

OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA BASADAS EN SONDAS DE BAJO COSTE EN PROCESOS DE PEQUEÑO TAMAÑO.

Raúl Guzmán Caballero¹, Álvaro Sánchez Rodríguez², Diego Alejandro Bermúdez Salzar³
¹ Director técnico de Ambling ingeniería y servicios, s.l. Carretera de Cáceres, 14, 10600 Plasencia. ¹ Profesor asociado del Departamento de Construcción, Universidad de Extremadura, Escuela Politécnica, Cáceres. ² Gerente Ambling ingeniería y servicios, s.l. Carretera de Cáceres, 14, 10600 Plasencia. ³ Responsable I+D+i Ambling ingeniería y servicios

Email: [1rguzman@unex.es](mailto:rguzman@unex.es) ; [1rguzman@ambling.es](mailto:rguzman@ambling.es) ; [2asanchez@ambling.es](mailto:asanchez@ambling.es) ;
[2abermudez@ambling.es](mailto:abermudez@ambling.es)

Resumen. El diseño de pequeñas EDAR se ha realizado, tradicionalmente, trasladando una tecnología implantada y contrastada en medianas-grandes instalaciones a pequeñas poblaciones disminuyendo únicamente la escala de implantación respetando los criterios de dimensionamiento así como los parámetros operacionales. Pero esta situación no es asumible porque (1) las hipótesis iniciales en sistemas de tratamiento no son escalables a pequeñas instalaciones. (2) La economía de escala es muy acusada y la repercusión del coste energético es muy diferente y (3) la dotación y presencia de personal especialista disminuye notablemente con el tamaño de la población. Por lo que, en la práctica, el control efectivo del proceso es más complejo y su repercusión económica mayor en pequeños municipios. La aplicación de tecnología basada en fangos activos mayoritariamente ha supuesto, por un lado, un control del proceso dificultoso y por otro, la demostración de que estas tecnologías implican ratios energéticos elevados. Como consecuencia se inicia un estudio a escala real del funcionamiento de las instalaciones existentes en pequeños municipios al objeto de abordar y analizar la posibilidad de implantar, tecnologías de control basadas en sondas de bajo coste y que éstas repercutan en una optimización de los costes reales de explotación.

Abstract. The design of small waste water treatment plants has been traditionally done incorporating trusted technologies used in medium and big installations for small populations by reducing only the scale and respecting the sizing criteria and operational parameters. But this situation is unsustainable for the following reasons: 1. The initial hypothesis in the treatment systems are not scalable for small installations. 2. The economy of scale is very pronounced and the effect of the energy cost is very different. 3. The amount of qualified personnel allocated to the plants decreases notably with the size of the population where these are implanted. Thus, in practice, the effective control of the process is more complex and its economic impact is bigger in small populations. The application of technology based on active sludge has majorly involved, on one hand, better control of a perilous process, and on the other hand, it use has proved that these technologies imply high energy ratios. As a result, a real-scale study of the functioning of the existing installations in small towns is being initiated in order to address and analyze the possibility to implant control technologies based on low cost sounding lines and that those have repercussions on the optimization of the real running costs.

1 Introducción.

La presencia de Ambling ingeniería y servicios en el servicio de mantenimiento y explotación de numerosas depuradoras nos ha llevado a ponderar la optimización del funcionamiento de las instalaciones existentes en pequeñas poblaciones. Diseñadas inicialmente para eliminar nutrientes sin embargo los requerimientos legales, en la práctica, están muy alejados de la necesaria eliminación de nitrógeno y fósforo. Se ha planteado como solución plantear, a escala real, modos de funcionamiento optimizados desde el punto de vista energético, con sistemas de control basados en sondas de bajo coste y con la mínima presencia de personal especialista en las instalaciones. El presente estudio forma parte de una línea de investigación activa, en el que la explotación de las instalaciones de pequeño tamaño se plantea desde distintos puntos de vista: el estudio experimental a escala de laboratorio y escala piloto, de forma que pueda llevarse a cabo una modelación de los procesos biológicos y físico-químicos implicados y desarrollar, de esta forma, un sistema de control que

permita optimizar el funcionamiento de la EDAR, maximizando los rendimientos, y minimizando el consumo energético. Todo ello a través de un sistema de telecontrol que permita, al jefe de explotación, verificar el correcto funcionamiento de la instalación desde un centro de control remoto. En el presente trabajo se verifican las condiciones de operación llevadas a cabo y las comprobaciones preliminares en instalaciones a escala real.

En todos los casos analizados se ha demostrado que, aunque diseñadas para un funcionamiento diferente, la operación de las pequeñas estaciones depuradoras de aguas residuales se significan más con sistemas de nitrificación-desnitrificación simultánea (SND) que sistemas alternativos. Se han comprobado, a escala real y en todas las instalaciones, las dos alternativas de funcionamiento posibles: Por un lado nitrificación desnitrificación simultánea en un mismo tanque, pero en ciclos diferentes, esto es, haciendo uso de alternancia de ciclos aerobios-anóxicos, con nitrificación precedida de desnitrificación. Y por otro lado la nitrificación-desnitrificación simultánea en tiempo y lugar, conseguida mediante el mantenimiento de una concentración de oxígeno relativamente baja, normalmente inferior a 0.80 mg/l y tiempos de retención celular elevados que permitan flóculos de gran tamaño en lo se crea un gradiente en la concentración de oxígeno desde la superficie del mismo al núcleo anóxico, anaerobio, donde tiene lugar la desnitrificación. (Lackner et al, 2014) Es posible que en este tipo de procesos se realice un seguimiento mediante el análisis de puntos característicos (Morenilla et al, 2011) basados en el control del pH, potencial red-ox y concentración de oxígeno disuelto.

2 Materiales y métodos.

En el presente análisis se ponen de manifiesto los resultados obtenidos durante el seguimiento realizado a varias estaciones de tratamiento de aguas residuales de la comarca agraria de la Vera, comarca del norte de la provincia de Cáceres, todas ellas explotadas por Ambling ingeniería y servicios.

2.1 Instalaciones analizadas.

Se analizan los resultados obtenidos en varias plantas durante diferentes épocas del año. En el presente informe, se analizan los resultados obtenidos en las estaciones de tratamiento de aguas residuales de Villanueva de la Vera, Cuacos de Yuste, Tejeda de Tiétar y Torremenga, con diseños similares aunque con matices derivados de los diferentes tamaños de las instalaciones así como en el sistema de aireación empleados. El análisis se ha pormenorizado en las estaciones de tratamiento de Villanueva de la Vera y Tejeda de Tiétar, dos tipologías de EDAR similares aunque con los matices necesarios para evaluar la idoneidad del sistema propuesto (aireación con rotores de superficie y aireación con difusores). En todas las plantas existen sensores con medición y registro continuo, adecuadamente mantenidos y calibrados periódicamente de pH, red-ox, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto, comúnmente denominados de bajo coste. Según (Martín de la Vega P. et al, 2011b) y (Martín de la Vega P. et al, 2011a) y según es posible llevar a cabo un control del proceso con sondas denominadas de bajo coste: pH, red-ox y oxígeno disuelto analizando las curvas de tendencia.

2.2 Toma de datos y analítica complementaria.

Durante todo el proceso de estudio se ha realizado una toma de datos en continuo desde las sondas disponibles en las diferentes instalaciones: pH, Conductividad, Oxígeno disuelto, red-ox, caudalímetros de agua y aire. Los valores registrados por estas sondas se han trasladado a un ordenador donde se almacenan en ficheros de texto. Para la ejecución del presente trabajo se han realizado toma de datos de sondas con medición en continuo, descritas en apartados posteriores, y se han ejecutado análisis puntuales de seguimiento y caracterización del agua

3 Resultados y discusión.

3.1 Justificación de la aplicabilidad del modelo.

Se han analizado detenidamente los parámetros que, a priori, podrían afectar al funcionamiento normal del sistema de tratamiento y que podrían alterar las condiciones de funcionamiento previstas en el proceso de nitrificación-desnitrificación, extrayendo las siguientes conclusiones:

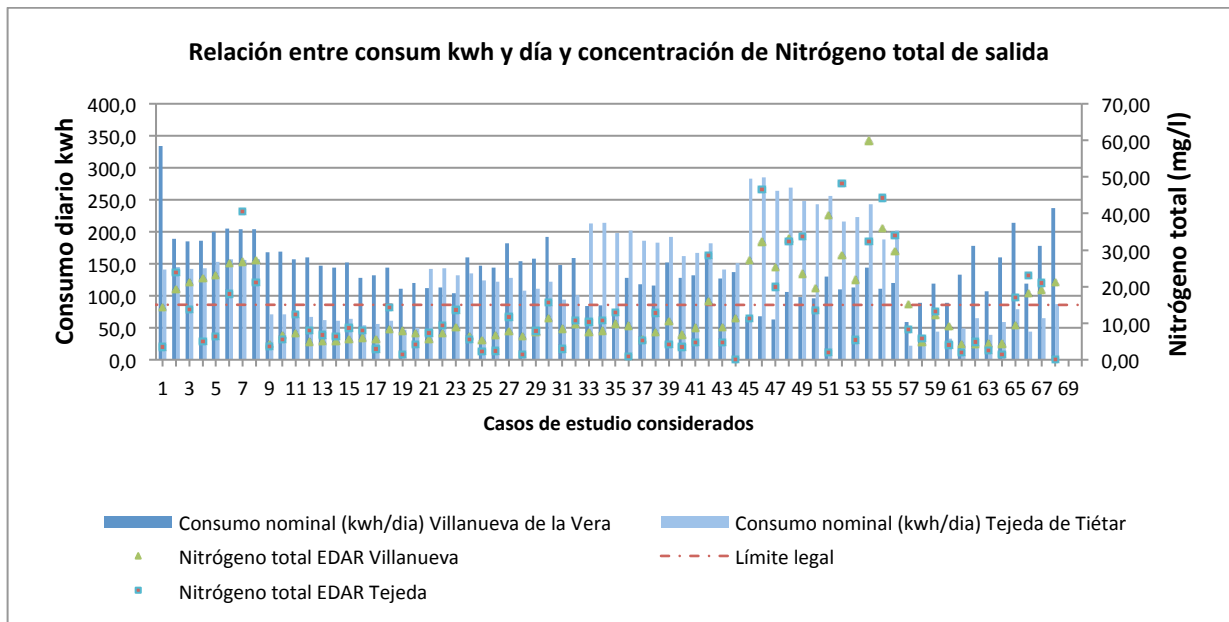
1. El amonio no será un factor limitante en el proceso, con valores muy superiores a los mínimos recomendados para el crecimiento de las bacterias.
2. La capacidad de aireación del sistema es suficiente para las demandas de oxígeno previstas.
3. El sistema no opera según la configuración carrusel, con zonas simultáneas y diferenciadas aerobias y anóxicas. El funcionamiento del reactor biológico es más parecido al sistema mezcla total.
4. La temperatura del agua registrada durante todo el año permite completar el ciclo de tratamiento (nitrificación-desnitrificación) de forma correcta.
5. **El valor de pH es, siempre, superior al mínimo recomendado (6,5)** para que el proceso de nitrificación-desnitrificación se desarrolle adecuadamente pero se observan valores inferiores al valor óptimo, que se sitúa entre 7,6-8,0.
6. **La alcalinidad disponible siempre supera la requerida por el proceso.**
7. La edad del fango con la que se puede operar supera, en todos los casos, a los valores mínimos recomendados para realizar la nitrificación y desnitrificación.
8. **La relación DQO/Nt supera los umbrales mínimos absolutos, 3,4** y se sitúa en general, por encima de los valores recomendados: $DQO/Nt > 5$.
9. No se tiene constancia de la existencia de inhibidores al proceso en ninguna de las instalaciones.

Por todo ello cabe realizar el análisis pormenorizado de los registros de oxígeno y potencial red-ox en comparación a los diferentes componentes del nitrógeno detectados.

3.2 Aplicación del método y resultados.

En el presente estudio se ha tratado de analizar el comportamiento de dos reactores diseñados inicialmente como de tipo "carrusel" que en la realidad lo hacen como mezcla completa, establecer pautas de oxigenación y prever la posibilidad de ejecutar análisis de lógica difusa que permitan diseñar un sistema de control predictivo automático. Durante un período de aproximadamente tres meses se han operado en las estaciones de tratamiento de agua residual de Tejeda de Tiétar y Villanueva de la Vera en las condiciones expuestas a continuación. En Tejeda de Tiétar existen dos líneas en paralelo operativas, por lo que ha sido posible introducir consignas diferentes en ambas líneas de tratamiento para observar las diferencias en el proceso biológico. En Villanueva de la Vera se opera con una única línea de tratamiento biológico, dado que las cargas de entrada son inferiores a las previstas para la instalación proyectada. Se han aplicado diferentes sistemas de control. Con los datos recabados, se han representado en la figura 1 los datos obtenidos para cada caso de estudio:

Figura 1 Relación modo de funcionamiento-consumo en kwh-día en las dos instalaciones analizadas.



Existiendo determinadas formas de operar que garantizan el cumplimiento de los requisitos de vertido. En los casos estudiados los sistemas que alternan ciclos alternados de aireación y tiempos de parada de 60 minutos, son los que menos energía requieren (casos 57 y siguientes) y cumplen las expectativas de vertido.

4 Conclusiones.

Las conclusiones más significativas en relación al ciclo del nitrógeno, en EDAR destinadas a pequeñas poblaciones son las siguientes.

1. Se ha observado que, en general, el proceso dimensionado para pequeñas estaciones depuradoras de aguas residuales opera en régimen de mezcla completa, sin que existan gradientes de oxígeno que confirmen el funcionamiento tipo "carrusel" concebido inicialmente. El funcionamiento global de los procesos implantados en pequeñas depuradoras es asimilable al denominado SND, pudiendo analizar el comportamiento de éste por el método de ciclos alternados.
2. Analizados los factores limitantes del proceso se puede concluir que este se puede desarrollar sin que ninguno de los condicionantes del mismo sea un factor limitante.
3. La influencia de los tiempos de oxigenación tiempos de parada son fundamentales para el correcto funcionamiento del proceso, pudiendo adaptar sistemas basados en lógica difusa para optimizar éstos.

5 Bibliografía.

- Lackner, S., Gilbert, E. M., Vlaeminck, S. E., Joss, A., Horn, H., & van Loosdrecht, M. C. (2014). Full-scale partial nitrification/anammox experiences. *Water reserarch*, 55, 292-303.
- Martín de la Vega, P., Martínez de Salazar, E., Jaramillo, M., & Fernández, J. (2011b). High efficiency in nitrogen removal and energy saving by small WWTPS upgrade from extended to alternated aeration proecess. *3rd International Congress SmallWat*. Sevilla.
- Martín de la Vega, P., Martínez de Salazar, E., Jaramillo, M., & Fernández, J. (2011a). Development of simultaneous nitrification denitrification process via nitrite in a full-scale municipal WWTP. *3rd International Congress SmallWat*. Sevilla.
- Morenilla, J., Bernacer, L., Lloret, R., Zorrilla, F., Fajardo, V., Viana, J., y otros. (2011). Establecimiento de pautas de eliminación de nitrógeno en una E.D.A.R. con tratamiento biológico de doble etapa. *Tecnología del Agua.*, 20-29.