

Reconversión de un sistema de biodiscos en un sistema híbrido para la optimización de eliminación de nutrientes

Autores: Elena Campos (Departamento I+D+i, Sacyr Servicios Agua, ecampos@sacyr.com), Patricia Terrero Rodríguez (Departamento I+D+i, Sacyr Servicios Agua, pterrero@sacyr.com), Adrián Álvarez (Departamento de O+M, Sacyr Servicios Agua), Alberto Díaz Gutierrez (Departamento de O+M, Sacyr Servicios Agua, adgutierrez@sacyr.com), Juan Ignacio Tejero (Dpto. Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria), Rubén Díez (Dpto. Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria), Víctor Meredíz (Consortio de Aguas de Asturias), Jesús Miguel Fernández (Consortio de Aguas de Asturias), Jesús Casero (Consortio de Aguas de Asturias), Alberto Villa (Consortio de Aguas de Asturias), Julio Antonio Pérez (Consortio de Aguas de Asturias)

Resumen:

La tecnología de reactores de biodiscos ha sido ampliamente utilizada en los últimos años en el tratamiento de aguas residuales de pequeñas poblaciones gracias a la facilidad de control y los bajísimos consumos energéticos. Sin embargo, el sistema de biodiscos presenta un inconveniente fundamental ya que, por su configuración, no son capaces de eliminar nutrientes de forma biológica.

La eliminación de nutrientes en aguas residuales adquiere una mayor importancia cuando el vertido del agua tratada se realiza en un medio receptor sensible, como son los ríos “salmónidos”. Este es el caso de la EDAR de La Franca, que realiza su vertido al río Cabra, río “salmónido”, y que al disponer de un sistema de biodiscos convencional, le resultaba muy difícil obtener los valores establecidos en la autorización de vertido.

Con el fin de dar solución a las limitaciones de este proceso se ha realizado un estudio a escala real de reconversión del sistema de biodiscos convencional en un sistema híbrido de biopelícula y biomasa en suspensión. El proceso se completa con la reconversión del tanque de homogeneización en una cámara anaerobia seguida de una anóxica para completar la eliminación de nutrientes por vía biológica.

Tras dos años de operación y experimentación con el sistema de biodiscos híbrido se ha conseguido una mejora muy significativa de la calidad del efluente en términos de sólidos en suspensión, materia orgánica y concentración de nitrógeno, aunque debido a las condiciones operacionales no se ha podido conseguir la eliminación de fósforo por vía biológica.

Abstract:

Rotating biological contactors (RBC) technology has been widely used in recent years in the treatment of wastewater from small -medium populations due to ease of control and a very low energy consumption. However, the RBC technology presents a fundamental disadvantage since, due to its configuration, RBC technology is not able for efficient biological removal of nutrients.

Nutrient removal in wastewater becomes more important when the discharge of treated water is done in a sensitive receiving environment, such as salmonid rivers. This is the case of the WWTP of La Franca, which is discharging into the river Cabra, salmonid river, and with the conventional RBC technology it was very difficult to obtain the values set in the discharge permit

In order to solve the limitations of this process it has performed a full scale conversion of conventional RBC system in a hybrid system combining RBC biofilm and suspended biomass. The process is completed by conversion of the homogenizing tank in an anaerobic chamber followed by an anoxic to complete nutrient removal by biological means.

After two years of operation and testing hybrid system biodiscs it has achieved a very significant improvement in effluent quality in terms of suspended solids, organic matter and nitrogen concentration, but due to operational conditions could not get biological removal of phosphorus.

1 INTRODUCCIÓN

La eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en las aguas residuales es necesaria para evitar la eutrofización de los medios receptores. La eutrofización del medio puede alterar el ecosistema y producir una disminución de la biodiversidad por ocupación de nichos por parte de especies oportunistas. La concentración máxima de nitrógeno y fósforo en el vertido depende de las características del medio receptor y son especialmente importantes cuando el medio receptor es sensible a la contaminación.

El proceso de eliminación de nitrógeno requiere el concurso de dos tipos diferentes de microorganismos, unos autótrofos y aerobios estrictos, que degradan el amonio y lo convierten primero en nitrito y a continuación en nitrato y otros organismos heterótrofos y anóxicos (en ausencia de oxígeno), que realizan el proceso de desnitrificación, es decir, convierten el nitrato en nitrógeno gas, consumiendo materia orgánica. En los procesos de fangos activados la desnitrificación se consigue realizando una recirculación interna del fango activo hacia la cabecera del reactor, conduciendo los nitratos generados en la zona aerobia del reactor hacia la zona de mayor concentración de materia orgánica aportada por el agua bruta.

El proceso nitrificación-desnitrificación en fangos activos es muy eficiente pero presenta un alto consumo de energía debido a las necesidades de aireación para la nitrificación, además de un alto grado de tecnificación del control.

Todo ello hace que en pequeñas poblaciones se opte por sistemas más sencillos, de más fácil control y menor consumo energético, como por ejemplo la tecnología de biodiscos, de gran sencillez y mínimo consumo energético. La tecnología de biodiscos, por tratarse de biomasa en forma de biopelícula, presenta además ventajas operativas, como mayor adaptación a cambios, resistencia a tóxicos y menos problemas de crecimiento de microorganismos oportunistas como las bacterias filamentosas que provocan graves problemas operacionales y de calidad de agua tratada.

La tecnología de biodiscos puede conseguir buenas eliminaciones de materia orgánica, pero los resultados en eliminación de nitrógeno suelen ser mucho más discretos, siendo prácticamente sólo los asociados a la asimilación de nitrógeno por el crecimiento de microorganismos, siendo insuficientes para cumplir con los objetivos de calidad que marca la Directiva 91/271/CEE para vertido a zonas sensibles (incluso para municipios de menos de 100.000 habitantes equivalentes).

Con el fin de dar solución a las limitaciones actuales de la tecnología de biodiscos se ha desarrollado una nueva tecnología de biodiscos híbrida para favorecer la eliminación biológica de nutrientes. La tecnología se ha validado a escala real, seleccionando como caso de estudio la EDAR de La Franca (instalación gestionada por el Consorcio de Aguas de Asturias), en la cornisa cantábrica, que cuenta con tecnología de biodiscos y que tiene una problemática singular, con mucha diferencia de carga entre la temporada alta (verano y períodos estivales) y el período húmedo/invernal. Los datos históricos de la planta mostraban una calidad de vertido irregular, y muy dependiente de la carga y, en general, cuando la carga era alta (meses de verano y períodos vacacionales) los niveles de nitrógeno y fósforo en el vertido eran altos.

La modificación de un sistemas de biodiscos incluyendo un reactor previo anaerobio-anóxico y un sistema de recirculación convierte el sistema de biodiscos convencional en un sistema híbrido que combina tecnología de biopelícula y biomasa suspendida en un único reactor, y puede ser una buena alternativa para conseguir una adecuada eliminación biológica de nutrientes. La recirculación de fangos desde el decantador secundario hasta el reactor de biodiscos permite la operación híbrida de los biodiscos y ésta ha sido estudiada en la bibliografía tanto a escala piloto como a escala industrial ([1], [2]). Los resultados demostraron una mayor capacidad de eliminación y mejora de calidad del efluente. Sin embargo, el tratamiento biológico para eliminación de nutrientes incluyendo además de los reactores híbridos reactores anaerobios y anóxicos solo se han encontrado en la literatura a escala laboratorio ([3], [4]).

El objetivo del presente estudio es demostrar la viabilidad de la tecnología híbrida de biodiscos con reactor anaerobio-anóxico previo para la eliminación de nutrientes en plantas de tratamiento de aguas residuales de pequeño y mediano tamaño. Para ello se han realizado distintas modificaciones en la EDAR de La Franca para validar la tecnología híbrida a escala industrial. Además, se ha realizado el seguimiento de los datos de operación y control de la planta durante más de dos años de operación probando diversas configuraciones.

2 METODOLOGÍA

La EDAR de La Franca está localizada en Asturias con una población equivalente de 5000, un sistema de colectores no separativo y un caudal medio de 3744 m³/h. El caudal y la composición del agua sufren grandes fluctuaciones estacionales debido a los episodios de lluvias y los cambios en la población real servida.

El diseño original de la EDAR consistía en un pretratamiento compacto (tamizado, desarenado y desengrasado) seguido de un tanque de homogeneización/regulación. El tratamiento biológico consistía en dos biodiscos para eliminación de carbono y nitrificación y dos decantadores lamelares.



Figura 1. Vista aérea de la EDAR de La Franca.

2.1 Conversión del tanque de homogeneización en un reactor biológico anaerobio-anóxico

La modificación ha consistido en recircular el fango de decantación secundaria al tanque de homogeneización, que tiene un volumen de 126 m³, convirtiendo así el tanque de homogeneización en un reactor anaerobio/anóxico en función de las condiciones. El tanque de homogeneización se ha dividido en dos cámaras comunicadas para poder diferenciar las zonas anaerobia y anóxica mediante la construcción de un tabique interno. La recirculación interna puede ser conducida tanto a la primera cámara, con lo que la configuración sería cámara anóxica-biodiscos, o la segunda cámara, quedando así la configuración A2O con cámara anaerobia-anóxica-biodiscos. Fue necesario disponer de un agitador de mayor potencia que el existente en el tanque de homogeneización en la cámara anóxica (92.4 m³), mientras que el existente se utilizó para agitar la zona anaerobia (33.6 m³), debido a que el mayor requerimiento por aumento del contenido en SS.

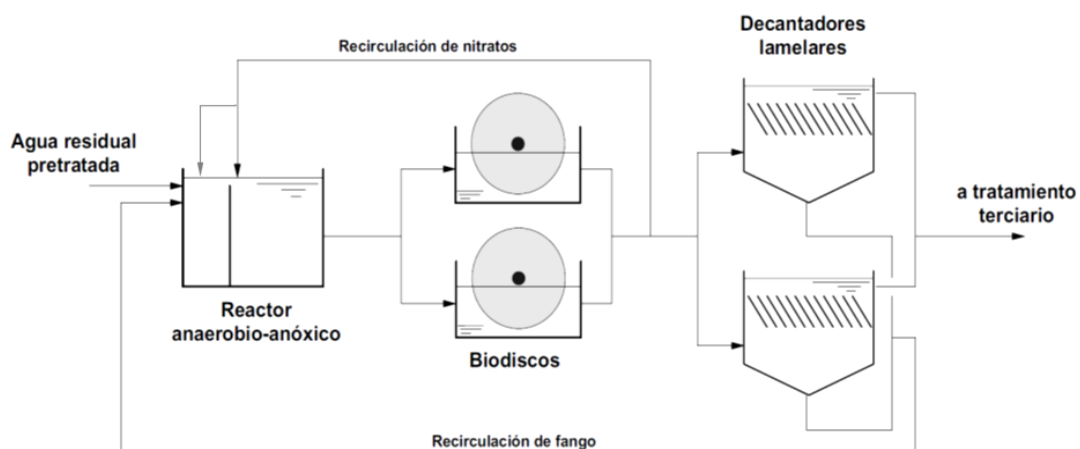


Figura 2. Diagrama de flujo del proceso biológico de la modificación de la EDAR de La Franca para eliminación biológica de nitrógeno y fósforo

Las modificaciones se resumen en:

- Instalación de un agitador adicional en el tanque de homogeneización.
- Instalación de bombas y conducción para recirculación del fango decantado a tanque de homogeneización.
- Instalación de tabique de separación entre cámaras anaerobia y anóxica.
- Instalación de aireación en la zona de biodiscos para cubrir picos de demanda de oxigenación

2.2 Monitorización de la operación de la EDAR

Se ha realizado una completa monitorización de la EDAR que incluye analíticas varias veces por semana de los principales parámetros (Conductividad, Sólidos en suspensión, DBO₅, DQO, N-NH₄⁺, N-NO₃⁻, N-NO₂⁻, NT, NTK, PT, P-PO₄³⁻, pH, Temperatura, Oxígeno disuelto) tanto del agua bruta como del agua tratada. Adicionalmente se ha realizado un seguimiento exhaustivo de la recirculación externa e interna, en la zona anóxica y anaerobia (oxígeno disuelto, temperatura, sólidos en suspensión totales y volátiles, nitrato, nitrito...) que han permitido disponer de información de todas las variables y parámetros principales. Los análisis de DQO, Nitrógeno y Fósforo se han realizado utilizando kits de Dr. Lange basados en espectrofotometría. Las medidas de DBO₅, SST, SSV, pH, etc. se han realizado de acuerdo a los métodos estándar [5].

2.3 Caracterización física del fango

Para evaluar las características de sedimentabilidad del fango se han realizado ensayos discontinuos in situ para obtener (i) el índice volumétrico de fangos (SVI), (ii) la curva de sedimentación y la velocidad de sedimentación frenada (Vhs) y (iii) la relación entre la velocidad de sedimentación frenada y la concentración de sólidos suspendidos del fango.

3 RESULTADOS

3.1 Calidad del agua tratada

A continuación se muestra la evolución de los principales parámetros de operación a lo largo de todo el periodo de experimentación.

Como puede observarse en la Figura 2, el caudal de entrada a tratamiento biológico sufre importantes variaciones a lo largo del año, marcado por fuertes lluvias durante el periodo invernal y por la estacionalidad de la población.

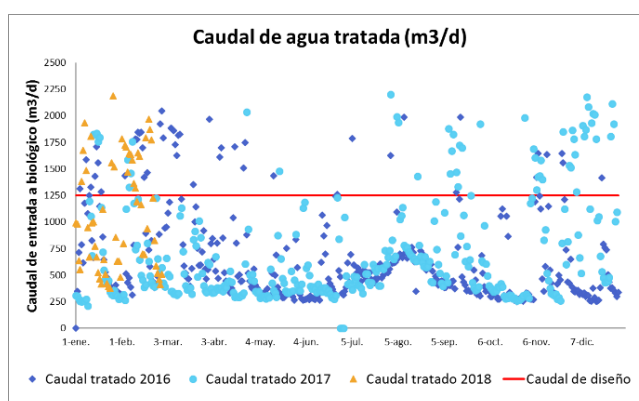


Figura 3. Evolución del caudal de entrada a tratamiento biológico durante el periodo de estudio (nov.2016-feb.2018)

En cuanto a la calidad del efluente obtenido, puede observarse en la Figura 3 cómo la implantación del nuevo proceso ha producido una clara mejora en la calidad del efluente con respecto al mismo periodo del año anterior, tanto en términos de DBO₅ como N-T.

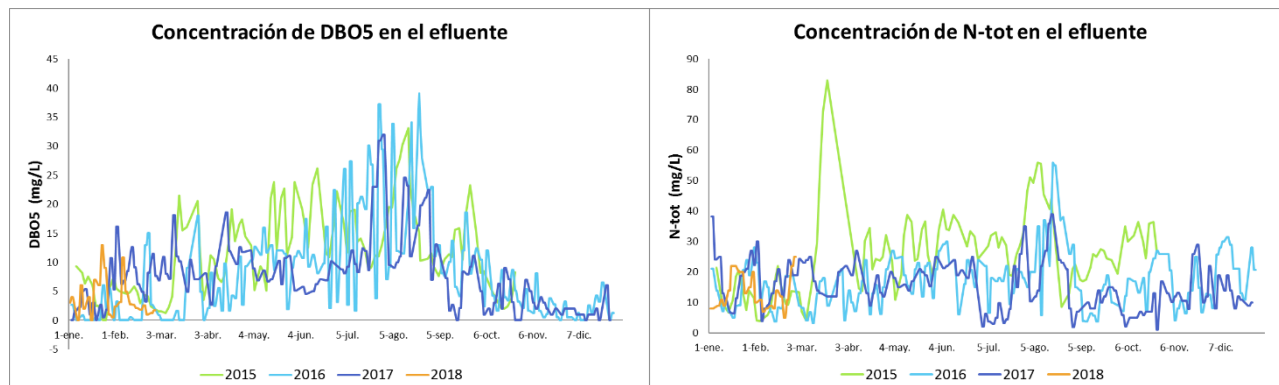


Figura 4. Evolución de la DBO₅ y del NT en el efluente durante los 3 años de estudio (nov.2016-feb.2018)

3.2 Estudio de los parámetros de operación en diferentes condiciones

A lo largo de todo el periodo de experimentación se han producido diferentes condiciones debidas principalmente a la oxigenación del tanque anaerobio-anóxico y a la estacionalidad de las características del agua residual afluente. Por ello se han analizado los resultados de operación y el comportamiento de la EDAR según los distintos periodos, los cuales se detallan a continuación:

- Periodo I (1 noviembre 2015 – 30 junio de 2016): periodo invernal, caracterizado por presentar una alta concentración de oxígeno disuelto en las cámaras anaerobia y anóxica.
- Periodo II (1 julio 2016 – 14 agosto 2016): durante el mantenimiento del bioreactor se produjo una pérdida importante de fango activo que redujo significativamente la concentración de biomasa en el tanque anaerobio-anóxico hasta valores muy bajos. Este periodo representa una época de arranque, recuperación y crecimiento de la biomasa en suspensión.
- Periodo III (15 agosto 2016 – 31 agosto de 2016): periodo de sobrecarga orgánica
- Periodo IV (1 septiembre 2016 – 30 septiembre 2016): periodo que representa una etapa de funcionamiento estable de la planta

Para evaluar el funcionamiento de la EDAR se han analizado las cargas específicas aplicadas y eliminadas. Con el fin de evaluar la eliminación de materia orgánica se ha utilizado como parámetro representativo la DBO₅. Por otro lado, la eliminación biológica de nutrientes se ha comparado en base a los resultados de eliminación de NH₄⁺ y NO₃⁻ en el caso del nitrógeno y de eliminación de PO₄³⁻ en caso del fósforo. En la Figura 5 se recogen los resultados correspondientes a la eliminación de NH₄⁺ en cada uno de los periodos estudiados. En el eje de abscisas se muestra la carga aplicada al proceso y en el eje de ordenadas la carga eliminada por el mismo, de forma que la bisectriz representa un rendimiento de eliminación del 100%.

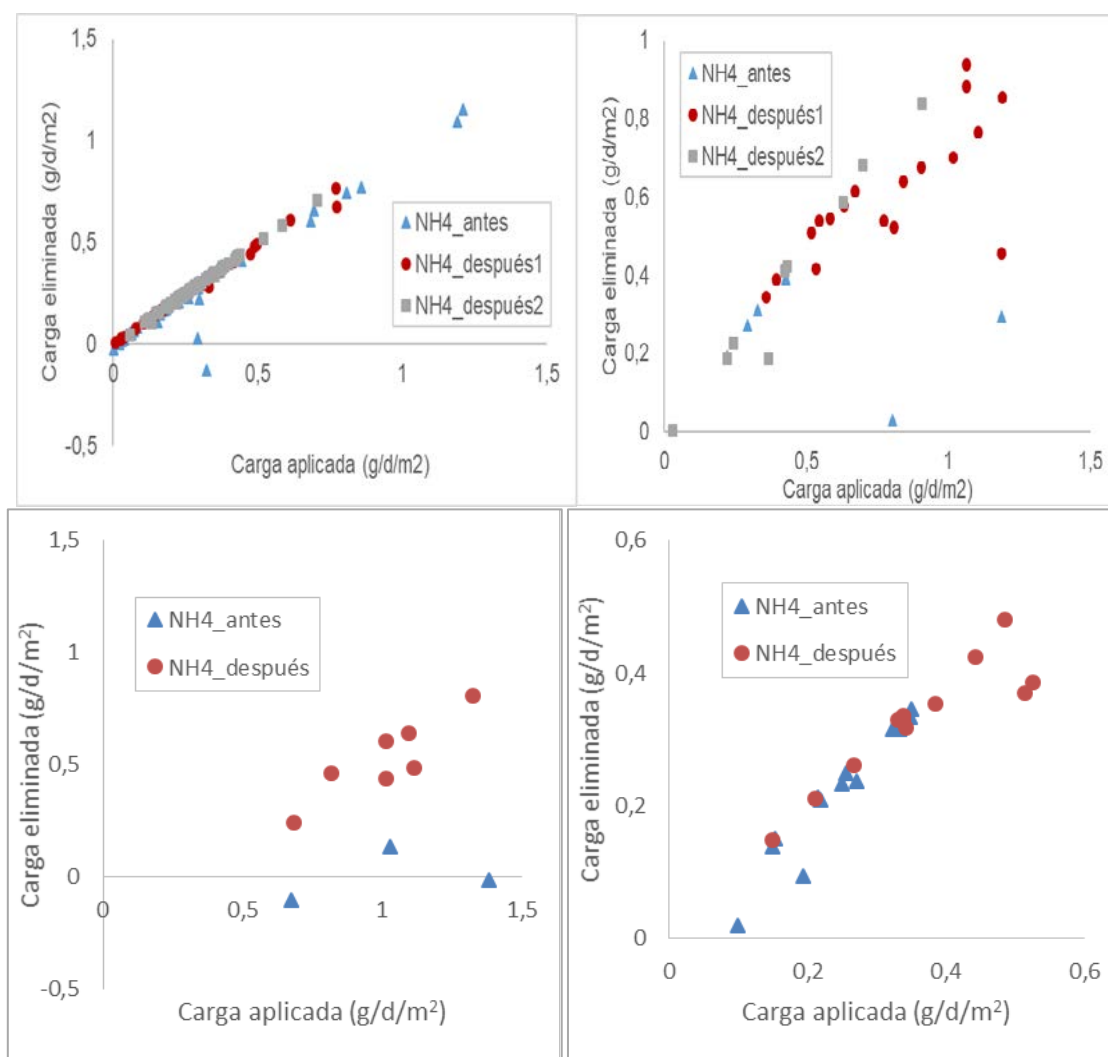


Figura 5. Carga específica de $N-NH_4^+$ aplicada y eliminada en cada periodo de estudio.

Tal como se puede apreciar en la Figura 5, durante el periodo I de la EDAR modificada los rendimientos de eliminación varían significativamente con respecto al año anterior (previo a la modificación del tanque). Esto se debe a que durante este periodo no existían condiciones anaerobias-anóxicas en el tanque y, por tanto, no se estaban llevando a cabo los procesos de eliminación biológica de fósforo y desnitrificación. Sin embargo, durante el periodo II y el periodo III se observa una mejora de la nitrificación con respecto al mismo periodo del año anterior, obteniendo unos valores mucho más estables.

El periodo III, por su parte, se caracteriza por presentar una sobrecarga orgánica y de nitrógeno amoniacal, alcanzando valores de $1,14 \text{ kg/m}^3\cdot\text{d}$ y $1,32 \text{ g/m}^2\cdot\text{d}$ respectivamente, comparado con los $0,22 \text{ kg/m}^3\cdot\text{d}$ y $0,25 \text{ g/m}^2\cdot\text{d}$ respectivamente, de promedio durante el periodo I. En estas condiciones las cargas de diseño de reactores de biodiscos para eliminación de materia orgánica y nitrificación recomendadas por la norma ATV 281E [6], se han visto claramente superadas aunque, comparando con los resultados del mismo periodo del año anterior se puede observar que ante cargas aplicadas similares, tanto el rendimiento de eliminación de materia orgánica como el de nitrificación es significativamente mejor tras la modificación de la EDAR.

Durante el periodo IV se han recibido cargas significativamente superiores a las obtenidas en el mismo periodo del año anterior a la modificación. Sin embargo, los rendimientos de eliminación de materia orgánica y nitrógeno amoniacal se han mantenido estables, con valores similares a los obtenidos antes de la modificación.

3.3 Caracterización física del fango

Los decantadores lamelares fueron diseñados inicialmente para un proceso de biopelícula puro, mientras que la conversión en un proceso integrado con reactores de biodiscos híbridos incrementará la carga de sólidos en los decantadores. Los procesos híbridos han sido señalados por una gran capacidad de floculación de los sólidos en suspensión, mejorando la sedimentabilidad comparado con un proceso biopelícula puro o un proceso de fangos activos. Para comprobar esta hipótesis en el presente caso de estudio y evaluar el funcionamiento de los decantadores lamelares tras la modificación de la EDAR, se ha comparado el rendimiento de eliminación de sólidos antes y después de la misma, tal como puede observarse en la Figura 6.

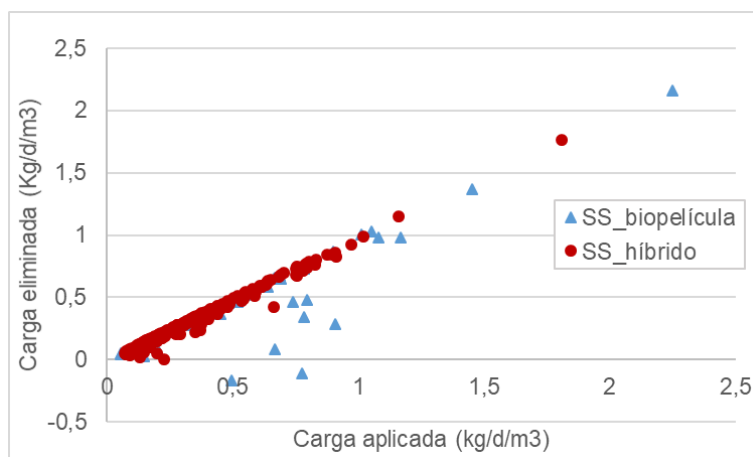


Figura 6. Carga específica de sólidos en suspensión aplicada vs eliminada.

En la Figura 6 se puede observar que el rendimiento del proceso se ha mantenido tras haber sido convertido en híbrido, incluso se ha mantenido más estable que durante el año anterior a la modificación de la EDAR, en el que los decantadores trataban el efluente de un proceso de biopelícula puro.

Además, se ha comparado el SVI del fango antes y después de realizar la modificación para los distintos periodos definidos (I, II, III y IV) y se ha observado que el valor del mismo en función de la concentración de sólidos suspendidos volátiles es similar a lo largo de todos los periodos. Por esto se ha decidido representar únicamente el correspondiente al Periodo IV en la Figura 7. Como se puede observar, el valor del SVI aumenta a medida que aumenta la concentración de SSV del fango pero se mantiene en valores en torno a 150 mL/g, lo que denota una buena sedimentabilidad del fango.

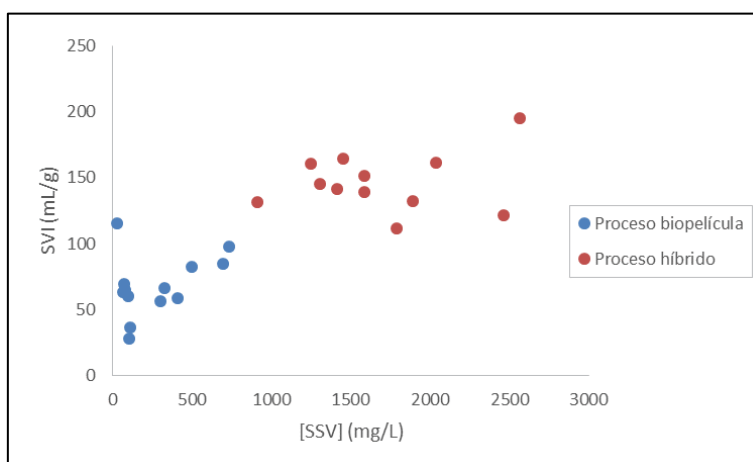


Figura 7. Índice Volumétrico de Fangos respecto de la concentración de sólidos suspendidos volátiles

4 CONCLUSIONES

La reconversión de la EDAR de La Franca como un proceso integrado con reactores de biodiscos ha permitido mejorar significativamente la calidad del efluente en todos los parámetros analizados (SS, DBO₅, DQO, NH₄⁺, NO₃⁻, NTK, NT y PT) en comparación con los resultados anteriores a la modificación.

Se ha podido determinar que la superficie de biodiscos de la EDAR está infradimensionada para llevar a cabo eliminación de materia orgánica y nitrificación. Sin embargo, el funcionamiento de la EDAR en condiciones de sobrecarga ha resultado significativamente mejor tras la modificación con el proceso integrado que con el proceso de biopelícula original. Tanto la eliminación de materia orgánica como de nitrógeno amoniacal se han mantenido más estables que en situaciones anteriores, incluso recibiendo mayores cargas.

5 AGRADECIMIENTOS

Al Consorcio de Aguas de Asturias, a los trabajadores de la EDAR la Franca y al Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial del Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, que cofinancia el proyecto IDI 2015-1252.

6 REFERENCIAS

- [1] Neu, K.E. , «Achievement of biological nutrient removal in a full-scale Rotating Biological Contactor Wastewater Treatment Plant,» *Water Science & Technology*, vol. 26, nº 9-11, pp. 2217-2220, 1992.
- [2] Neu, K.E., «Upgrading of Rotating Biological Contactor (RBC) systems to achieve higher effluent quality, including biological nutrient enrichment and reduction techniques.,» *Water Science & Technology*, nº 12, pp. 197-206, 1994.
- [3] Pai, T., Chuang, S., Tsai, Y., Ouyang, C., «Modeling a Combined Anaerobic/Anoxic Oxide and Rotating Biological Contactors Process under Dissolved Oxygen Variation by Using an Activated Sludge-Biofilm Hybrid Model.,» *Journal of Environmental Engineering*, vol. 120, nº 12, pp. 1433-1441, 2004.
- [4] You, S.J., Ouyang, C. , «Simultaneous Wastewater Nutrient Removal by a Novel Hybrid Bioprocess,» *Journal of Environmental Engineering*, vol. 131, nº 6, pp. 883-891, 2005.
- [5] APHA. , Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed, Washington (DC):: American Water Works Association & Water Environment Federation, 2005.
- [6] DWA German Association for Water, Wastewater and Waste., Standard ATV-DVWK-A 281E: Dimensioning of Trickling Filters and Rotating Biological Contactors..