeration.
- Secondary settling tank: recirculation of the sludge to the activated sludge reactor (reactor 3) is carried out from the settling tank by pumping. There is also the option of removing the sludge at this point.

The biomedia used consists of PVA (polyvinyl alcohol) spheres of 3-4 mm manufactured by Kuraray. This biomedia has a relative density of 1.025 ± 0.01. The interior of the spheres has a porous structure made up of micro-tunnels of 20 micrometers in diameter.

Study phases

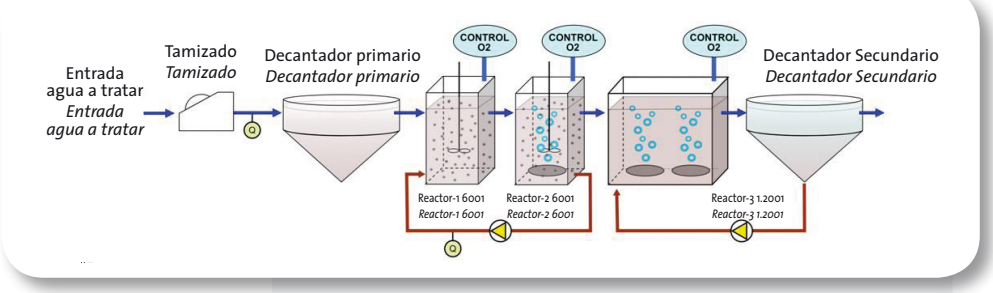
Phase 1: process acclimatisation

The objective was to achieve bacterial growth on the biomedia and acclimatise the activated sludge to the treatment conditions. Reactor 3 was loaded with activated sludge from the WWTP and recirculated sludge from the secondary settling tank was sent to reactor 1. In this way, a high concentration of bacteria was put into contact with the biomedia, with the aim being to achieve good colonisation. The process acclimatisation phase was carried out over a period of one month. The influent flow was 150 l/h, with a recirculation flow of 200% of the influent flow.

Phase 2: treatment

The influent flow was 150 l/h, with an internal and external recirculation flow of 200% of the influent flow. The Hydraulic Retention Time (HRT) was maintained at

Configuración de la planta piloto para el estudio | *Configuración de la planta piloto para el estudio*



Fase 2: tratamiento

El caudal influente fue de 150 l/h, con una caudal de recirculación, tanto la interna como la externa, del 200% del caudal influente. El TRH, Tiempo de Retención Hidráulico, se mantuvo en torno a 16 h. Respecto a la aireación del sistema, se ensayaron distintas consignas de oxígeno a lo largo del estudio (figura 1) La aireación tanto del reactor 2 como del 3 se controlan de manera automática mediante una sonda de oxígeno instalada en el reactor 3.

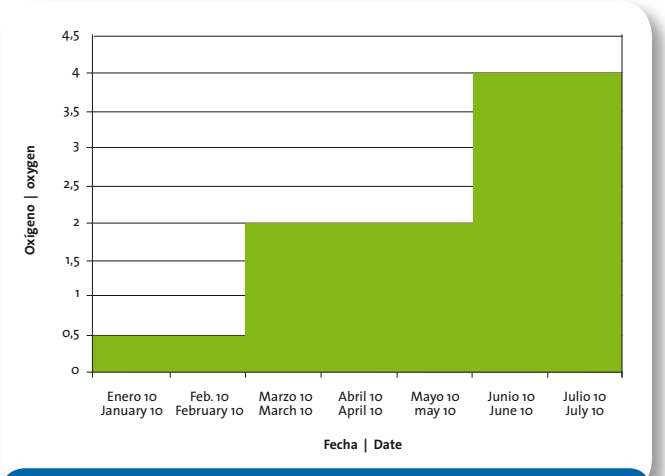


Figura 1. Consigna de aireación (límite superior) a lo largo de la fase de tratamiento
Figura 1. Consigna de aireación (límite superior) a lo largo de la fase de tratamiento

En lo que se refiere al licor mezcla, la concentración de SSLM en el reactor 3 se mantuvo en torno a 5.000 mg/l mediante control analítico y purgas adecuadas.

La fase 2 se llevó a cabo durante un periodo ininterrumpido de 26 semanas.

Resultados y discusión

Fase de aclimatación

Durante la fase de aclimatación del proceso, se realizó un seguimiento visual del biosoporte, observando un oscurecimiento progresivo de las bolas de PVA a causa de la colonización de las mismas por bacterias. Finalizada la fase de aclimatación el biosoporte presentaba una coloración marronácea, que se volvió algo más oscura durante los primeros meses de la Fase 2, evidenciando el crecimiento de biofilm sobre su superficie.

Fase de tratamiento

Decantación primaria

La función primordial de esta unidad es la retención de sólidos finos que pudiesen obstruir las rejillas de separación entre los reactores con biosoporte. No obstante, el buen funcionamiento de las rejillas durante el estudio sugiere que esta unidad podría no ser necesaria para el tratamiento.

Se analizaron los SS y la DQO de entrada al decantador primario, obteniendo unos valores promedios de 494 mg/l y 296 mg/l respectivamente, con unos rendimientos de eliminación del 20% y 18%, respectivamente.

Durante el estudio se realizaron varias purgas de fango del decantador primario para garantizar el buen funcionamiento del mismo. Los volúmenes y concentración de sólidos del fango purgado fueron registrados cuidadosamente, incluyendo el vaciado completo del decantador primario al finalizar el estudio. Se purgaron

around 16 h. With respect to system aeration, different oxygen levels were tested during the study (figure 1). Aeration in both reactor 2 and reactor 3 was automatically controlled by means of an oxygen sensor installed in reactor 3.

With respect to the mixed liquor, the SSLM concentration in reactor 3 was maintained at around 5,000 mg/l by means of analytical control and drainage.

Phase 2 was carried out over an uninterrupted period of 26 weeks.

Results and discussion

Acclimatisation phase

Visual monitoring of the biomedia was carried out during the acclimatisation phase of the process. A progressive darkening of the PVA beads was observed owing to the colonisation of bacteria. At the end of the acclimatisation phase, the biomedia had a brownish colour, which turned a little darker during the first months of Phase 2, indicating the growth of biofilm on the biomedia surface.

Treatment phase

Primary settling

The primary function of this unit is the removal of fine solids that might cause obstruction of the grilles that separate the reactors fitted with biomedia. Nonetheless, the correct functioning of the grilles during the study suggests that this unit might not be necessary for treatment.

The SS and COD concentrations of the inlet water to the primary settling tank were analysed and average values were calculated at 494 mg/l and 296 mg/l respectively, with removal efficiencies of 20% and 18%, respectively.

During the study, sludge was bled from the primary settling tank several times in order to ensure its correct functioning. The volumes and concentration of solids in the sludge removed were carefully recorded, including the data corresponding to the complete emptying of the settling tank at the end of the study. A total of 1,570 l was removed, representing the removal of 32.77 kg of dry matter (DM) from the system.

Biological treatment

Reactors 1, 2 and 3 and the secondary settling tank are considered to be elements belonging to the biological process. For the purposes of establishing terminology and given that the study focuses on these units, the outlet water from the primary settling tank was called the "process influent". Reactors 1 and 2 were labelled the "PVA unit" and reactor 3 and the secondary settling tank were called the "activated sludge unit".

The influent to the biological process maintained approximately constant concentrations of COD and SS throughout the study, with somewhat higher values being observed in the final 4 months of the study. Very homogenous system behaviour was observed throughout the study, with concentration values in the effluent always below discharge limits. The PVA unit carried out most of

un total de 1.570 l, que supusieron la extracción de 32,77 kg de MS del sistema.

Tratamiento biológico

Se consideran elementos del proceso biológico los reactores 1, 2 y 3 y el decantador secundario. A efectos de nomenclatura y dado que el estudio se centra en estas unidades, se denomina la salida del decantador primario como "influente a proceso", los reactores 1 y 2 constituyen la "unidad PVA", y el reactor 3 y decantador secundario, la "unidad fango activo".

El influente al proceso biológico mantuvo concentraciones de DQO y SS aproximadamente constantes durante todo el estudio, observándose valores algo más altos durante los últimos 4 meses del estudio. Se ha observado un comportamiento muy homogéneo del sistema a lo largo de todo el estudio, con valores de concentración en el efluente siempre por debajo de los límites de vertido. La unidad de PVA lleva a cabo la mayor parte de la eliminación, actuando la unidad de fango activo como unidad de afino.

Respecto de la contaminación por formas nitrogenadas, se observaron concentraciones de amonio entre 20 y 40 mg/l, con cierta tendencia al aumento a lo largo del estudio. La concentración de nitratos y nitritos es muy baja. La mayor parte de la eliminación de nitrógeno se lleva a cabo en la unidad PVA, reduciendo la concentración influente de aproximadamente 60 mg/l a 30 mg/l, lo que supone un ratio de eliminación de nitrógeno de 3,75 mg/l·h (TRH = 8h).

La gran variabilidad en la concentración de amonio efluente de esta unidad indica una nitrificación insuficiente en determinadas etapas del estudio. Estos periodos de insuficiente nitrificación se han asociado con la inhibición del proceso a causa de los vertidos industriales recibidos y consignas de aireación insuficientes. El efecto de las consignas de aireación sobre el rendimiento es analizado en mayor detalle en el apartado de análisis de rendimientos.

La eliminación de fósforo en el proceso, de valores de entrada en torno a 8 mg/l a valores de salida de aprox. 3,5 mg/l sugiere que parte del fósforo total influente se elimina con el fango en exceso mediante procesos de asimilación por parte de los microorganismos del fango activo.

La Figuras 2 y 3 muestra los rendimientos globales de eliminación alcanzados por el proceso biológico.

La Figura 3 muestra la aportación de cada una de las unidades de proceso biológico al rendimiento global (unidad PVA y unidad fango activo). Puede apreciarse como gran parte de la eliminación de la contaminación es llevada a cabo por los microorganismos adheridos al biosoporte.

the removal process, with the activated sludge unit acting as a refining unit.

With respect to contamination by nitrogenous substances, ammonium concentrations of between 20 and 40 mg/l were observed, with concentrations increasing as the study progressed. The concentration of nitrates and nitrites was very low. Most nitrogen removal took place in the PVA unit, with the influent concentration of approximately 60 mg/l being reduced to 30 mg/l, which represents a nitrogen removal rate of 3.75 mg/l·h (HRT= 8h).

The great variability of ammonium concentration in the effluent from this unit is indicative of insufficient nitrification in certain stages of the study. These periods of insufficient nitrification were associated with inhibition of the process due to industrial discharges received and insufficient aeration levels. The effect of aeration levels on performance is analysed in greater detail in the efficiency analysis section.

Phosphorus removal in the process, from inflow values of around 8 mg/l to outflow values of approximately 3.5 mg/l, suggests that part of the total influent phosphorus is removed with excess sludge through the process of assimilation by microorganisms in the activated sludge.

Figures 2 and 3 show overall removal efficiencies achieved in the biological process.

Figure 3 shows the contribution of each of the units of the biological process to overall efficiency (PVA unit and activated sludge unit). It can be observed that a great percentage of contaminant removal is carried out by the microorganisms attached to the biomedia.

Influence of aeration on nitrogen removal

During the first weeks of the study a relatively low value was set for the aeration level (0.5 ppm), with a view to seeking the most economical operating conditions possible and preventing uncontrolled denitrification processes in the secondary settling tank. A low aeration level has the advantage of being able to achieve a certain degree of denitrification in the activated sludge reactor, due to anoxic periods generated during start-ups and shutdowns of the aeration system.

Initially, this aeration level gave good removal results and significant concentrations of ammonium or nitrates were

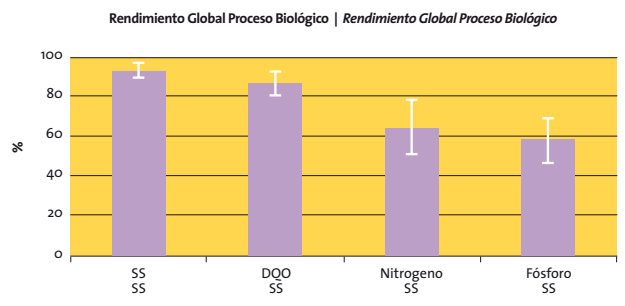


Figura 2. Rendimientos globales de eliminación
Figura 2. Rendimientos globales de eliminación

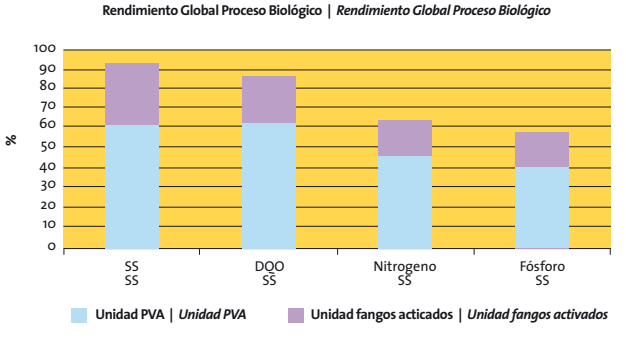


Figura 3. Aportación de cada unidad de proceso biológico al rendimiento global
Figura 3. Aportación de cada unidad de proceso biológico al rendimiento

Influencia de la aireación en la eliminación de nitrógeno

Durante las primeras semanas del estudio, se fijó un valor relativamente bajo para la consigna de aireación (0,5 ppm), con objeto de buscar las condiciones más económicas de operación posibles, así como evitar procesos de desnitrificación incontrolada en el decantador secundario. Una consigna de aireación baja tiene el beneficio de poder conseguir cierto grado de desnitrificación en el reactor 3 de fangos activados, gracias a los periodos de anoxia que se generan durante los arranques y paradas del sistema de aireación.

Esta consigna de aireación dio buenos resultados de eliminación inicialmente, no detectándose a la salida de la unidad de PVA concentraciones significativas de amonio o nitratos, y alcanzándose rendimientos de eliminación globales cercanos al 90%.

Entre la semana 4 y 6 se detecta un fuerte incremento en la concentración de amonio efluente de la unidad de PVA, así como un descenso en los rendimientos de eliminación de esta unidad. El rendimiento global de eliminación no se vio significativamente afectado, gracias a que el bajo rendimiento de la unidad PVA se vio compensado por una mayor eliminación en el reactor de fangos activos.

Este descenso en los rendimientos de eliminación de nitrógeno en la unidad PVA, se ha asociado a dos posibles factores al crecimiento de biofilm sobre el biosoporte, haciendo más difícil la difusión del oxígeno desde el licor mezcla al interior de las esferas de PVA. Esta suposición está apoyada por las observaciones visuales realizadas sobre el biosoporte, que alcanzó su máxima coloración alrededor de la semana 6-8 de tratamiento.

Adicionalmente, las observaciones al microscopio realizadas sobre el líquido ocluido en el interior de las esferas revelaron la presencia predominante de bacterias anaerobias, evidenciando la falta de oxígeno en el interior de las esferas.

Con objeto de optimizar el funcionamiento de la unidad PVA (la más interesante para los objetivos del estudio), se incrementó la consigna de oxígeno a 2 ppm. Mediante esta medida se redujo la presencia de amonio en el efluente de la unidad PVA, si bien esta continuó siendo significativa.

En la semana 20 del estudio se incrementa de nuevo la consigna de oxígeno hasta un valor de 4 ppm, con la que se observa un descenso en los valores de amonio en el efluente de la unidad PVA por debajo de los 5 mg/l (a excepción de uno de los puntos de medida), así como rendimientos de eliminación de nitrógeno ligeramente superiores.

Efecto de la aireación sobre la unidad de fangos activados

Contrariamente a la unidad PVA, el incremento en la consigna de aireación produjo un descenso en los rendimientos depurativos de la unidad de fangos activados. Adicionalmente, se produjeron fenómenos de desnitrificación incontrolada en el decantador (flotación de fango) a causa de los altos niveles de nitratos en el efluente.

Producción de fangos

Producción asociada al proceso biológico

Durante la duración del estudio, se estableció una concentración de SSLM en el reactor 3 de 5.000 mg/l,

not detected at the outlet to the PVA unit. Overall removal efficiency was in the region of 90%.

Between weeks 4 and 6, a sharp increase in the concentration of ammonium in the PVA unit effluent was detected, along with a decrease in the removal efficiency of the unit. Overall removal efficiency was not significantly affected, because the low efficiency of the PVA unit was offset by increased removal in the activated sludge reactor.

A possible reason for the decrease in the nitrogen removal efficiency of the PVA unit was related to the growth of biofilm on the biomedia, making oxygen diffusion from the mixed liquor to the inside of the PVA spheres more difficult. This theory is supported by visual observation of the biomedia, which reached its maximum level of colouration around weeks 6-8 of treatment.

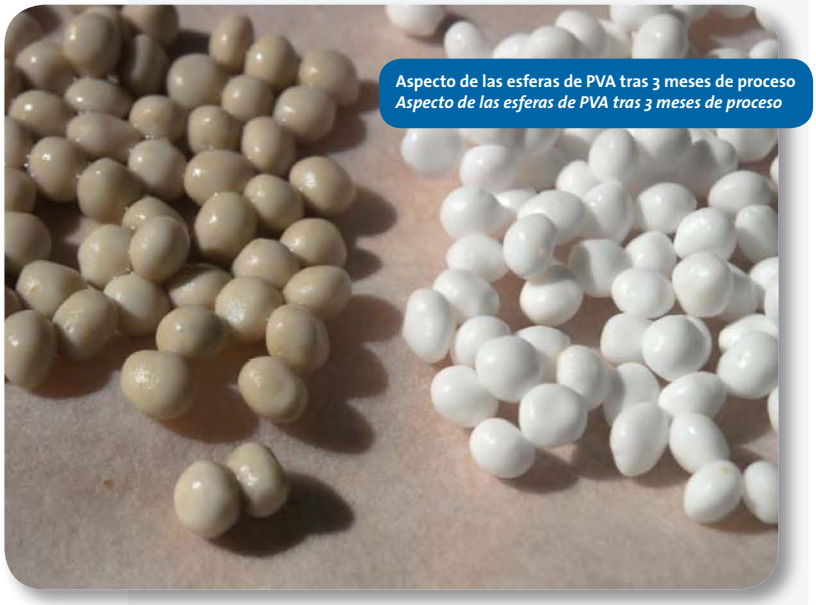
Moreover, examination under the microscope of the liquid trapped inside the spheres revealed the predominant presence of anaerobic bacteria, indicating a lack of oxygen inside the spheres.

In order to optimise the efficiency of the PVA unit (the unit of greatest interest in terms of the objectives of the study), the oxygen level was increased to 2 ppm. This resulted in a reduction of the presence of ammonium in the effluent from the PVA unit but ammonium concentrations continued to be significant.

In week 20 of the study, the oxygen level was increased again, to a value of 4 ppm and the value of ammonium concentration in the effluent from the unit was observed to decrease to below 5 mg/l (with the exception of one measurement point), while nitrogen removal values were slightly higher.

Effect of aeration On the activated sludge unit

In contrast to the case of the PVA unit, increased aeration produced a decrease in the removal efficiency of the activated sludge unit. In addition, it resulted in uncontrolled denitrification in the settling tank (sludge floatation) due to the high levels of nitrates in the effluent.



Aspecto de las esferas de PVA tras 3 meses de proceso
Aspecto de las esferas de PVA tras 3 meses de proceso

realizando las purgas necesarias desde el mismo reactor para mantener dicha concentración. Al subir las consignas de aireación se produjo la flotación de parte del fango en el decantador secundario, obligando a su retirada de forma manual.

Con las consignas más elevadas, la cantidad de fango flotado y retirado del sistema se incrementó, llegando incluso a reducirse los SSLM presentes en el reactor por debajo de la concentración de 5.000 mg/l.

Todo el fango retirado de la superficie del decantador fue contabilizado y analizado su contenido en sólidos para introducirlo en el balance total de fango producido.

Durante la duración del estudio, se purgaron del proceso biológico un total de 35,05 kg de materia seca. El ratio de producción de fango por kg de DQO eliminada por el proceso biológico fue de 0,1578 kgMS/kg DQO elim.

Producción asociada al decantador primario

Durante la duración del estudio se purgaron (incluyendo el vaciado final del decantador) un total de 32,77 kg de materia seca.

Producción global de fango

El ratio de producción de fango por kg de DQO eliminada para el proceso global de la planta piloto fue de 0,1991 kgMS/kg DQO elim. El ratio promedio para el año 2009 de la EDAR de Beniel donde estaba instalada la planta piloto fue de 0,2966 KgMS/Kg DQO elim.

El ratio de producción de fango del sistema ensayado supone por tanto una producción específica de fango un 33% inferior al de la EDAR a escala real.

Conclusiones y futuros campos de estudio

A raíz de los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Las esferas de PVA-gel constituyen un biosoporte válido en el tratamiento de aguas urbanas, siendo efectivamente colonizado por los microorganismos de los fangos activos.
- El sistema ensayado alcanza los siguientes rendimientos de eliminación, con un TRH de 16 h: SS: 93%, DQO: 87%, Nitrógeno total: 65%, Fósforo total: 58%.
- La producción específica de fangos asociada exclusivamente al proceso biológico es un 47% menor que el valor de referencia de la EDAR. La producción específica global incluyendo el decantador primario es un 33% menor al dato de referencia.
- La unidad PVA precisa de consignas de oxígeno en el rango de 2-3 ppm para alcanzar buenos rendimientos de eliminación. Mientras que el reactor de fangos activados obtiene un mejor rendimiento con consignas más bajas (0,1-1 ppm).

Los resultados obtenidos en el estudio sugieren la posibilidad de llevar a cabo nuevos estudios para investigar los siguientes aspectos:

- Posibilidad de eliminar la unidad de decantación primaria del proceso.
- Estudio de un posible proceso optimizado con control independiente de la aireación para la unidad PVA y la unidad fango activo. Esto permitiría, a priori, operar ambas unidades en las condiciones de máximo rendimiento.
- Ensayar distintos tiempos de residencia y volúmenes de reactor para mejorar la eliminación de nitrógeno hasta alcanzar los límites de vertido.

Sludge production

Production associated with the biological process

For the duration of the study, an SSLM concentration of 5,000 mg/l was set for reactor 3 and the drainage necessary to maintain this concentration was carried out. Increasing aeration levels caused floatation of part of the sludge in the secondary settling tank and this had to be manually removed. With higher aeration levels, the quantity of floating sludge removed from the system increased, even to the point where SSLM concentration in the reactor fell to below 5,000 mg/l. The entire quantity of sludge removed from the surface of the settling tank and its solid matter content was recorded for inclusion in the overall sludge production data.

During the study, a total of 35.05 kg of dry matter was removed from the biological process. The sludge production rate per kg of COD removed by the biological process was 0.1578 kgMS/kg COD removed.

Production associated with the primary settling tank

During the study a total of 32.77 kg of dry matter was removed (including the final emptying of the tank).

Overall sludge production

The sludge production rate per kg of COD removed for the overall pilot plant process was 0.1991 kgMS/kg COD removed. The average rate for the year 2009 at the Beniel WTTP, where the pilot plant was installed, was 0.2966 KgMS/Kg COD removed. The sludge production rate of the tested system therefore represents specific sludge production of 33% less than that of the real scale WWTP.

Conclusions and future fields of study

The following conclusions can be drawn from the results obtained:

- The PVA-gel spheres constitute a valid biomedia for the treatment of urban water and were effectively colonised by the microorganisms in the activated sludge.
- The tested system achieved the following removal efficiencies with a HRT of 16 h: SS: 93%, COD: 87%, total nitrogen: 65%, total phosphorus: 58%.
- Specific sludge production associated exclusively with the biological process is 47% lower that the reference value of the WWTP. Specific overall sludge production, including the primary settling tank, is 33% lower than the reference value.
- The PVA unit requires oxygen levels in the range of 2-3 ppm in order to achieve good removal efficiency, whereas the activated sludge reactor has higher efficiency with lower levels (0.1-1 ppm).

The results of the study indicate that it is of interest to carry out further studies to research the following aspects:

- The possibility of eliminating the primary settling unit from the process.
- The study of a possible optimised process with independent control of aeration for the PVA unit and the activated sludge unit. In principle, this would enable both units to be operated at maximum performance.
- The testing of different retention times and reactor volumes to improve nitrogen removal until discharge limits are achieved.