



Universitat Jaume I

Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals

Grau en Enginyeria Química

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Trabajo Fin de Grado

Autor/a

Dubán Estiben González Ramírez

Tutor/a

Javier Climent Agustina

Castellón, Noviembre de 2020

AGRADECIMIENTOS

En estas líneas quiero reflejar mi eterno agradecimiento a todas aquellas personas, que de manera directa o indirecta se han involucrado y me han ayudado a que sea posible la presentación de mi TFG.

Quisiera empezar agradeciendo a mi tutor Javier Climent Agustina, por su buen trato y la atención dedicada siempre, de forma especial, por dedicarme tiempo que sé que muchas veces no tiene, el apoyo, críticas constructivas y supervisión en todo momento.

Agradezco en estas líneas la disponibilidad y los consejos de Rubén García Tirado, en especial por la ayuda en los análisis del Raceway y el tiempo compartido en el laboratorio. Me voy con muy buen recuerdo de mi estancia en la depuradora de Castellón y en la depuradora mancomunada de Villareal.

A mi hermana, a mis padres, por toda su paciencia, comprensión y apoyo incondicional.

Y por último, un agradecimiento muy especial a Anastasiia, agradecer todo lo que ha hecho por mí, pues es una persona que ha ganado el estar en un lugar muy especial en mi vida.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

ÍNDICE GENERAL

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

ÍNDICE GENERAL

- 0 RESUMEN.
- 1. MEMORIA.
- 2. ANEXOS.
 - ANEXO 1 CÁLCULOS.
 - ANEXO 2 SEGUIMIENTO ANALÍTICO.
 - ANEXO 3 ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.
- 3. PLANOS.
- 4. PLIEGO DE CONDICIONES.
- 5. MEDICIONES.
- 6. PRESUPUESTOS.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

0. RESUMEN

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Las actuales tecnologías de depuración de aguas basadas en los Fangos Activos presentan ciertas limitaciones como son el alto consumo energético requerido en la aireación (entre un 40 y 70% de la energía total para depurar el agua) y la elevada producción de fangos. En este contexto están surgiendo y siendo estudiados diferentes sistemas novedosos de depuración más sostenibles que permitan reducir considerablemente el consumo.

Como alternativa a los procesos convencionales, se ha propuesto una tecnología de depuración más sostenible como es la utilización de consorcios de microalgas y bacterias en los conocidos reactores HRAP (*High Rate Algae Ponds*). La depuración de aguas residuales con estos consorcios permite eliminar la materia orgánica, así como el nitrógeno y el fósforo presentes en el agua residual hasta niveles aptos para su vertido. La recuperación de los nutrientes contenidos en el agua residual hace el proceso más sostenible. Sin embargo, para que esta tecnología pueda ser comercial es necesario aún optimizarla y asentarla, maximizando su rendimiento y validándola en condiciones reales bajo los estándares industriales de operación.

El presente proyecto está enfocado a esta mejora y validación de la tecnología basada en consorcios microalgas y bacterias para el tratamiento de aguas residuales. En concreto se persigue optimizar la etapa de desnitrificación, su modo de operación y su posible escalado industrial.

El proyecto se ha desarrollado en la Estación de Aguas Residuales de Castellón, donde se está llevando a cabo la última fase experimental del proyecto MICROALBAC: *nuevas estrategias de consorcios microalga-bacteria en plantas de tratamiento de aguas de pequeño tamaño*. Durante su ejecución se ha pilotado un reactor de microalgas tipo HRAP para el tratamiento de parte del efluente primario, (con un caudal influente diseño al HRAP de 0,8 m³/d). Este sistema ha presentado buenos rendimientos de eliminación de DQO (60-90%) y amonio (40-85%), pero, dada la elevada concentración de oxígeno en el mismo por parte de las microalgas, no es posible realizar la etapa de desnitrificación en la misma etapa. Por este motivo, en este proyecto, se ha planteado el diseño de un reactor anóxico de fangos activos tras el HRAP que permita la eliminación de nitratos y así cumplir con los objetivos de rendimiento de eliminación de nutrientes fijadas en el proyecto a una concentración de 5 mg N-NO₃/l (siendo un valor límite fijado por normativa).

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Posteriormente, se ha realizado un escalado del piloto y se ha realizado un estudio de viabilidad técnico-económico, donde se presentan los diferentes costes de aplicación e implantación del tanque anóxico y sus limitaciones.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

1. MEMORIA

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

ÍNDICE MEMORIA.

1. JUSTIFICACIÓN.....	1
2. OBJETIVO.....	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2. Objetivos específicos.....	2
3. ALCANCE.....	3
3.1 Esquema de los objetivos.....	4
4. NORMAS Y REFERENCIAS.....	7
4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas.....	7
4.2 Programas informáticos.....	8
4.3 Bibliografía.....	9
4.4 Páginas web.....	11
5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.....	12
5.1 Definiciones.....	12
5.2 Abreviaturas.....	12
6. METODOLOGÍA.....	16
7. INTRODUCCIÓN.....	18
7.1 Marco legal y situación de la depuración de aguas en la provincia.....	18
7.2 Descripción y funcionamiento de una EDAR.....	21
7.2.1 Línea de agua.....	24
7.2.2 Línea de fangos.....	27
7.2.3. Procesos biológicos.....	28
7.3. Tratamientos biológicos de Fangos Activos.....	35
7.3.1 Generalidades.....	35
7.3.2 Descripción del proceso.....	36
7.3.3. Reacciones de oxidación Biológica.....	37
7.3.4. Factores que intervienen en la oxidación biológica.....	39

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

7.3.5. Diferentes configuraciones de los fangos activos.....	40
7.4. Las microalgas.....	42
7.4.1. Aplicación de las algas en la depuración.....	43
7.4.2. Lagunaje.	43
7.5. Modelos cinéticos de depuración biológica.	44
7.5.1 Modelos de crecimiento bacteriano.....	44
8. RESULTADOS FINALES.....	51
8.1 Escaldo a condiciones reales	51
8.2 Sistema de agitación.....	52
8.3 Coste de operación.	53
8.4 Inversión.....	53
9. ORDEN DE PRIODIDAD ESTRE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS.....	54
10. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA.....	55
10.1 Resumen del presupuesto.....	55
10.1.1 PEM.....	55
10.1.2 PEC.....	56
10.2 Presupuesto de explotación.....	56
10.2.1 Directos.....	56
10.2.2 Amortizaciones.....	57
10.2.3 Indirectos.....	57
10.2.4 Gastos totales.....	58
10.3 Beneficio.....	59
10.3.1 Beneficio bruto.....	59
10.3.2 Beneficio neto.....	59
10.4 Flujo de caja.....	59
10.5 Valor actual neto.....	62
10.6 Tasa interna de retorno.....	64
11. CONCLUSIONES.....	65

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

1. JUSTIFICACIÓN.

En las plantas de tratamientos de aguas residuales, la transferencia de oxígeno se hace generalmente a través de dispositivos sumergidos, que forman pequeñas burbujas en el seno del líquido. Para incrementar aún más el coeficiente de difusión, y mejorar el aprovechamiento del oxígeno suministrado, se provocan situaciones de turbulencia en el seno del líquido, para que el oxígeno se difunda más efectivamente. Esta agitación o turbulencia, que se provoca con la misma masa de aire inyectado y por medio de agitación, consume una gran cantidad de energía y constituye el principal coste de operación de los sistemas de depuración (entre un 40 y 70% de la energía total para depurar el agua). Por ello la mayoría de los avances tecnológicos que se estudia, desarrollan y llevan a cabo para su implantación, están ligados con los sistemas de aireación de los reactores.

Las microalgas se presentan como una alternativa ventajosa a estos procesos de purificación de aguas residuales puesto que permiten la oxigenación fotosintética del agua residual, lo que reduce el coste de la aireación, la asimilación de dióxido de carbono, la recuperación de nutrientes, y la valorización de la biomasa producida mediante su uso como biofertilizante o para la producción de biogás.

Para ello, en el presente proyecto se ha estudiado el funcionamiento de un proceso de depuración de aguas residuales sostenible como es la combinación de microalgas-bacterias, proceso que permite un ahorro energético considerable pero que cabe optimizar para su correcto funcionamiento y que podría tener cabida como tecnología para depurar pequeños caudales de agua residual (del orden de $< 500 \text{ m}^3/\text{día}$), como es el caso de pequeñas poblaciones. A partir de la validación de una planta piloto se ha llegado a escalar el proceso a tamaño semiindustrial. Una vez este proceso esté optimizado, se podrá proceder a su escalado real.

Las empresas explotadoras que se encargan de la depuración de aguas residuales urbanas han empezado a aplicar tecnologías de depuración basadas en el consorcio microalga-bacteria como tratamiento secundario (tratamiento biológico). Estos sistemas muestran un correcto funcionamiento para eliminar nutrientes (nitrógeno y fósforo), sin embargo, se han detectado limitaciones para realizar de forma completa el proceso de desnitrificación (eliminación de nitrato). Así, en este proyecto, a partir del estudio de este proceso se desea

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

diseñar un reactor anóxico para favorecer esta reacción y completar la eliminación del nitrógeno.

2. OBJETIVO.

2.1 Objetivo general.

El objetivo general del proyecto consiste en diseñar un reactor anóxico con bacterias facultativas heterótrofas, que junto al cultivo de microalgas permita realizar de forma completa la reacción de desnitrificación, es decir, eliminar completamente el nitrógeno.

Para ello, se aprovecha la simbiosis entre las bacterias aerobias (que necesitan oxígeno para oxidar y eliminar los contaminantes orgánicos presentes en los efluentes) y las microalgas (que necesitan dióxido de carbono, nitrógeno y fósforo para su actividad metabólica y que generan oxígeno en dicho proceso), disminuyendo los costes energéticos de los sistemas de oxigenación de los reactores aerobios, además de la reducción de la DQO y eliminación del N y P en un único proceso.

2.2. Objetivos específicos.

Los objetivos específicos son:

- Estudio del funcionamiento de un reactor raceway de microalgas y sus limitaciones
- Evaluación del funcionamiento actual del reactor raceway y sus necesidades.
- Diseño del reactor anóxico, dimensionamiento y sistema de agitación.
- Evaluación experimental del sistema piloto “raceway y reactor anóxico”.
- Escalado del tanque anóxico para una EDAR real.

3. ALCANCE.

El tratamiento convencional de aguas residuales consta de una serie de fases que incluyen un tratamiento secundario aerobio asistido con aireación. En esta fase los organismos aeróbicos dependen del oxígeno para mantener los procesos metabólicos que producen la energía necesaria para su crecimiento y reproducción para degradar la materia orgánica y eliminar los nutrientes (nitrógeno y fósforo) del agua residual. El proceso de aireación (transferencia de oxígeno) en un reactor biológico es la técnica más utilizada como proceso aerobio de tratamiento biológico. Las bacterias aerobias heterótrofas, al degradar la materia orgánica del agua residual, producen compuestos inorgánicos sencillos como producto de su metabolismo (dióxido de carbono, amoníaco y fosfato). El fitoplancton puede aprovechar estos compuestos como sustancias nutritivas para su crecimiento, junto con el dióxido de carbono atmosférico, el amoníaco y el fosfato del agua residual. La actividad fotosintética del fitoplancton genera oxígeno que puede ser utilizado por las bacterias aerobias heterótrofas para degradar la materia orgánica y disminuir la demanda química de oxígeno (DQO, siendo la cantidad de oxígeno consumida por las materias oxidables presentes en el agua del agua residual). Este sistema facilita la oxigenación homogénea del medio y aumenta el contenido de oxígeno disuelto.

Los tratamientos de aguas residuales urbanas basados en la aplicación directa de microalgas, suponen un aumento de la eficiencia energética en la reducción de DQO, por la generación de oxígeno que es utilizado por las bacterias aerobias heterótrofas. Sin embargo, al tratarse de un proceso extensivo (también conocido como tecnología blanda, presentando la característica de operar a velocidades similares a las que se dan en la naturaleza), se debe analizar la velocidad de reacción y con ello el volumen necesario para llevar a cabo el proceso.

En este contexto, la empresa Fomento Agrícola Castellonense (FACSA) ha llevado a cabo el proyecto de investigación MICROALBAC, que pretende desarrollar nuevas estrategias de integración del consorcio microalga-bacteria para el tratamiento de aguas residuales en pequeños municipios. En este proyecto se ha llevado a cabo la validación de una planta piloto con un reactor de microalgas tipo raceway de tratamiento de aguas urbanas, tal como se presenta en la figura M.1.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Dadas las condiciones altamente aerobias se ha alcanzado una buena eliminación de sólidos, DQO y amonio, pero limitados rendimientos de eliminación de nitrógeno y fósforo total, habiéndose detectado una importante deficiencia en la desnitrificación a causa de la falta de zonas anóxicas. Por este motivo, se ha propuesto la realización del presente trabajo, que se centra en una necesidad detectada durante el proyecto, como es la incorporación de un reactor anóxico tras el tanque tipo raceway que permita realizar el proceso de desnitrificación y completar la eliminación biológica de nitrógeno.



Figura M.1. Tanque tipo Raceway o HRAP (High Rate Algae Pond). Fuente: Imagen en línea.

3.1 Esquema de los objetivos.

La implementación de un consorcio estable de microalgas y bacterias para la degradación de la materia orgánica y remoción de nutrientes está basada en la producción de O_2 (gracias a la fotosíntesis microalgal) y éste es después utilizado por las bacterias heterotróficas como aceptor final de electrones para degradar los contaminantes del agua (materia orgánica disuelta). En esta simbiosis, el CO_2 liberado por las bacterias heterótrofas es tomado por la microalga como fuente de carbono durante la etapa de fotosíntesis, se presenta un sencillo esquema de dependencia en la figura M.2.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

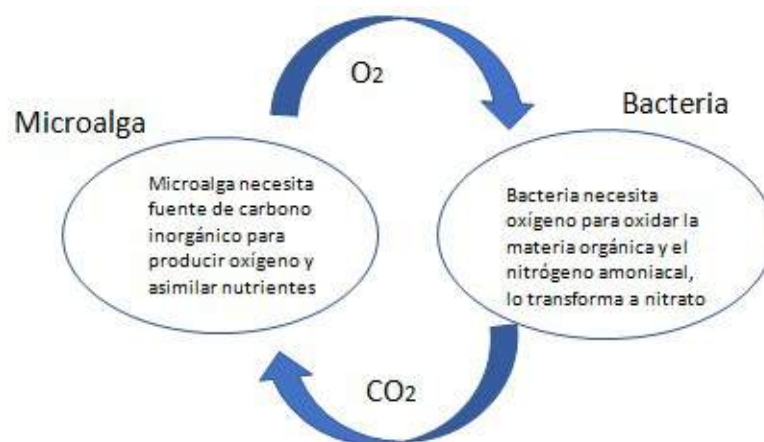


Figura M.2. Principio de simbiosis entre algas y bacterias para el tratamiento de agua residual.

Fuente: Elaboración propia.

Las lagunas de alta carga (HRAP) equivalen al tratamiento secundario que se da en una estación de depuración de aguas residuales (EDAR). Dados los altos costes que supone proporcionar oxígeno en los reactores biológicos convencionales para que las bacterias realicen la oxidación de la materia orgánica y la nitrificación, se propone una configuración alternativa utilizando microalgas.

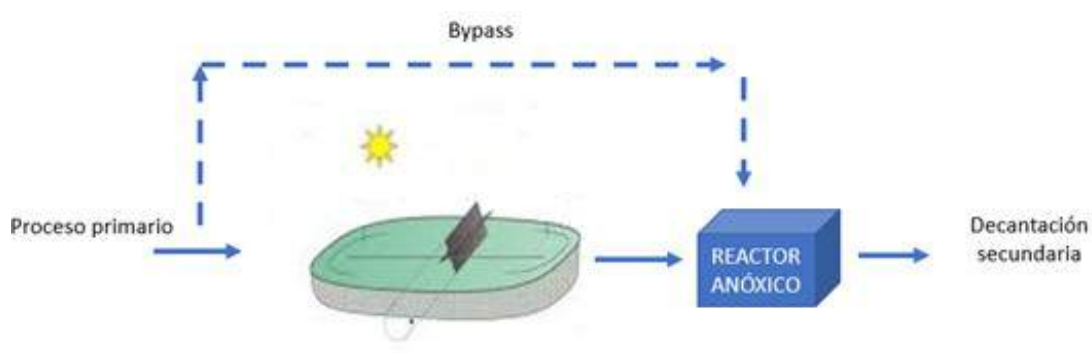


Figura M.3 Esquema del HRAP y la ubicación de los diferentes componentes. Fuente: imagen en línea.

El influente, es el agua residual que proviene del tratamiento primario y nos proporciona la materia orgánica a oxidar, esta materia orgánica entra al reactor HRAP y en su interior se producen las siguientes reacciones.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos



Figura M.4. Reacciones en el proceso de nitrificación y desnitrificación.

Fuente: apuntes del curso estaciones de depuración de aguas residuales, funcionamiento y explotación.

Durante el día, se dan las 2 primeras reacciones en el interior del HRAP, la segunda reacción es conocida como nitrificación, como se observa: en ambas reacciones hay presencia de oxígeno (condiciones aerobias), este oxígeno es obtenido gracias a la acción de las microalgas durante la fotosíntesis. Con lo cual, habrá consumo de materia orgánica y oxígeno por parte de las bacterias así como un aporte de carbono inorgánico, y consumo de carbono por las microalgas, además de un aporte de oxígeno.

En condiciones nocturnas, se produce la 3 reacción (desnitrificación), sin embargo, hay que asegurar condiciones anóxicas y un aporte de materia orgánica adecuada, llegados a este punto se ha hecho patente tanto la falta de materia orgánica (que ya se ha ido consumiendo con la primera reacción) como la presencia de oxígeno en exceso que han producido las microalgas en su actividad durante el día.

De esta manera la obtención de carbono ahora se produce por mecanismos endógenos y no por la reacción 1, este efecto junto al consumo de oxígeno residual que se tiene que dar para favorecer las condiciones anóxicas, nos dan rendimientos muy bajos de consumo de nutrientes.

Por consiguiente, se plantea la implementación de un tanque anóxico después del HRAP, para favorecer dichas condiciones y optimizar el proceso. Además se incluye un bypass directamente desde el influente hasta el reactor anóxico, siendo este un aporte de biomasa sin oxidar como fuente de carbono para contribuir en la desnitrificación, de esta manera se consigue:

1. Consumo de oxígeno por parte de las bacterias aerobias.
2. Consumo de nitratos por las bacterias heterótrofas

4. NORMAS Y REFERENCIAS.

4.1 Disposiciones legales y normas aplicadas.

- REAL DECRETO-LEY 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- REAL DECRETO 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- REAL DECRETO 664/1997, de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes biológicos durante el trabajo.
- REAL DECRETO 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción.
- REAL DECRETO 2116/1998, de 2 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- LEY 2/1992, de 26 de marzo, del Gobierno Valenciano, de saneamiento de las aguas residuales de la Comunidad Valenciana. 1 (DOCV núm. 1761 de 08.04.1992).
- Decreto 170/1992 de 16 de octubre, del Gobierno Valenciano, por el que aprueba el Estatuto de la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana. (DOCV núm. 1889 de 26.10.1992).
- Decreto 9/1993, de 25 de enero, del Gobierno Valenciano, por el que aprueba el Reglamento sobre Financiación de la Explotación de las Instalaciones de Saneamiento y Depuración. (DOCV núm. 1955 de 02.02.1993).
- Orden de 1 de abril de 1993 del Conseller de Obras Públiques, Urbanisme i– Transports, por la que se establecen las relaciones entre la Conselleria y la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana, para la realización de sistemas públicos de saneamiento y depuración. (DOCV núm. 2.001 de 08.04.1993).
- Orden de 9 de noviembre de 1999, del conseller de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes, por la que se establecen las relaciones entre la Conselleria y la Entidad

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana, para la realización de obras de infraestructuras de abastecimiento de agua. (DOCV núm. 3.633 de 25.11.1999).

- ORDEN MAM/1873/2004, de 2 de junio, por la que se aprueban los modelos oficiales para la declaración de vertido y se desarrollan determinados aspectos relativos a la autorización de vertido y liquidación del canon de control de vertidos regulados en el Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, de reforma del Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento de Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

- ORDEN MAM/985/2006, de 23 de marzo, por la que se desarrolla el régimen jurídico de las entidades colaboradoras de la administración hidráulica en materia de control y vigilancia de calidad de las aguas y de gestión de los vertidos al dominio público hidráulico.

- ORDEN MAM/85/2008, de 16 de enero, por la que se establecen los criterios técnicos para la valoración de los daños al dominio público hidráulico y las normas sobre toma de muestras y análisis de vertidos de aguas residuales.

- Decreto 111/2017 de 28 de julio, del Consell, de modificación del Decreto 170/1992 de 16 de octubre, del Consell, por el que se aprueba el Estatuto de la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunitat Valenciana.

4.2 Programas informáticos.

- Microsoft Word 2007.

- Microsoft Excel 2007.

- Autocad 2020.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

4.3 Bibliografía.

- AST ingeniería S. L. 2013. “Aplicaciones de Las Microalgas: Estado de La Técnica.” *Journal of Chemical Information and Modeling*: 69.
- Safi, Karl A., Jason B.K. Park, and Rupert J. Craggs. 2016. “Partitioning of Wastewater Treatment High Rate Algal Pond Biomass and Particulate Carbon.” *Algal Research* 19: 77–85.
- Abdel-Raouf, N., A. A. Al-Homaidan, and I. B.M. Ibraheem. 2012. “Microalgae and Wastewater Treatment.” *Saudi Journal of Biological Sciences* 19(3): 257–75.
- Viruela, Alexandre. 2014. “Modificación Del Software DESASS Para La Simulación Del Proceso de Crecimiento de Microalgas En El Tratamiento de Aguas Residuales.” 150.
- Miñon Martinez, Jorge. 2012. “Modelo de Biomasa Algal Para La Captura de Dióxido de Carbono y Su Desarrollo En Un Software de Evaluación.”: 36.
- Rivas, G. et al. 2015. “Modelling of the Operation of Raceway Pond Reactors for Micropollutant Removal by Solar Photo-Fenton as a Function of Photon Absorption.” *Applied Catalysis B: Environmental* 178: 210–17.
- “Un Raceway Para Mejorar El Tratamiento de Aguas Residuales | Mundo D... [Http://Www.Mundodigital.Net/Un-Raceway-Para-Mejorar-El-Tratamiento.](http://Www.Mundodigital.Net/Un-Raceway-Para-Mejorar-El-Tratamiento)” 2016.: 1–4.
- “Integration of Microalgae in a Wastewater Treatment Plant.” 2016. (July).
- Doucha, J., and K. Lívanský. 2006. “Productivity, CO₂/O₂ Exchange and Hydraulics in Outdoor Open High Density Microalgal (*Chlorella* Sp.) Photobioreactors Operated in a Middle and Southern European Climate.” *Journal of Applied Phycology* 18(6).
- Burgoa, Fernando. 2015. “Diseño de Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Con Fotobiorreactor de Microalgas.”: 150.
- Culebro, Jaime. 2015. “Cosechado de Microalgas Cultivadas En Lagunas de Alta Carga Para El Tratamiento de Aguas Residuales: Efecto Del Almidón Sobre La Floculación y La Producción de Biogás.” : 73.
- Suárez, A. Jácome; J. 1970. “Tema Modelación Dinámica de Fangos Activos ASM1 - IWA.” : 1–28.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

- Solé-bundó, Maria, Marianna Garfí, and Ivet Ferrer. 2017. “Mejora de La Digestión Anaerobia de Microalgas Mediante Codigestión y Pretratamientos Resumen Introducción Metodología Resultados.”: 1–3.
- Bolado, Autores Silvia et al. 2016. “Tratamiento y Valorización de Aguas Residuales Mediante Microalgas.” Dpto. Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente: 1–5.
- Microalgas, Residuales C O N. 2014. “Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Química Planta Demostración de Depuración de Aguas Residuales Con Microalgas.”
- Metcalf, E, and E Eddy. 1995. Ingeniería de Aguas Residuales, Vertido y Reutilización Ingeniería de Aguas Residuales, Vertido y Reutilización.
- Carrillo, Francisco J Cervantes. Tratamiento Biológico de Aguas Residuales : Principios, Modelación y Diseño.
- Kumar, Kanhaiya et al. 2015. “Recent Trends in the Mass Cultivation of Algae in Raceway Ponds.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 51: 875–85.
- Ramírez Duque, José Luís. 2017. “Viabilidad En La Producción de Biomasa Microalgal a Partir de Fotobioreactores Solares En El Valle Del Cauca, Colombia.” *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 8(2): 127–40.
- Viruela, Alexandre et al. 2018. “Performance of an Outdoor Membrane Photobioreactor for Resource Recovery from Anaerobically Treated Sewage.” *Journal of Cleaner Production* 178: 665–74.
- Alvarez Cobelas, Miguel, and Tomás Gallardo García. 1989. “Una Revisión Sobre La Biotecnología de Las Algas.” *Una revisión sobre la biotecnología de las algas* 15(15): 9–60.
- Vilanova, Ramon, Ignacio Santín, and Carles Pedret. 2017. “Control and Operation of Wastewater Treatment Plants (I).” *RIAI - Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial* 14(3): 217–33.
- Henze, M., W. Gujer, T. Mino, and M. van Loosedrecht. 2015. “Activated Sludge Models ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3.” *Water Intelligence Online* 5(0):
- Pauw, N De, and E Van Vaerenbergh. 1983. “Microalgal Wastewater Treatment-Systems: Potentials and Limits.”and the Employment of the Biomass.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

“Curso MICROALGAS_def.Pdf.”

Lores, Héctor, Aurora Seco, and Freddy Durán. 2015. “Estudio a Escala Piloto Del Efecto de Diferentes Condiciones de Operación Sobre La Eliminación de Nutrientes En Un Cultivo de Microalgas.”: 124.

Solimeno, Alessandro, Lauren Parker, Tryg Lundquist, and Joan García. 2017. “Integral Microalgae-Bacteria Model (BIO_ALGAE): Application to Wastewater High Rate Algal Ponds.” Science of the Total Environment 601–602: 646–57.

Ard, En, and D B O Factores. 2010. “BASES CINÉTICAS DE LOS.”

4.4 Páginas web.

<https://www.iagua.es/noticias/redaccion-iagua/precio-desidia-espana-paga-caro-incumplimiento-directiva-europea-depuracion>

<https://www.cerem.es/blog/vertidos-sin-depurar-comienzan-las-sanciones>

<http://www.epsar.gva.es/sanejament/index.aspx>

<https://www.ine.es/>

<https://www.iberdrola.es/>

<https://www.sciencedirect.com/>

5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.

5.1 Definiciones.

- Procesos aerobios: Son procesos que se dan en presencia de oxígeno (entre 1,5- 2,0 mg O₂/L), ya que los microorganismos que actúan en la conversión lo necesitan para su metabolismo. El más común en la depuración de aguas residuales es el proceso de fangos activos.
- Procesos anaerobios: Son procesos que se dan en ausencia de oxígeno (con valores muy por debajo de 0,1 mg O₂/L). Este tipo de microorganismos no necesitan oxígeno para su metabolismo.
- Procesos anóxicos: En este proceso, los microorganismos que actúan en la conversión de la materia orgánica metabolizan el nitrógeno de los nitratos en nitrógeno gas, en ausencia de oxígeno. Las principales vías bioquímicas que emplean estos microorganismos no son anaerobias, sino modificaciones de las vías aerobias.
- Tiempo de retención celular (edad del fango): Es la relación entre la masa de fangos existentes en el reactor biológico y la masa de fangos purgados por unidad de tiempo, días normalmente. Según la edad del fango tendremos un cultivo más o menos estable con mayor o menor capacidad para degradar la DBO.
- Tiempo de retención hidráulica: Parámetro que mide la relación expresada en horas entre el caudal a tratar y el volumen del reactor biológico, en el tratamiento de aguas residuales.
- Carga Másica: Es la relación entre la carga de materia orgánica que entra en el reactor biológico al día y la masa de microorganismos existentes en el mismo. Tiene una relación directa con el rendimiento de depuración que puede dar la planta.

5.2 Abreviaturas.

- S.S: Sólidos en suspensión (mg / l).
- S.S.V: sólidos en suspensión volátiles (mg / l).
- DBO₅: Demanda biológica de oxígeno.
- DQO: Demanda química de oxígeno

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

- N: Nitrógeno total (mg/l).
- $N-NO_2^-$: Nitrógeno en forma de nitritos (mg/l).
- $N-NO_3^-$: Nitrógeno en forma de nitrato (mg/l).
- h-e: Habitante equivalente.
- S: Concentración del sustrato que limita el crecimiento (mg DBO/l).
- $S_{NO_3,0}$: Concentración de nitrato en el influente (mg NO_3 /l).
- $S_{NO_3,f}$: Concentración de nitrato en el afluente (mg NO_3 /l).
- $S_{O_2,0}$: Concentración de oxígeno en el influente (mg O_2 /l).
- $S_{O_2,f}$: Concentración de oxígeno en el afluente (mg O_2 /l).
- X: Concentración de microorganismos (mg SSV/l).
- X_H : Concentración de microorganismos heterótrofos (mg SSV/L).
- r_g : Tasa de crecimiento bacteriano (mg SSV/l·d).
- r'_g : Tasa neta de crecimiento bacteriano (mgSSV/l·d).
- r_{su} : Tasa de utilización de sustrato (mgDBO₅/l·d).
- r_d : Tasa de descomposición endógena (mg SSV/l·d).
- r_{NO_3} : Tasa de utilización del nitrato (mg NO_3 / l·d).
- r_{O_2} : Tasa neta de utilización de oxígeno (mg O_2 / l·d).
- r_T : Coeficiente de reacción a la temperatura de operación (°C).
- r_{20} : Coeficiente de reacción a la temperatura de 20 (°C).

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

- θ : Coeficiente de actividad de la temperatura.
- μ : Tasa de crecimiento específico (d^{-1}).
- μ_m : Máxima tasa de crecimiento específico (d^{-1}).
- μ' : Tasa neta de crecimiento (d^{-1}).
- μ_H : Tasa máxima de crecimiento específico heterótrofo (d^{-1}).
- k_s : Constante de saturación media, concentración de sustrato a la que alcanza una velocidad de crecimiento la mitad de μ_m (mg SSV/l).
- k_d : Coeficiente de descomposición endógena (d^{-1}).
- $k = \mu_m/Y$, constante de utilización de sustrato (mg DBO/mg SSV·d).
- K_{DQO} : Coeficiente de saturación media para heterótrofos (g DQO/ m^3).
- $K_{O_2,H}$: Coeficiente de saturación de oxígeno para heterótrofos (g O_2 / m^3).
- Y : Es el coeficiente de producción máxima (mg SSV/mg DBO_5).
- Y_H : Crecimiento heterótrofo (g DQO formados/ g DQO utilizados).
- THR : Tiempo de retención hidráulico global (d).
- TRH_{O_2} : Tiempo de retención hidráulico para el consumo de oxígeno (d).
- TRH_{NO_3} : Tiempo de retención hidráulico para el consumo de nitrato (d).
- Q : Caudal de agua influente a tratar (m^3/d).
- b'_H : Tasa de decaimiento heterótrofo (d^{-1}).
- V : El volumen del reactor (m^3).
- t : El tiempo (d).

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

- S: Es el término de salida al tanque ($Q \cdot S_f$).
- E: Es el término de entrada al tanque ($Q \cdot S_0$).
- A: Es el término de acumulación en el sistema ($\frac{ds}{dt}$).
- G: Es el término de generación en el sistema ($v \cdot V \cdot r_s$).
- v: Factor estequiométrico de la reacción.
- a: Coeficiente de utilización de oxígeno para la síntesis (gr O₂/ gr S).
- b: Coeficiente de respiración endógena (T⁻¹).
- b'_H : Tasa de decaimiento heterótrofo (d⁻¹).
- U: Tasa específica de desnitrificación a la T^a de operación (g N-NO₃/g SSVLM · d).
- U': Tasa de desnitrificación según la fuente de carbono (g N-NO₃/g SSVLM · d).
- T: Temperatura del agua residual (°C).
- P: Es la energía necesaria para la agitación (W).
- μ: Es la viscosidad dinámica (Ns/m²).
- G: El gradiente de velocidad (s⁻¹).
- v: Velocidad lineal del agua (1 m/s).
- s: Sección de la tubería (m²).
- D: Diámetro de la tubería (m).

6. METODOLOGÍA.

A modo de resumen se presenta un esquema de la metodología utilizada y las consideraciones generales para la realización del presente proyecto, representadas en la figura M.5.

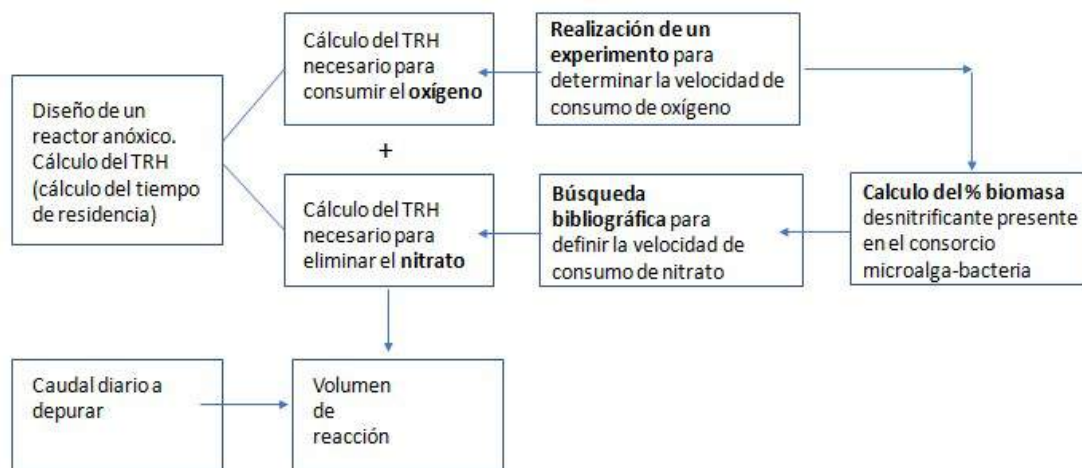


Figura M.5. Resumen de la metodología. Fuente: Elaboración propia.

Se desea diseñar un reactor anóxico mediante el cálculo de su volumen, este va a proporcionar las condiciones óptimas para llevar a cabo la desnitrificación, y de esta manera se podrá cerrar el ciclo del nitrógeno propuesto.

Para ello, partimos de un caudal influente a depurar conocido, mientras que el parámetro clave a calcular es el tiempo de residencia total TRH (considerando este como la suma del tiempo necesario para consumir el oxígeno residual y el tiempo para eliminar el nitrato), obtenido el TRH total y conociendo el caudal influente, se puede calcular el volumen del reactor anóxico a diseñar.

Con el objetivo de disponer del TRH para el consumo de oxígeno, se propone una respirometría en las condiciones de ausencia de luz y con exceso de sustrato. El ajuste lineal a una recta nos proporcionará la velocidad de consumo de oxígeno a través de su pendiente. Al realizar un balance de materia al sistema se puede despejar el TRH para el consumo de oxígeno.

Como para el consumo de nitratos, no se dispone de datos experimentales, se hace uso de la tasa de desnitrificación a partir de parámetros bibliográficos. Así mismo, se debe

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

considerar el porcentaje de biomasa heterótrofa desnitrificante en el sistema bajo la siguiente suposición:

- Las bacterias no son todas heterótrofas desnitrificantes así que se estimará un porcentaje respecto al total de bacterias. Este se deberá calcular mediante la siguiente aproximación, punto a destacar en este proyecto, ya que no se puede determinar directamente de manera experimental ni existe un método estandarizado para hacerlo.

Dado que, el cultivo no es 100% heterótrofo desnitrificante, habrá presencia de otros organismos en el sistema. Con esta premisa se determinará de forma experimental (con la tasa de consumo de oxígeno obtenida en la respirometría) y bibliográficamente, la tasa máxima de crecimiento específico heterótrofo (μ_H y μ_m respectivamente). Así, el ratio entre ellas proporcionará el porcentaje de bacterias heterótrofas reales en el sistema, que se utilizará para calcular la tasa de desnitrificación.

Una vez se dispone de la tasa de desnitrificación, se realiza un nuevo balance de materia esta vez a los nitratos y se despeja el TRH para el consumo de nitratos.

Finalmente el TRH total, será la suma del TRH de consumo de oxígeno y el TRH de consumo de nitratos, sabiendo el caudal influente se obtienen las dimensiones del reactor despejando el volumen de la definición de TRH.

7. INTRODUCCIÓN.

La degradación de la calidad de las aguas fluviales y subterráneas, y la progresiva concienciación de la necesidad de mejora, han llevado al establecimiento de una legislación, que se traduce tanto en medidas de planificación (establecimiento de planes de saneamiento) como de seguimiento (legislación referida al delito ecológico).

En el primer caso, la aplicación en nuestro país de la normativa 91/271 de la CEE, está llevando a un aumento del número de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR's). Asociado a este aumento del número de plantas, se ha producido una mejora apreciable de la sensibilidad respecto a la gestión y control.

El mantenimiento de la calidad de las aguas tratadas, así como, los importantes costes asociados a la explotación de las plantas, está llevando a un cambio de mentalidad de la explotación de este tipo de plantas. Así, de forma cada vez más amplia, dicha explotación se lleva a cabo con criterios de optimización de su funcionamiento, que permitan asegurar la calidad del agua con el mínimo coste.

El objetivo principal de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR), es conseguir unos rendimientos en el tratamiento de las mismas, que sean acordes con la legislación vigente, y a unos costes, económicos, sociales y medio ambiental mínimo.

7.1 Marco legal y situación de la depuración de aguas en la provincia.

Si la protección y recuperación de los recursos hídricos, tanto superficiales como subterráneos, debe ser uno de los principales objetivos de una política de saneamiento de las aguas residuales generadas en el territorio, este problema se agrava en la Comunidad Valenciana, y en la Provincia de Castellón por las siguientes razones:

- Los ríos son poco caudalosos y además están fuertemente aprovechados, por lo que su caudal no es capaz de diluir los vertidos que reciben.
- Hay muchas actividades potencialmente contaminantes (textil, cerámica, almazara, matadero, restauración, etc.), que dificultan la aplicación de los tratamientos.
- El déficit hídrico nos obliga a realizar el máximo aprovechamiento posible de nuestras aguas, entre ellas las depuradas.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Por lo tanto, la descontaminación de las aguas residuales es una vía fundamental para preservar la calidad de los recursos hídricos superficiales y subterráneos y, en consecuencia, sus usos potenciales abren la posibilidad de su reutilización con un aumento importante de los recursos disponibles.

A día de hoy pasados ya casi 20 años desde que se agotaron los plazos impuestos por la directiva 91/271/CEE (CEE Council Directive, 1991), traspuesta en España por el RD 11/1995, en materia de tratamiento de aguas residuales urbanas, no todas las regiones españolas terminan de cumplir el 100% de la depuración de sus aguas residuales. Además, no se han cumplido los objetivos de calidad exigidos, siendo los vertidos de aguas residuales de zonas rurales y pequeñas poblaciones una de las presiones más fuertes sobre las masas de agua superficiales.

Ante esta problemática se vuelve necesario invertir en nuevas infraestructuras para la depuración de las aguas residuales de pequeñas poblaciones, pero con tecnologías adaptadas a las particularidades que éstas tienen. Estas peculiaridades son sobre todo económicas, puesto que no se puede beneficiar de la economía de escala, característico de poblaciones mayores y que permite que el coste de depuración por habitante sea más reducido. Además, se requiere tecnologías simples de operar y mantener, y que garanticen la sostenibilidad ambiental y económica a largo plazo.

Tradicionalmente en las pequeñas poblaciones se han implantado las llamadas tecnologías extensivas, de bajo coste o tecnologías blandas, que se caracterizan por depurar las aguas a velocidades similares a los procesos naturales, por tener una mayor integración con el entorno y un menor coste energético y de personal. Sin embargo, esto implica la desventaja de necesitar más espacio que las tecnologías intensivas, capaces de depurar a velocidades mucho mayores.

Estas tecnologías cuentan con un nivel de desarrollo e implantación comparable al de las tecnologías convencionales, además de rendimientos de eliminación de materia orgánica y sólidos en suspensión comparables con la tecnología de fangos activos. Sin embargo, los rendimientos de eliminación de N y P, por lo general, son bastante pobres

Debido a ello, las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) suponen la principal fuente puntual de nutrientes al medio hídrico pudiendo ser, en algunos casos, la principal causa de eutrofización del medio acuático local.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

En la directiva 91/271/CEE se exige para pequeñas poblaciones (menos de 2000 habitantes equivalentes) dispongan de un “tratamiento adecuado” que garantice los objetivos de calidad de las aguas del medio receptor, lo que supone en algunos casos reducir la carga de nitrógeno y fósforo. Para ello existen tratamientos químicos y tratamientos biológicos de nitrificación-desnitrificación que suponen un gran consumo de reactivos y de energía, costes difícilmente asumibles por comunidades pequeñas.

Por todo ello, las investigaciones en este campo se enfocan en la búsqueda de tecnologías más eficientes, sin operaciones complicadas, que no supongan la adición de reactivos, y con buenos rendimientos de eliminación de contaminantes, incluido el nitrógeno y el fósforo.

Una de las tecnologías alternativas para depurar aguas residuales reduciendo la carga de nutrientes es la fitorremediación por medio de microalgas.

Esta tecnología se conoce desde los años 50 (Pauw and Vaerenbergh, 1983) y consiste, de forma general, en aprovechar los nutrientes presentes en las aguas residuales para favorecer el crecimiento de microalgas, cuya biomasa puede adquirir un valor comercial tras la separación del medio, a la vez que se obtiene un buen efluente depurado.

Para la depuración de aguas residuales de pequeñas poblaciones, la estrategia que se sigue, consiste en emplear un fotobiorreactor raceway (o HRAP por sus siglas en inglés High Rate Algae Pond) abierto de microalgas alimentado con agua residual, en este medio los organismos encargados de la depuración son las microalgas y las bacterias conjuntamente.

Entre las microalgas y las bacterias se crea una relación simbiótica en la que las microalgas al realizar la fotosíntesis y consumir CO_2 del medio, liberan O_2 que es utilizado por las bacterias para degradar la materia orgánica y liberar CO_2 que, cerrando el ciclo, es utilizado por las microalgas como fuente de carbono, gracias a esta simbiosis natural los sistemas no requieren de aireación o difusión de CO_2 .

El principal inconveniente de esta tecnología es la necesidad de espacio, ya que los fotobiorreactores abiertos no suelen tener una profundidad mayor de los 30 cm para mejorar el acceso a la luz por parte de las microalgas, a diferencia de los reactores convencionales usados para la depuración que pueden contar con varios metros de profundidad.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

7.2 Descripción y funcionamiento de una EDAR.

Como consecuencia de la actividad humana (urbana e industrial) se produce un aporte de materias contaminantes al agua. El origen de los contaminantes que se encuentran en el agua puede ser:

- Procedentes de los distintos usos domésticos (lavado de ropa y vajilla, cocción y limpieza de alimentos, etc.): “aguas grises.
- Procedentes de los excrementos producidos por la persona humana: “aguas negras”.
- Procedentes de las limpiezas de calles y zonas públicas: “aguas de escorrentías urbanas”
- Procedentes de la atmósfera y que pueden ser arrastrados por las aguas de lluvia: “aguas pluviales”.
- Procedentes de los productos utilizados en agricultura para incrementar las cosechas (abonos, plaguicidas, etc.): “aguas residuales de escorrentías agrícolas”.
- Procedentes, como desechos, de las distintas industrias: “aguas residuales industriales”.

La mayoría de estos contaminantes son eliminados de la actividad humana utilizando el agua como vehículo, constituyendo las aguas residuales de las distintas actividades. Por lo tanto, el agua natural más aportes, constituye el agua residual.

Todas estas sustancias contaminantes, y a efectos de tratamiento de aguas residuales (tratamiento biológico), pueden catalogarse en dos grandes grupos:

- Sustancias biodegradables: Que son las constituidas por sustancias orgánicas, que se oxidan mediante la acción de determinados microorganismos (biodegradación) obteniendo como productos finales, los elementos componentes de la molécula en su grado máximo de oxidación, y que por esto se denominan sustancias biodegradables.
- Sustancias biorresistentes: Que son las constituidas por sustancias inorgánicas, y por algunas orgánicas, que no pueden ser atacadas por ningún microorganismo, y que por tanto permanecen en el medio ambiente.

Las aguas residuales procedentes de las actividades domésticas, en la limpieza de locales comerciales, así como, las aguas pluviales y/o de lavado de calles están constituidas por sustancias biodegradables, es decir, se pueden tratar y depurar por los medios tradicionales.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Las aguas residuales industriales presentan características distintas de las aguas residuales domésticas, ya que si estas varían muy poco en su composición dependiendo básicamente de la alimentación de la población que las genera, de su nivel de vida, higiene etc. Las aguas industriales presentan unas características muy diversas dependiendo, no solo de las distintas clases de industrias que las generan, sino que, varía incluso en el mismo tipo de industria de acuerdo con los procesos de fabricación, con la recuperación de sus productos, con la época del año. etc. Pudiendo ser, tanto biodegradables, como biorresistentes.

Una EDAR puede definirse como el conjunto de instalaciones que tienen por objeto la reducción de la contaminación de las aguas residuales hasta límites aceptables para el cauce receptor. Estos límites han ido evolucionando a lo largo del tiempo hacia valores cada vez más estrictos, en función de las características de la zona de vertido, véase la tabla M.1. La aplicación de la Directiva Marco a través de los Planes Hidrológicos de Cuenca puede establecer límites más rigurosos con el fin de proteger a las masas de agua de las presiones e impactos a las que están sometidas.

Además, una EDAR tiene otro objetivo tan importante como el anterior, tratar los fangos producidos en los procesos de depuración del agua residual, a fin de, conseguir un producto que cumpla con las condiciones exigidas según el uso al que se destine (vertedero, uso agrícola, compostaje, etc.). Las limitaciones ambientales son cada vez mayores y la calidad exigida a los fangos también, lo que está suponiendo un aumento de la complejidad de los tratamientos de los fangos y de su coste, y una búsqueda de procesos de valorización que permitan la recuperación energética de los mismos.

Hay que señalar que el diseño de una EDAR y la selección de cada uno de sus procesos, debe tener en cuenta, tanto los aspectos relativos a la depuración del agua (calidad y cantidad del agua residual a tratar, límites de vertido exigidos al efluente, etc.), como los relativos al tratamiento de los fangos producidos (volumen y características, destino y calidad exigida a los fangos tratados, etc.) y la gestión posterior del sistema.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Tabla M.1. Normativa exigida a los efluentes depurados, según la Directiva 91/271/CEE.

Fuente CEDEX 2016.

Vertido a zonas normales		
PARÁMETRO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	
	Concentración	% Reducción
DBO ₅ (mg/L de O ₂)	25	70-90
DQO (mg/L de O ₂)	125	75
Sólidos en suspensión (mg/L)	35	90

Vertido a zonas sensibles (cumpliendo lo establecido para zonas normales)		
PARÁMETRO	ELIMINACIÓN DE N y P	
	Concentración	% Reducción
Fósforo total (mg/L)	2 (entre 10.000 y 100.000 h-e) 1 (para más de 100.000 h-e)	80
Nitrógeno total (mg/L)	15 (entre 10.000 y 100.000 h-e) 10 (para más de 100.000 h-e)	70-80

Vertido a zonas menos sensibles		
PARÁMETRO	TRATAMIENTO PRIMARIO	
	% Reducción	
DBO ₅ (mg/L de O ₂)	20	
Sólidos en suspensión (mg/L)	50	

Siendo:

- Sólidos en suspensión (S.S): Es la cantidad de materias orgánicas o minerales, en suspensión en el agua.
- Demanda biológica de oxígeno (DBO₅): Es la cantidad de oxígeno consumida durante 5 días por bacterias aerobias para asegurar la degradación de las materias orgánicas biodegradables.
- Demanda química de oxígeno (DQO): Es la cantidad de oxígeno consumida por las materias oxidables presentes en el agua.
- Nitrógeno (N): En las aguas residuales urbanas se presenta bajo la forma de nitrógeno orgánico y amoniacal, con muy poca presencia de nitritos y nitratos. Con el análisis de nitrógeno Kjeldhal (NK) medimos conjuntamente el nitrógeno orgánico y el amoniacal.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

- Fósforo (P): Por lo general, cuando nos referimos al fósforo, se habla de fósforo total (PT) que es la suma del fósforo orgánico (residuo de materia viva) y fósforo mineral, constituido esencialmente de los ortofosfatos que provienen de los detergentes. Los ortofosfatos, junto con los nitratos, constituyen un agente fertilizante, susceptible de provocar el fenómeno de eutrofización.
- Habitante equivalente (h-e): Es la carga orgánica biodegradable asociada a una DBO₅ de 60 gramos de oxígeno por día. La relación entre habitantes reales y equivalentes no es 1. No es lo mismo un habitante equivalente que un habitante real. Hay más habitantes equivalentes que habitantes reales en cualquier población. Esto es debido a que además de la contaminación debida a las excreciones humanas hay otro tipo de contaminación debida a industrias, fábricas, negocios, etc.

Dentro del esquema básico de una EDAR se deben distinguir dos líneas de tratamiento diferentes: la línea de agua y la línea de fango como se puede ver en la figura M 6.

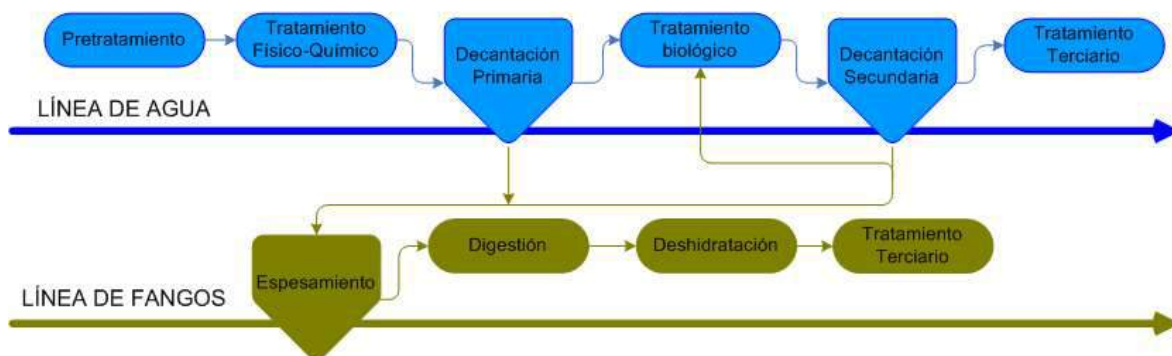


Figura M.6. Croquis de una EDAR. Fuente: imagen en línea.

7.2.1 Línea de agua

Dentro de la línea de agua hay que distinguir los siguientes niveles de tratamiento: Pretratamiento, Tratamiento Primario, Tratamiento Secundario, Tratamiento Secundario Avanzado y Tratamiento Terciario. Los tratamientos más importantes se recogen en la tabla M.2.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Tabla M.2. Etapas de depuración y procesos que se pueden encontrar en la línea de agua de una EDAR.

Fuente: CEDEX 2016

PRETRATAMIENTOS	Desbaste Desarenado-Desengrasado Homogenización y regulación de caudales Preaireación		
TRATAMIENTOS PRIMARIOS	Decantación Primaria Flotación Tratamiento Físico-Químico Fosas Sépticas y Decantadores-Digestores		
TRATAMIENTOS SECUNDARIOS	Fangos Activados	Alta carga Media Carga (convencional) Aireación Prolongada Contacto-Estabilización Doble Etapa Sistemas Secuenciales Biorreactores de Membranas	
	Procesos de Película Fija	Lechos Bacterianos Biodiscos Biofiltros Aireados Lechos Aireados sumergidos Sistemas de Biomasa Fija Sobre Lecho Móvil	
	Procesos Extensivos	Lagunaje	Lagunas Anaerobias Lagunas Facultativas Lagunas Aerobias Lagunas Aireadas
		Infiltración-Percolación Lechos de Turba Humedales Artificiales Flitros Verdes	
	Procesos Anaerobios		
TRATAMIENTOS SECUNDARIOS MÁS RIGUROSOS	Tratamientos con Eliminación de Nitrógeno Tratamientos con Eliminación de Fósforo Tratamientos con Eliminación de Nitrógeno y Fósforo		
TRATAMIENTOS TERCARIOS	Reducción de DQO	Tratamiento Físico-Químico Filtración Microfiltración Ultrafiltración	
	Desinfección	Cloro gas Hipoclorito Sódico Dióxido de cloro Ozono Rayos Ultravioleta	
	Reducción de Sales	Osmosis Inversa Electrodiálisis Reversible Intercambio Iónico	

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

En el Pretratamiento, se eliminan las materias groseras, que debido a su naturaleza o tamaño pueden originar problemas en los tratamientos posteriores. Las operaciones que comprenden son generalmente: desbaste, desarenado y desengrasado, en algunos casos también se pueden incluir otras como la regulación y homogenización de caudales y cargas.

El Tratamiento Primario se destina fundamentalmente a la eliminación de sólidos en suspensión (S.S.), siendo menos efectivo en la eliminación de la materia orgánica. Los procesos físicos (decantadores, digestores, fosas sépticas y decantadores de gravedad, eliminan entre el 30-40% de la DBO₅ y el 60-70% de los S.S. Los procesos fisico-químicos, mediante la adición de reactivos químicos, consiguen eliminar entre el 50-70% DBO₅ y el 65-95% de S.S., según la cuantía y el tipo de coagulante empleado.

En el Tratamiento Secundario se elimina gran parte de la contaminación orgánica. Los procesos más utilizados son los de fangos activos (convencionales y de aireación prolongada), que eliminan entre el 85-95% de DBO₅ y de S.S (Ortega de Miquel, 2016).

Otros procesos Secundarios de gran implantación son los de biopelícula (lechos bacterianos, biodiscos, bofiltros aireados entre otros) con los que se consiguen rendimientos entre el 80-95% de DBO₅ y S.S. Hay que señalar que en la actualidad se están desarrollando sistemas de biopelícula novedosos que mejoran su eficiencia y versatilidad, pudiendo destacarse los sistemas de biomasa fija sumergida, los de biomasa fija sobre lecho móvil y los lechos biológicos fluidificados.

Los sistemas Secundarios extensivos agrupan a aquellos procesos cuyos parámetros y cinéticas son los que normalmente se dan en la naturaleza, por eso se llaman también procesos “naturales”. Los más utilizados son el lagunaje, la infiltración-percolación, los humedales artificiales y los filtros verdes. Se utilizan para pequeñas poblaciones, siendo su principal ventaja los bajos costes energéticos y la posibilidad de un mantenimiento sencillo por parte del personal al no requerir una especialización muy elevada.

Los Tratamientos Secundarios más Rigurosos o Avanzados, son los que reducen además de la materia orgánica, los nutrientes (el nitrógeno y el fósforo), utilizándose cuando el efluente se vierte a zonas sensibles (eutrofizadas o susceptibles de eutrofización) o destinadas a usos en los que debe limitarse el nitrógeno (para agua potable, inyección en acuíferos, etc.). La eliminación de nitrógeno se realiza mediante vía biológica, siendo los

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

procesos más usuales los fangos activos y los de biopelícula, alcanzándose rendimientos entre el 70-80%. La eliminación de fósforo puede realizarse por vía biológica, generalmente unida a la eliminación de nitrógeno (rendimiento del 70-80%) o mediante vía físico-química, mediante la adición de sales de hierro en el reactor biológico (rendimiento del 80-90%).

Los Tratamientos Terciarios tienen dos finalidades: obtener una mejora “afino” del efluente depurado por exigencia del cauce receptor.

7.2.2 Línea de fangos.

Los fangos producidos en los procesos de tratamiento del agua residual, proceden del tratamiento primario (fangos primarios) y del tratamiento secundario (fangos en exceso), si bien a veces se mezclan previamente al ser tratados en la línea de fangos (fangos mixtos). Estos fangos tienen un gran volumen de agua (su concentración de sólidos en suspensión puede oscilar entre un 0,2 y un 3,0 %) y una importante componente de materia orgánica, sujeta a procesos de descomposición, y a la consecuente producción de olores.

Las operaciones y procesos de la línea de tratamiento de fangos tienen fundamentalmente dos objetivos:

- Reducir el contenido en agua y materia orgánica del fango.
- Acondicionarle para su reutilización y evacuación final.

Los principales procesos para el tratamiento de los fangos se recogen en la tabla M.3.

El espesamiento, el acondicionamiento, la deshidratación y el secado del fango se utilizan para eliminar la humedad del mismo.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Tabla M.3. Niveles de tratamiento y procesos existentes en la línea de fangos. Fuente: CEDEX 2016.

ESPESAMIENTO DE FANGOS	Espesamiento por gravedad	
	Flotación	
	Tambores rotativos	
	Mesas espesadoras	
ESTABILIZACIÓN DE FANGOS	Centrífugas	
	Digestión Anaerobia	Mesófila Termófila
	Digestión Aerobia	Mesófila Termófila
Estabilización Química (cal)		
ACONDICIONAMIENTO DEL FANGO	Químico	
	Térmico	
	Ultrasónico	
DESHIDRATACIÓN DE FANGOS	Centrífugas	
	Filtros Banda	
	Filtros Prensa	
	Eras de Secado	
	Secado solar	
SECADO	Secado Térmico	
TRATAMIENTOS TERMOQUÍMICOS	Incineración (combustión completa)	
	Gasificación	
	Oxidación húmeda	
	Hidrólisis térmica	
DISPOSICIÓN FINAL DEL FANGO	Vertedero	
	Uso Agrícola Directo	
	Compostaje	
	Vertido al Mar	
	Utilización en la Industria (Obras públicas y cemento)	

7.2.3. Procesos biológicos.

7.2.3.1. Definiciones en procesos biológicos.

Los tratamientos biológicos tradicionales se pueden aplicar con varias finalidades, pero fundamentalmente para eliminar la materia orgánica, esta materia puede estar disuelta (materia orgánica soluble) o suspendida, en forma biodegradable o no biodegradable o inerte (esta se acumula en el fango).

A continuación se define algunos conceptos básicos y la nomenclatura que se va a utilizar en el estudio de los tratamientos biológicos:

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): es la cantidad de oxígeno disuelto consumido durante la oxidación por vía biológica, es decir, el oxígeno utilizado por microorganismos heterótrofos para transformar la materia orgánica metabolizable en dióxido de carbono, agua y productos finales. Al tratarse de un proceso biológico la cuantificación requiere de mucho tiempo (5 días), de manera estándar se denomina DBO_5 .

Los microorganismos presentes en el agua residual no solamente son capaces de metabolizar la materia orgánica sino también distintos componentes inorgánicos, como el amoníaco, y por lo tanto este también contribuye al requerimiento de oxígeno. Por consiguiente, la DBO total incluye la DBO asociada a la materia orgánica y la DBO asociada a la demanda biológica de oxígeno nitrogenada.

- La Demanda Química de Oxígeno (DQO) mide la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente la materia orgánica presente en un agua residual utilizando un oxidante fuerte. La medida de la DQO es, en general, superior a la DBO, ya que se puede oxidar una mayor cantidad de compuestos por métodos químicos que por métodos biológicos. Desde el punto de vista operacional, la mayor ventaja de la medida de DQO con respecto a la de DBO es la rapidez con la que se obtiene el resultado. Mientras que las pruebas de DBO requieren de al menos 5 días (DBO_5), la medida de DQO solamente requiere de unas tres horas.
- Sustrato (S): La materia orgánica del agua disuelta o soluble. La concentración se suele medir como DBO y se representa por S y las unidades son (mg/L ó g/m^3).
- Materia celular (X): La materia celular, biomasa, microorganismos o masa bacteriana se asocia a los sólidos en suspensión volátiles (SSV), no todo el material celular es volátil y existen otras formas de SSV. La concentración se representa por X y las unidades suelen ser ($mg\ SSV/L$ ó $g\ SSV/L$), a veces $SSVLM$ = sólidos en suspensión volátiles en el líquido de mezcla.

La DBO_5 asociada a la materia celular se representa por S_x y la DBO_t de dicha materia por S_{tx} , la DBO_t de la masa celular unitaria equivale a $1,42\ g\ DBO_t/gSSV$, puesto que 1,42 es el ratio entre la masa de oxígeno (160) y la de la materia celular (113) que interviene en la respiración endógena. Esta equivalencia se expresa como sigue:

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

$$S_{tx} = 1,42 \cdot X \quad M.1.$$

Siendo X la concentración de sólidos biodegradables.

Mientras que la DBO_5 representa en promedio, entre un 65-70% del total de la materia orgánica oxidable y asumiendo un 68% en términos generales, la equivalencia queda de la siguiente manera:

$$S_x = 1,42 \cdot 0,68 \cdot X = 0,9656 \cdot X \quad M.2.$$

7.2.3.2. Fundamentos de los procesos biológicos.

El fundamento de los procesos biológicos de depuración de aguas consiste en la eliminación de la contaminación del agua mediante una biocenosis (comunidad de organismos vivos) ubicada en un lugar adecuado mediante el control del ambiente. La biocenosis está constituida por microorganismos, pero en algunos procesos pueden llegar a intervenir o incluso tener importancia organismos superiores. La contaminación del agua constituye el sustrato o alimento de dicha biocenosis, la cual se mantendrá controlada en el reactor biológico. En dicho reactor se deben mantener las condiciones ambientales para permitir el desarrollo óptimo de la biocenosis. Así, si es de tipo aerobio, se suministrará el oxígeno suficiente para mantener condiciones aerobias en el reactor, por el contrario si fuese de tipo anaerobio se evitaría la entrada de oxígeno al sistema. Como consecuencia del consumo del sustrato y de los nutrientes la biomasa del reactor aumentará, lo cual puede exigir la extracción del crecimiento de biomasa (fango).

La contaminación del agua, sustrato y/o nutrientes, quedará eliminada debido a su utilización por la biocenosis, la cual generara productos como son anhídrido carbónico (CO_2) en ambiente aerobio, CO_2 y metano en ambiente anaerobio, nitrógeno y sulfhídrico en ambiente anóxico, como se presenta en la figura M.7.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

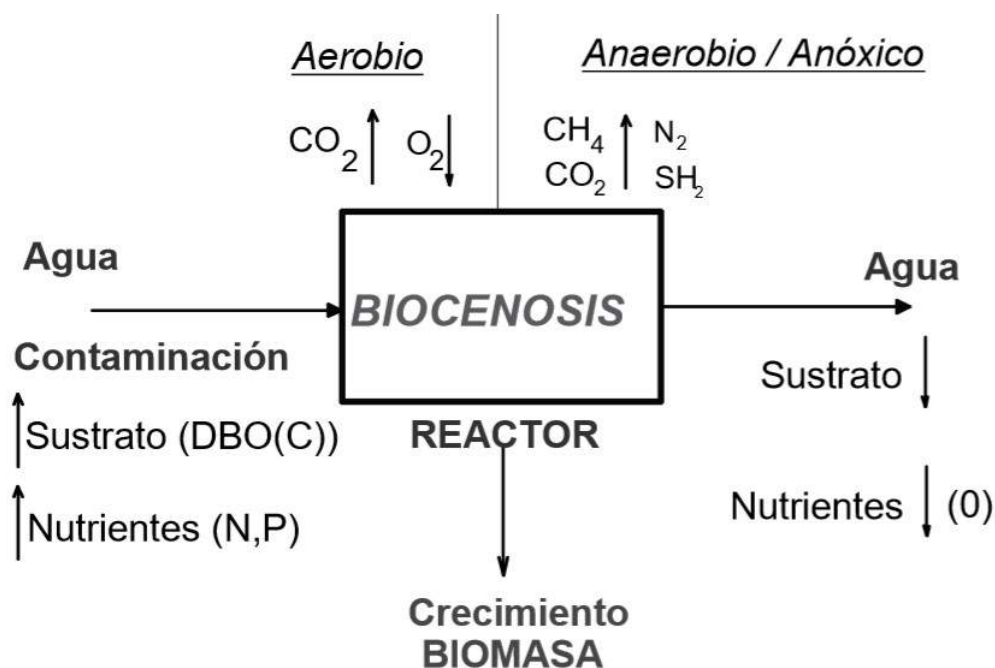


Figura M 7. Entradas y salidas en un proceso biológico básico. Fuente CEDEX 2016.

Se pueden realizar múltiples clasificaciones de los procesos biológicos basándose en distintos aspectos, como se indica en la tabla M.4.

Tabla M.4. Clasificación de los procesos biológicos. Fuente CEDEX 2016.

Según elemento contaminante a eliminar o transformar	Eliminación de Materia Orgánica Carbonosa (o DBO (C)) Nitrificación (o eliminación de DBO (N)) Desnitrificación Eliminación de Fósforo
Según potencial de oxidación-reducción del medio	Aerobio Anaerobio Anóxico
Según la forma en la que se presenta la biomasa en el reactor	Cultivo en Suspensión Cultivo Fijado a soporte

Según el elemento contaminante a eliminar o transformar, se pueden diferenciar: procesos biológicos para la eliminación de materia orgánica, es decir para la eliminación de la DBO o DBO carbonosa. Para la eliminación de la demanda bioquímica de oxígeno debida al nitrógeno o DBO nitrogenada que corresponde a los procesos denominados de nitrificación, es decir transformación de nitrógeno orgánico y amoniacal a nitritos y nitratos. Para la eliminación de nitrógeno oxidado (nitritos, nitratos) en forma de nitrógeno gaseoso, también denominados procesos de desnitrificación. Para la eliminación global de

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

nitrógeno como combinación de las dos anteriores (nitrificación-desnitrificación), y para eliminación de fósforo.

Según el potencial de oxidación-reducción en el que se va a desarrollar la reacción biológica, se pueden diferenciar procesos aerobios, que necesitan oxígeno, anóxicos, con ausencia o escasez de oxígeno disuelto y anaerobios en ambiente con ausencia estricta de oxígeno disuelto. A la vez pueden existir procesos en los que se combinen varios de estos ambientes.

La biocenosis en el reactor se puede mantener por diversos métodos. De los dos principales, el primero corresponde a lo que denominamos cultivo en suspensión, es decir, los microorganismos se encuentran en suspensión en el seno del agua por lo que es necesario separarlos del agua efluente del reactor y devolverlos a reactor para mantener una concentración de biomasa, el proceso de tratamiento de aguas residuales más representativo es el denominado proceso de fangos activos. En el segundo, o cultivo fijado a soporte, también se les denomina procesos de película fija, de película biológica, de biofilm o procesos de biopelícula. Los microorganismos se fijan a diferentes medios materiales o soportes con lo que quedan retenidos en el reactor a pesar del paso del agua a tratar a través del mismo, no siendo arrastrados con ella.

7.2.3.3. Evolución de las poblaciones de microorganismos.

Si se estudia la evolución de un cultivo de un único tipo de microorganismos, a medida que pasa el tiempo se obtiene una evolución como la mostrada en la figura M 8. Se parte de una situación en la que los microorganismos tienen inicialmente disponible una determinada cantidad de sustrato, pero no se les aporta más en el resto del experimento. Se pueden observar las siguientes fases:

- Fase inicial o latente. Los microorganismos se aclimatan a la nueva situación y hay un pequeño aumento en el número de microorganismos.
- Crecimiento exponencial. La biomasa ya adaptada, aumenta su número exponencialmente, como consecuencia la cantidad de sustrato disponible disminuye de forma acusada.
- Crecimiento decreciente. La cantidad de sustrato escasea por lo que las condiciones de reproducción de la biomasa son más desfavorables que en la fase anterior, aunque aumenta el número de células, lo hace con menor velocidad.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

- Fase estacionaria. El sustrato está terminándose y cesa la producción de nueva biomasa.
- Respiración endógena. El número de células disminuye progresivamente hasta hacerse cero. En este tiempo las células se mantienen vivas consumiendo parte de su tejido celular.

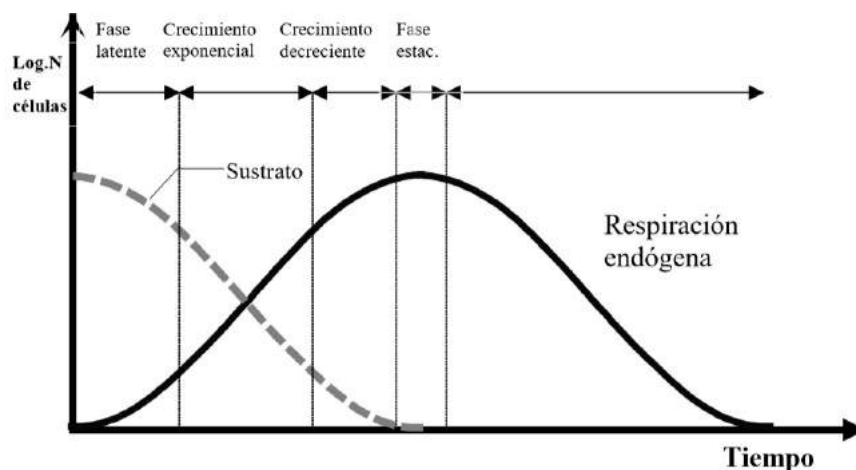


Figura M.8. Evolución de la población. Fuente CEDEX 2016.

En la curva mostrada en la figura M 8 no debe entenderse que toda la biomasa sigue las fases descritas de forma simultánea. La figura muestra la situación de la fracción mayoritaria de microorganismos en esa situación. Es decir, en todo momento hay microorganismos en cualquiera de las fases que muestra la curva, aunque la mayoría se encuentran en la fase que indica la curva en un instante dado.

Si en lugar de un cultivo con un único tipo de células, se hace un experimento en el que haya varios tipos de poblaciones se observa que cada una de ellas evoluciona de forma diferente, es decir, cada uno alcanza un máximo de células diferentes y en un tiempo también diferente tal como se detalla en la figura M 9.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

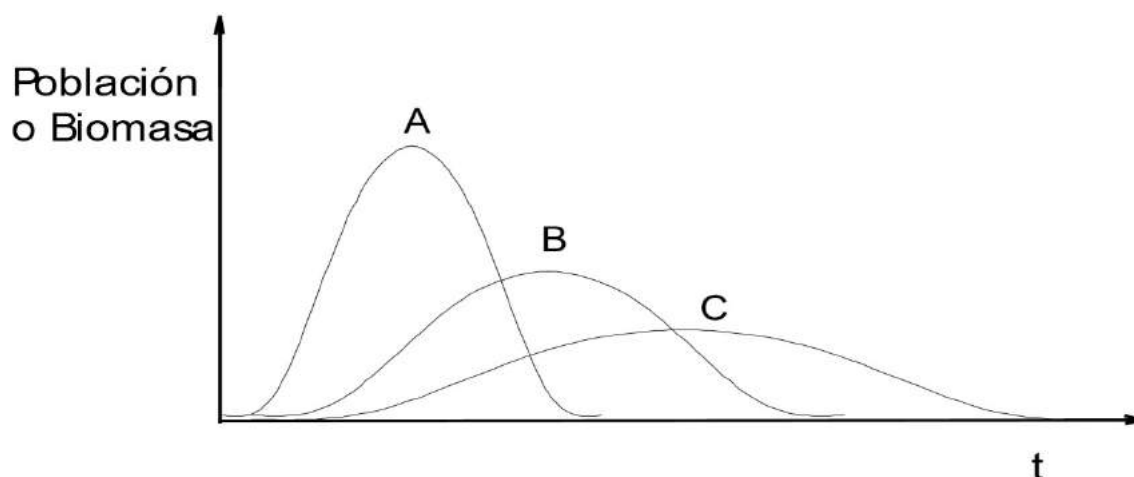


Figura M.9. Evolución de las poblaciones en cultivo mixto. Fuente CEDEX 2016.

Las especies con mayor tiempo de duplicación, (crecimiento más lento) tardan más en aparecer en cantidades apreciables, e incluso, hay algunas (C) que para llegar a desarrollarse necesitan del desarrollo de otras especies (A) sobre las cuales realizar predación. De esta manera, en algunos procesos biológicos, el tiempo de estancia de los microorganismos (tiempo de retención celular TRH), será una importante variable de control, de tal manera posibilitará el desarrollo de unas especies y evitará el desarrollo de otras.

7.2.3.4. Procesos de nitrificación y desnitrificación.

Nitrificación.

La nitrificación biológica es el proceso mediante el cual el amonio presente en el agua residual se oxida biológicamente a nitrato. La oxidación del amonio es un proceso que se realiza en dos etapas, en las que toman parte dos familias de microorganismos: nitrosomonas y nitrobacter. En la 1ª etapa, el amonio es convertido a nitrito y en la 2ª este es convertido a nitrato.

Nitrificación:
$$\text{NH}_3 \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$$

Ambos microorganismos, denominados globalmente como nitrificantes, son del tipo quimioatótrofos que se caracterizan por tener como fuente de energía reacciones de oxidación-reducción inorgánicas, como fuente de carbono celular, carbono inorgánico y como aceptor de electrones el oxígeno, siendo estrictamente aerobias.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Por consiguiente, se define como un proceso autotrófico, la energía necesaria para el crecimiento bacteriano y se obtiene de la oxidación de compuestos de nitrógeno, principalmente del amoníaco, al contrario que los organismos heterótrofos.

Desnitrificación.

La desnitrificación es el proceso por el cual el nitrógeno de los nitratos es convertida en nitrógeno gas (liberado al aire) mediante microorganismos facultativos heterótrofos bajo condiciones anóxicas (sin oxígeno).

Como tales heterótrofos la fuente de energía y de carbono celular es materia orgánica y el aceptor de electrones son los nitratos. De este modo se produce la eliminación de materia orgánica empleando los nitratos en lugar de oxígeno.

7.3. Tratamientos biológicos de Fangos Activos.

7.3.1 Generalidades.

El proceso de fangos activados, es un sistema muy experimentado, que comenzó a desarrollarse en Inglaterra en 1914. Su nombre proviene de la utilización como elemento básico del proceso de una masa activada de microorganismos capaz de eliminar una parte importante de la contaminación del agua residual.

El proceso puede entenderse como la trasposición de los procesos de autodepuración aerobia que se producen en las aguas continentales, a un sistema industrial. En la naturaleza la amplitud de los procesos biológicos está limitada por la escasa concentración de microorganismos, por la mala mezcla y a veces por la insuficiente dotación de oxígeno. El proceso de fangos activados, mejora las velocidades de transformación, manteniendo una concentración adecuada de microorganismos, facilitando el oxígeno necesario mediante aireación artificial y asegurando el contacto óptimo entre el fango activado, el agua residual influente y el oxígeno, por medio de una agitación forzada.

En condiciones idóneas, el proceso es seguro, flexible y obtiene rendimientos de depuración superiores al 90%. El principal problema es su alto coste de explotación, debido fundamentalmente a los altos consumos energéticos empleados en la producción de aire.

En función de los objetivos de calidad requeridos en el efluente, los procesos de fangos activados pueden adaptarse para eliminar únicamente la materia orgánica carbonada, o

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

eliminar también los nutrientes (nitrógeno y/o fósforo). La consecución de uno u otro objetivo comporta, para cada tipo de tratamiento, la adopción de parámetros de diseño y configuraciones diferenciadas.

En la actualidad existen muchas variantes del proceso de fangos activados, según los parámetros y el régimen de funcionamiento, el tipo de cuba, la configuración de proceso, etc.

Se analizarán los fundamentos y las características generales de los procesos de fangos activados, en particular en los denominados procesos convencionales, entendiendo por ellos, a los procesos de media carga (C_m entre 0,1 y 0,4), diseñados para eliminar exclusivamente la materia orgánica carbonada (90-95%), de flujo continuo, de cuba rectangular o cuadrada y que realizan el proceso en una sola etapa. También se incluye dentro de los procesos convencionales a la aireación prolongada (C_m 0,07), dada su larga historia y amplia experiencia, similar a los procesos de media carga.

Se define la carga másica C_m , como la masa de sustrato consumida por la masa de microorganismos existentes en el reactor en la unidad de tiempo.

Entre las diferentes variantes de los fangos activados se considerarán: los canales de oxidación, sistemas secuenciales, contacto-estabilización y doble etapa, así como los procesos de eliminación de nitrógeno y/o fósforo.

7.3.2 Descripción del proceso.

En el proceso de fangos activados puede distinguirse dos operaciones diferenciadas: la oxidación biológica y la separación sólido-líquido tal como se observa en la figura M 10.

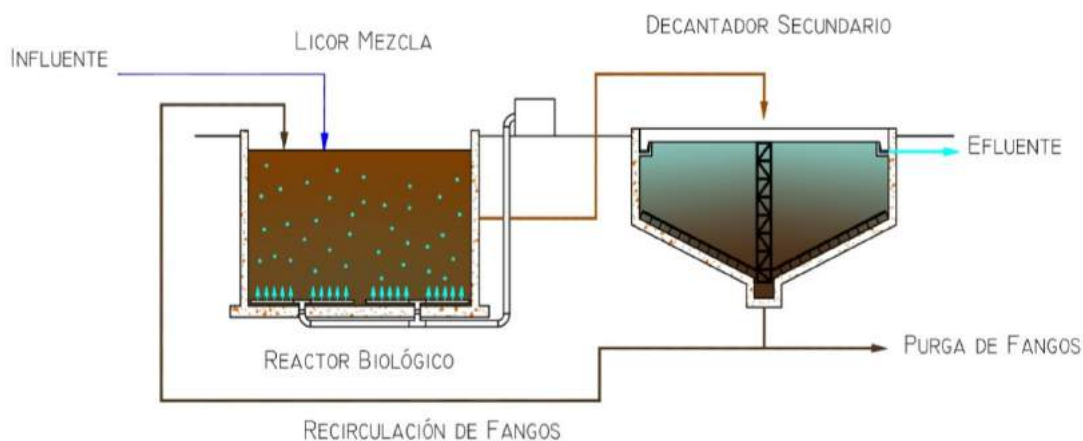


Figura M.10. Esquemas de un proceso de fangos activados. Fuente: CEDEX 2016.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

La primera tiene lugar en el reactor biológico o cuba de aireación. Donde se provoca el desarrollo de un cultivo biológico formado por un gran número de microorganismos agrupados en flóculos (fangos activados). La población bacteriana se mantiene en un determinado nivel (concentración de SS o SVS en el Licor Mezcla), para llegar a un equilibrio entre la carga orgánica a eliminar y la cantidad de microorganismos existentes en el reactor. El reactor se alimenta con el agua residual a depurar.

El proceso necesita para su desarrollo un sistema de aireación y agitación, que produzca el oxígeno necesario para la actividad depuradora de las bacterias, evitando la sedimentación de los flóculos y permitiendo la homogenización de los fangos activados.

El análisis microscópico de los fangos activados muestra partículas de decenas y centenas de micras de diámetro, con mucha superficie. Cada partícula incluye una colonia de microorganismos de varios tipos a las que se adhieren partículas de sólidos en suspensión.

El fango activado debe tener una amplia superficie específica para que posibilite las reacciones de oxidación biológica entre los microorganismos y el sustrato, y a la vez tener una buena sedimentabilidad, propiedades que son opuestas y obligan a buscar un compromiso que presenta dificultades.

Una vez que la materia orgánica ha sido suficientemente reducida, lo que requiere un tiempo de contacto suficiente, el licor mezcla se envía a la segunda operación, denominada clarificación o decantación secundaria, en la que se separa el agua depurada y los fangos activados floculados. Estos últimos se recirculan al reactor biológico, para mantener en el mismo una concentración suficiente de bacterias.

El excedente (fangos en exceso), se extrae del sistema y se evacua hacia el tratamiento de fangos.

7.3.3. Reacciones de oxidación Biológica.

En el reactor, tienen lugar las reacciones de oxidación biológica, dándose dos tipos diferentes: de síntesis o asimilación y respiración endógena.

Reacciones de síntesis o asimilación.

Estas reacciones consisten en la incorporación de elementos nutritivos (materia orgánica) al protoplasma de los microorganismos, produciéndose nuevas moléculas organizadas. Este proceso de asimilación es complejo y difícil. Ciertas partículas en disolución pueden

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

difundirse directamente a través de las membranas celulares de los microorganismos, pero la mayoría más complejas, deben sufrir un tratamiento previo de hidrólisis, mediante enzimas extracelulares, cuya actividad se ve profundamente afectada por el pH, la temperatura y la concentración del sustrato.

En estas reacciones se utilizan una parte de los compuestos orgánicos como fuente de energía necesaria para su realización, transformándose en productos inorgánicos finales como H_2O , CO_2 , nitratos y sulfatos. Otra parte se asimila para formar nuevo protoplasma, es decir para que crezca la masa de microorganismos.

Reacciones de respiración endógena.

Estas reacciones consisten en la autooxidación del protoplasma celular y aparecen cuando comienza a faltar la materia usada como alimento por los microorganismos. En su desarrollo se liberan los nutrientes usados previamente en la síntesis de nuevas células.

En el curso de las fases sucesivas de respiración endógena, una fracción del protoplasma es transformada en H_2O y CO_2 de tal forma que la masa de microorganismos disminuye y tiende hacia cero.

En la figura M.11, se representa esquemáticamente las reacciones globales de oxidación biológica.

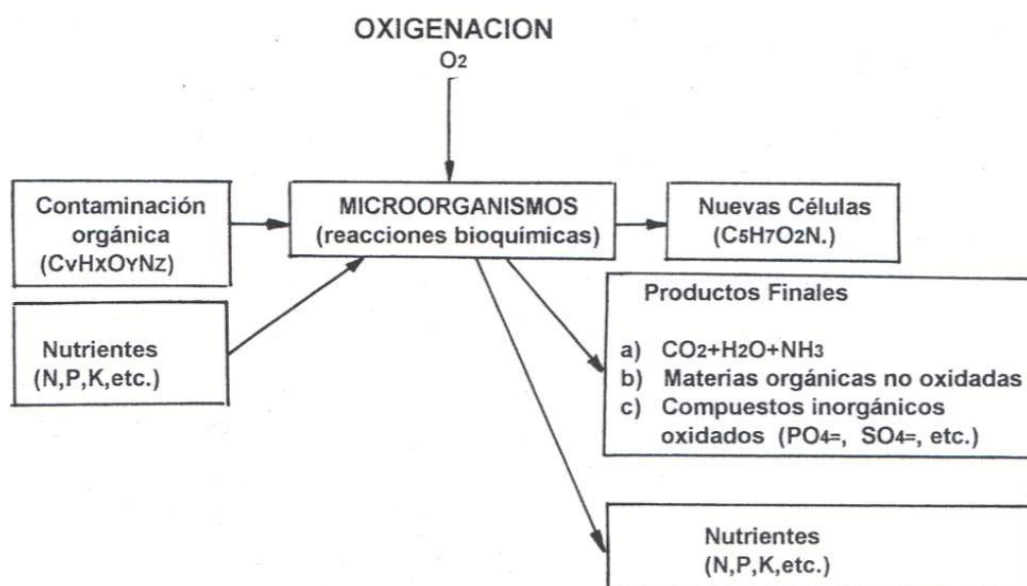


Figura M.11. Esquema de las reacciones que se producen en los procesos de oxidación biológica.

Fuente CEDEX 2016.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

7.3.4. Factores que intervienen en la oxidación biológica.

Los factores a tener en cuenta, son los siguientes:

- Las características del sustrato: Las características físicas y químicas de los contaminantes de las aguas residuales, determinan el tipo de reacciones biológicas que tendrán lugar y los microorganismos que se desarrollan en el sistema. La biodegradabilidad de los compuestos contaminantes, es fundamental para restablecer el rendimiento de los procesos biológicos.
- Los nutrientes: El protoplasma celular de los microorganismos, además de carbono, hidrógeno y oxígeno, contiene otros elementos como el nitrógeno, fósforo, azufre, sodio, potasio, magnesio, calcio, hierro, molibdeno, etc. Denominados nutrientes, que a pesar de que muchos de ellos se encuentran sólo en pequeñas cantidades (trazas), son fundamentales para el desarrollo de la síntesis biológica. Las cantidades precisas de nutrientes, dependen de las características del agua residual y del tipo de tratamiento biológico empleado.
- Aportación de oxígeno: Para el desarrollo de las reacciones biológicas es fundamental un medio aerobio, con oxígeno suficiente que permita la síntesis y la respiración endógena.
- Temperatura: La temperatura influye en las reacciones de oxidación biológica aumentando la velocidad de éstas, cuando crece la temperatura. Esta ley se mantiene hasta los 37 °C, momento en el que la velocidad de reacción desciende bruscamente, al morir los microorganismos por desnaturalización de las proteínas del protoplasma celular.
- Salinidad: Fuertes concentraciones de sales disueltas pueden producir un efecto inhibitor (por ejemplo. 1,6 g/l de amoníaco o 15 g/l de cloruros). Para aguas con concentraciones de cloruros inferiores al límite inhibitor, pero superiores a 5g/l, se producen problemas de desfloculación del fango. Dentro de estos límites, si la salinidad varía mucho y rápidamente, la velocidad de cambio de la presión osmótica puede producir una ruptura de la membrana celular.
- Tóxicos o inhibidores: existen una serie de sustancias orgánicas e inorgánicas que a ciertas concentraciones inhiben o impiden los procesos biológicos. Por ejemplo, los metales pesados (hierro, aluminio, cromo, cobre, zinc, etc.), ejercen un efecto

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

perjudicial, al actuar sobre las enzimas catalizadoras de las reacciones de síntesis. Los microorganismos sólo pueden tolerar concentraciones muy débiles de estos elementos (tan sólo de algunos miligramos por litro)

7.3.5. Diferentes configuraciones de los fangos activos

El sistema básico ha experimentado notables variaciones a lo largo de los años a fin de adaptarse a los distintos requerimientos del tratamiento, a modo ilustrativo se presentan las diferentes configuraciones para la eliminación de los nutrientes, se indican en la tabla M 5, aunque para el presente trabajo solo nos centraremos en la eliminación del nitrógeno mediante los procesos de nitrificación-desnitrificación.

Tabla M.5. Sistemas biológicos de eliminación de nutrientes. Fuente: tabla en línea.

Nombre	Configuración	Nutrientes
Ludzack-Ettinger modificado Anoxico-Oxico	AX-AE	N
Ludzack-Ettinger Anaerobio-Oxico	AN-AE	P
Bardenpho 4-etapas Bardenpho modificado Phoredox	AX-AE-AX-AE AN-AX-AE-AX-AE	N N y P
Bardenpho 3-etapas Phoredox 3-etapas	AN-AX-AE ^a	N y P
UCT	AN-AX-AE ^a	N y P
UCT modificado	AN-AX-AE ^a	N y P

(a) misma secuencia de reactor pero diferentes puntos de recirculación.
AN: anaerobio; AX: anóxico; AE: aerobio

Proceso de etapas separadas.

Primeramente la nitrificación y desnitrificación se lleva a cabo en etapas separadas en cadena, empleando el metanol como fuente de sustrato para la desnitrificación figura M 12.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

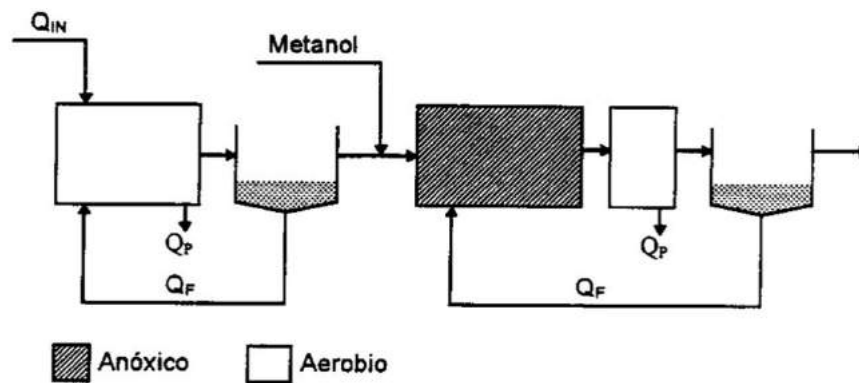


Figura M.12. Proceso de etapas separadas. Fuente: CEDEX 2016.

Se observa que en la etapa de desnitrificación con metanol incluye al final un reactor aerobio de pequeño volumen cuya función es la de liberar al aire el nitrógeno gas ocluido en los flocúlos del reactor anóxico, con el fin de mejorar las características de sedimentación del licor mixto enviado al decantador secundario.

Ludzack-Ettinger.

De la configuración anterior se observó, que las bacterias heterótrofas responsables de la biodegradación aerobia de la materia orgánica en un proceso de nitrificación, tenía la facultad de desnitrificar los nitratos producidos, utilizando la propia materia orgánica del agua residual influente en un reactor anóxico previo al reactor aerobio de nitrificación.

Así, se llegó al proceso Ludzack-Ettinger representado en la figura M 13 que es el más ampliamente utilizado en la actualidad y que combina en una sola etapa la nitrificación, la desnitrificación y la eliminación de materia orgánica.

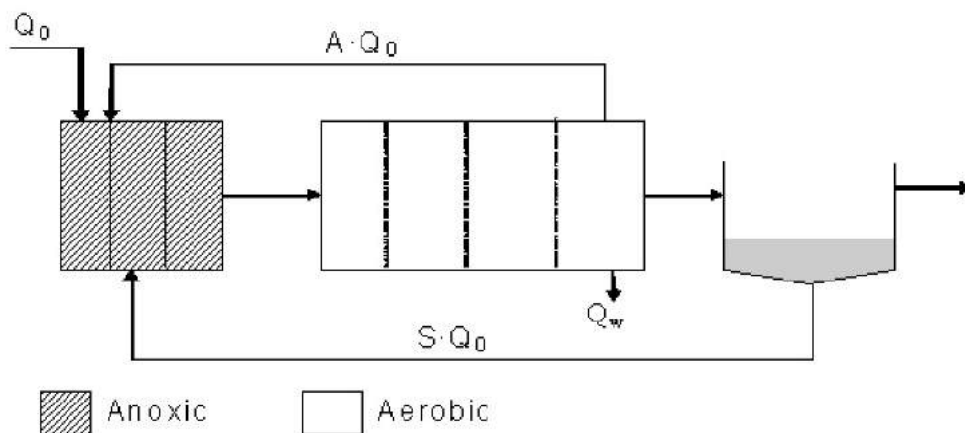


Figura M.13. Proceso Ludzack-Ettinger. Fuente: CEDEX 2016.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

En este proceso cabe observar que el influente es dirigido al reactor anóxico donde las bacterias heterótrofas procedentes de la recirculación de fangos eliminan la materia orgánica del agua influente utilizando los nitratos proporcionados por la propia recirculación de fangos y por una recirculación interna de licor mixto. Esta última, se emplea porque la recirculación de fangos no aporta la cantidad de nitratos suficientes para conseguir elevadas eliminaciones de los mismos.

Canales de oxidación.

En un canal de oxidación, el licor mezcla fluye dando vueltas en un canal cerrado, impulsado y aireado en uno o más puntos del canal mediante discos rotatorios o difusores sumergidos. Se establece una zona aerobia en la zona situada a continuación del aireador, y una zona anóxica en el tramo opuesto, como se observa en la figura M14. Al alimentar el caudal de agua residual a tratar aguas arriba de la zona anóxica, se consume parte del carbono contenido en el agua residual para la desnitrificación.

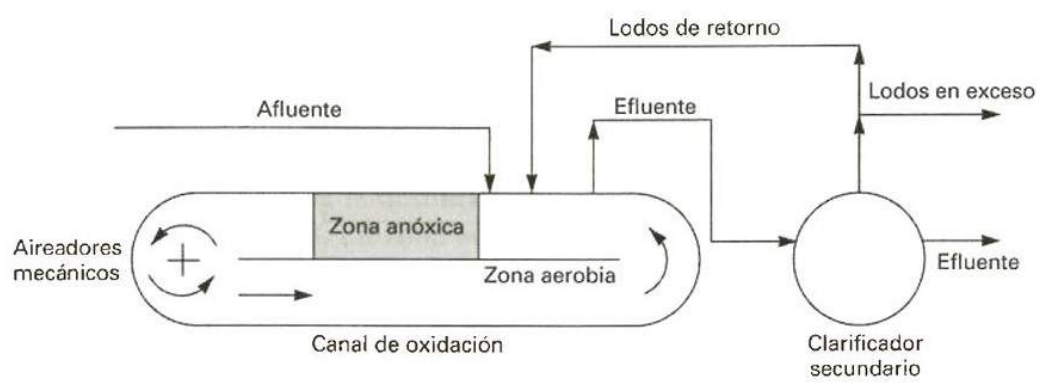


Figura M.14. Esquema de un canal de oxidación. Fuente: figura: en línea.

7.4. Las microalgas.

Bajo el término de microalgas se incluyen aquellos microorganismos unicelulares capaces de llevar a cabo la fotosíntesis. En esta categoría quedan agrupadas las cianobacterias (conocidas tradicionalmente como algas verdeazuladas) junto con algas eucariotas (tradicionalmente algas verdes, rojas y doradas).

Las microalgas son en general organismos fotoautótrofos, es decir, obtienen la energía de la luz proveniente del Sol y se desarrollan a partir de materia inorgánica. Sin embargo, algunas especies son capaces de crecer empleando materia orgánica como fuente de energía o de carbono. Según esto, la producción de microalgas se divide en:

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Fotoautótrofa: las algas obtienen la energía del Sol y el carbono de compuestos inorgánicos.

Fotoheterótrofa: obtienen la energía del Sol y emplean compuestos orgánicos como fuente de carbono

Mixotrófica: muchas algas son capaces de crecer bajo procesos tanto autótrofos como heterótrofos, de manera que la fuente de energía es tanto la luz como la materia orgánica. El carbono lo obtienen por tanto de compuestos orgánicos y de CO₂.

Heterótrofa: los compuestos orgánicos proporcionan tanto la energía como la fuente de carbono. Es decir, existen en efecto algas que pueden desarrollarse bajo ausencia de luz

7.4.1. Aplicación de las algas en la depuración.

El empleo de las microalgas para la depuración de aguas residuales ha sido promovido desde finales de la década de los cincuenta (Pauw and Vaerenbergh, 1983). Sin embargo, este sistema de tratamiento ha visto frenada la extensión de su uso debido a la gran superficie de terreno que necesita, y a la extensión de otros sistemas como el de fangos activados. Las algas son empleadas en numerosas partes del mundo para el tratamiento de aguas residuales, pero a pequeña escala.

La capacidad de las algas de eliminar nitrógeno y fósforo del agua las convierte sin embargo en una posibilidad real para la eliminación de nutrientes del agua residual. El consorcio algas-bacterias, en que las primeras generan el oxígeno necesario para la respiración de las segundas, cuya descomposición a su vez proporciona los nutrientes necesarios, junto a la energía lumínica, para la fotosíntesis, ha sido estudiado por diversos autores. (Safi et al., 2016), (Solimeno et al., 2017).

Los principales sistemas de depuración con algas son lagunas de estabilización no demasiado extensas, o sistemas de lagunaje de alta carga (high rate algal ponds o HRAP). Estos sistemas son canales de oxidación de poca profundidad y con sistemas mecánicos de mezclado, y han demostrado gran eficacia en el tratamiento de agua residual.

7.4.2. Lagunaje.

Los sistemas de lagunaje de alta carga (HRAP) son lagunas de 30 cm de profundidad que trabajan en el rango de 4-10 días de tiempo de retención hidráulico. Su poca profundidad

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

favorece el crecimiento de las microalgas, debido a la posibilidad de penetración de la luz en todo el volumen.

El efecto de la oscilación de la temperatura y luz solar a lo largo del día y del año es importante en la productividad de las algas, tanto en el sentido limitante como inhibitorio. El cultivo de algas en sistemas de lagunaje con iluminación natural puede presentar por tanto inconvenientes derivados de esta estacionalidad. Otros problemas posibles son la presencia de zooplancton depredador del cultivo (protozoos, hongos, incluso virus).

7.5. Modelos cinéticos de depuración biológica.

Las biocinéticas son expresiones matemáticas, modelos, que permiten predecir el comportamiento del reactor en el que se ha instalado la biomasa, depende de varios factores (pH, temperatura, presencia de sustrato, nutrientes y concentración de oxígeno), que se pueden modificar para poder controlar el crecimiento biológico. Para asegurar el crecimiento de los microorganismos, se les debe permitir un tiempo de permanencia en el sistema suficiente para que se reproduzcan.

En este sentido, las biocinéticas más comunes son las relacionadas con el crecimiento de la biomasa, con la eliminación de sustrato y con el consumo de oxígeno.

7.5.1 Modelos de crecimiento bacteriano.

Crecimiento celular.

Tanto en los sistemas de cultivo de alimentación continua como en los de alimentación discontinua, la tasa de crecimiento de las células bacterianas se puede definir mediante la siguiente expresión:

$$r_g = \mu \cdot X \quad M.3$$

Donde:

r_g : tasa de crecimiento bacteriano, (masa/volumen unitario tiempo).

μ : tasa de crecimiento específico, (tiempo^{-1}).

X : concentración de microorganismos, (masa/volumen unitario).

Crecimiento con limitación de sustrato.

En los cultivos de alimentación discontinua, si uno de los requisitos esenciales para el crecimiento (sustrato o nutrientes) está presente en cantidades limitadas, será el primero en

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

agotarse y se detendrá el crecimiento. En un cultivo continuo, este hecho tendrá el efecto de limitar el crecimiento. Experimentalmente, se ha podido determinar que el efecto de disponer de cantidades limitadas de sustrato de nutrientes, a menudo, se puede definir adecuadamente mediante la siguiente expresión desarrollada por Monod.

La ecuación de Monod es un modelo matemático para el crecimiento de microorganismos. Lleva el nombre de Jacques Monod, quien propuso usar una ecuación de esta forma para relacionar las tasas de crecimiento microbiano en un ambiente acuoso con la concentración de un nutriente limitante.

$$\mu = \mu_m \cdot \frac{S}{K_s + S} \quad \text{M.4}$$

Donde:

μ : Tasa de crecimiento específico, (tiempo⁻¹).

μ_m : Máxima tasa de crecimiento específico, (tiempo⁻¹).

S : concentración del sustrato que limita el crecimiento, (masa/unidad de volumen).

K_s : constante de velocidad mitad, concentración de sustrato a la mitad de la máxima tasa de crecimiento, (masa/unidad de volumen).

El efecto de la concentración de sustrato sobre la tasa de crecimiento específico se ilustra en la Figura M.15.

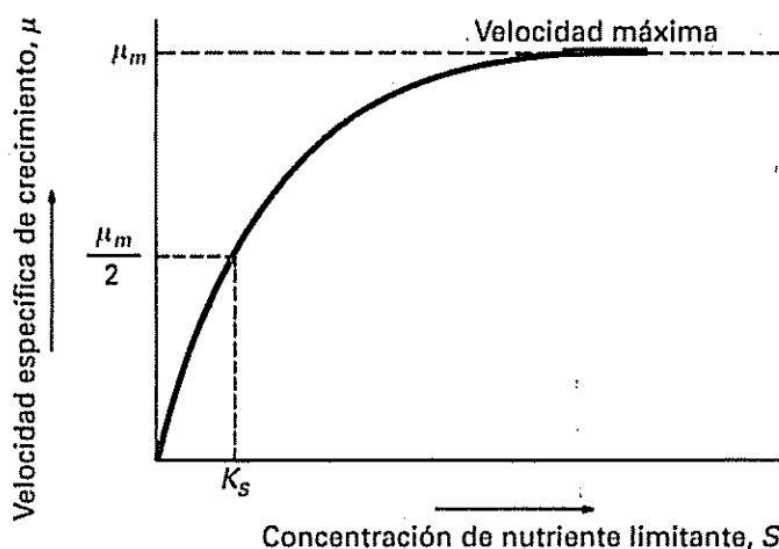


Figura M.15. Gráfico representativo de los efectos de un nutriente limitante sobre la velocidad específica de crecimiento. Fuente: Metcalf y Eddy, 1995.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Si se sustituye en la ecuación M.3 el valor de de la ecuación M.4, la expresión de la tasa de crecimiento que resulta es:

$$r_g = \frac{\mu_m \cdot X \cdot S}{K_S + S} \quad \text{M.5}$$

Crecimiento celular y utilización del sustrato.

Tanto en los sistemas de cultivo de alimentación continua como en los de alimentación discontinua, una parte del sustrato se transforma en células nuevas, y otra parte se oxida y da origen a productos finales orgánicos e inorgánicos. Dado que se ha observado que la cantidad de células nuevas producidas es la misma para un sustrato dado, se ha desarrollado la siguiente relación entre el grado de utilización del sustrato y la tasa de crecimiento:

$$r_g = -Y \cdot r_{su} \quad \text{M.6}$$

Donde:

r_g : Tasa de crecimiento bacteriano, (masa/unidad de volumen).

Y: coeficiente de producción máxima medido durante cualquier período finito de la fase de crecimiento exponencial, definido como la relación entre la masa de células formadas y la masa de sustrato consumido, (masa/masa).

r_{su} : tasa de utilización de sustrato, (masa/volumen tiempo).

Si se sustituye el valor de la tasa de crecimiento bacteriano (r_g) de la ecuación M.5 en la ecuación M.6, el grado de utilización de sustrato se puede definir como:

$$r_{su} = -\frac{\mu_m \cdot X \cdot S}{Y(K_S + S)} \quad \text{M.7}$$

En la ecuación M7, el término μ_m/Y se sustituye por el término k, definido como la tasa máxima de utilización del sustrato por unidad de masa de microorganismos:

$$k_m = \frac{\mu_m}{Y} \quad \text{M.8}$$

Si se sustituye el término k_m por el término μ_m/Y en la ecuación M 7, la expresión que resulta es:

$$r_{su} = -\frac{k_m \cdot X \cdot S}{K_S + S} \quad \text{M.9}$$

Efectos del metabolismo endógeno.

En los sistemas bacterianos que se emplean en el tratamiento biológico del agua residual, la distribución de edades de las células es tal que no todas las células del sistema están en la fase de crecimiento exponencial. Consecuentemente, la expresión de la tasa de crecimiento se debe corregir para tener en cuenta la energía necesaria para el mantenimiento celular. Otros factores, tales como la muerte y la depredación, también deben ser objeto de consideración. Generalmente, estos factores se engloban en uno único, y se supone que la disminución de la masa celular causada por ellos es proporcional a la concentración de organismos presentes. En la literatura técnica, esta disminución se identifica como descomposición endógena. El término de la descomposición endógena se puede formular de la siguiente manera:

$$r_d(\text{descomposición endógena}) = -k_d \cdot X \quad \text{M.10}$$

Donde:

k_d : Coeficiente de descomposición endógena, (tiempo⁻¹).

X: concentración de células, (masa/unidad de volumen).

Cuando la ecuación M.10 se combina con las ecuaciones M.5 y M.6, las expresiones que se obtienen para la tasa neta de crecimiento son las ecuaciones M.11 y M.12, de este modo, la tasa neta de crecimiento bacteriano (r'_g) tiene dos contribuciones o sumandos, la tasa de crecimiento bacteriano (r_g) y la tasa de descomposición endógena (r_d).

$$r'_g = \frac{\mu_m \cdot X \cdot S}{K_s + S} - k_d \cdot X \quad \text{M.11}$$

$$r'_g = -Y \cdot r_{su} - k_d \cdot X \quad \text{M.12}$$

Donde:

r'_g : tasa neta de crecimiento bacteriano, (masa/unidad de volumen).

La expresión correspondiente para la tasa neta de crecimiento específico viene dada por la ecuación M.13, que se obtiene al dividir la ecuación M.12 por la concentración de células (X).

$$\mu' = \mu_m \cdot \frac{S}{K_s + S} - k_d \quad \text{M.13}$$

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Efecto de la temperatura.

La dependencia de la temperatura de las constantes biológicas es muy importante para evaluar la eficiencia general de un proceso de tratamiento biológico. La temperatura no sólo influye sobre la actividad metabólica de la población bacteriana, sino que tiene un efecto profundo en factores tales como las tasas de transferencia de gas y las características de sedimentación de los sólidos biológicos.

El efecto de la temperatura en la tasa de reacción de un proceso biológico se expresa generalmente de la siguiente forma:

$$r_T = r_{20} \cdot \theta^{(T-20)} \quad M.14$$

En donde:

r_T : Coeficiente de reacción a la temperatura de operación (°C).

r_{20} : Coeficiente de reacción a la temperatura de 20 (°C).

θ : Coeficiente de actividad de la temperatura.

T: temperatura de operación (°C).

El valor de θ para los procesos biológicos varía desde cerca de 1,20 a 1,09, para los cálculos se ha adoptado el valor de 1,09.

Efecto del consumo de oxígeno

Se puede plantear que el consumo de oxígeno estará influido por la eliminación o utilización del sustrato y por el mantenimiento o respiración de la biomasa presente. Es decir:

$$\frac{dOD}{dt} = a \cdot \frac{dS}{dt} + b \cdot X \quad M.15$$

Donde:

dOD/dt : Velocidad de consumo de oxígeno (gr O₂/ L·t).

dS / dt : velocidad de consumo de sustrato (gr S / L·t).

a: coeficiente de utilización de oxígeno para la síntesis (gr O₂/ gr S).

b : coeficiente de respiración endógena (T⁻¹).

Ambos coeficientes, a y b, varían con el tipo de proceso.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Matriz de Petersen o matriz estequiométrica.

Las biocinéticas expuestas en el punto anterior representan una simplificación evidente de los procesos que tienen lugar en el reactor que contiene la biomasa. Si se desea modelizar con más precisión estos procesos, es necesario afinar las anteriores biocinéticas y contemplar otros mecanismos. Para mostrar de una forma sintética estos nuevos modelos se suele recurrir a su representación mediante una matriz estequiométrica. Es la forma que usa la IWA (International Water Association) para sus diferentes modelos biológicos. En la tabla 6 se muestra una matriz de Petersen sencilla, que incluye las biocinéticas del apartado anterior, su objetivo es mostrar cómo se representan los procesos, componentes y cinéticas en el sistema.

Tabla M.6. Matriz de Petersen o estequiométrica para un crecimiento aerobio heterótrofo.

Fuente: Modelación Dinámica de Fangos activos ASM1.IWA.

Componente i → Proceso j ↓	1 X _H	2 S _{DQO}	3 S _{O₂}	4 S _{NH₄}	Cinética
1 Crecimiento heterótrofo aerobio	+1	$-\frac{1}{Y_H}$	$-\frac{1-Y_H}{Y_H}$	$-i_{XB}$	$\mu_H \frac{S_{DQO}}{K_{DQO} + S_{DQO}} X_H$
2 R. endógena heterótrofa	-1		-1		$b'_H \frac{S_{O_2}}{K_{O_2,H} + S_{O_2}} X_H$
Parámetros estequiométricos: Y	<i>Velocidad de reacción observada (M.L³T⁻¹)</i> $r_i = \sum_j v_{ji} P_j$				Parámetros cinéticos: $\mu_H, K_{DQO}, b'_H, K_{O_2,H}$
	Biomasa (g DQO/m ³)	Sustrato (g DQO/m ³)	Oxígeno (g O ₂ /m ³)	Amonio (g N/m ³)	

Abajo de cada columna, se puede calcular la velocidad neta de reacción de cualquier componente i como resultante de los diferentes procesos j: $r_{i \text{ neta}} = \sum v_{ji} p_j$. La velocidad neta de utilización de oxígeno (r_{O_2}) debido al consumo ocasionado, tanto por el crecimiento como por la respiración endógena, será dada por la siguiente expresión:

$$r_{O_2} = -\frac{1-Y_H}{Y_H} \cdot \frac{\mu_H \cdot S_{DQO}}{K_{DQO} + S_{DQO}} \cdot X_H - \frac{b'_H \cdot S_{O_2}}{K_{O_2,H} + S_{O_2}} \cdot X_H \quad M.16$$

Siendo:

r_{O_2} : Velocidad neta de utilización de oxígeno (g O₂ / m³ · d).

Y_H : Crecimiento heterótrofo (g DQO formados/ g DQO utilizados).

μ_H : Tasa máxima de crecimiento específico heterótrofo (d⁻¹).

S_{DQO} : Concentración del sustrato que limita el crecimiento (g DQO/m³).

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

K_{DQO} : Coeficiente de saturación media para heterótrofos (g DQO/m³).

X_H : Concentración de microorganismos heterótrofos (mgSSV/L).

b'_H : Tasa de decaimiento heterótrofo (d⁻¹).

S_{O_2} : Concentración de oxígeno disuelto (g O₂/m³).

$K_{O_2,H}$: Coeficiente de saturación de oxígeno para heterótrofos (g O₂/m³).

8. RESULTADOS FINALES.

A continuación se describirá de manera general el procedimiento para la implantación del sistema microalgas-bacterias, su funcionamiento y los equipos propuestos en el dimensionamiento de la planta.

8.1 Escaldo a condiciones reales

En la tabla M.7 se ve detallado, según el caudal influente a tratar, los requerimientos necesarios de superficie (por el reactor biológico HRAP) y de volumen (por el reactor anóxico).

Tabla M.7. Escalado de la planta piloto a condiciones reales. Fuente: elaboración propia.

Caudal influente al reactor HRAP (m ³ /d)	Superficie del reactor HRAP (m ²)	Volumen del reactor anóxico (m ³)
5	40	9,01
25	200	45,05
50	400	90,10
100	800	180,19
200	1600	360,38
300	2400	540,58
400	3200	720,77
500	4000	900,96

Tal como se puede observar, a medida que se va aumentando el caudal influente las necesidades de espacio para llevar a cabo el proceso adquieren unos órdenes de magnitud considerables, es por tanto que, para que el proceso sea viable se fijan unas condiciones de operación, siendo estas:

- Caudal influente a tratar: 200 (m³/d).
- Superficie del reactor biológico: 1600 (m²).
- Volumen del reactor anóxico: 360,38 (m³).

Significar, que aunque la elección para este proyecto es de un caudal a tratar de 200 (m³/d), esta tecnología también se puede desarrollar bajo caudales aún mayores, pero en este punto es necesario asumir el espacio que ello conlleva, por tanto, si se dispone de la extensión de terreno requerida se podría tratar un mayor caudal.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Así mismo, se presenta en la tabla M 8, pequeñas poblaciones donde se podría implantar la presente tecnología.

Tabla M.8. Caudal influente en pequeñas poblaciones.

Fuente: EPSAR.

población	Caudal a tratar (m ³ /d)	Población servida (h-e)
Aín	39	167
Arañuel	55	155
Almedíjar	61	244
Ayodar	90	199
Cinctorres	105	436
La Llosa	160	626
Borriol	314	1128
La Pobla Tornesa	149	781
Benlloch	142	459

Como se puede observar, los caudales que se dan en estas poblaciones, se adaptan bastante a las condiciones propuestas en el proyecto, sirviendo este como alternativa al proceso biológico de fangos activos. También, significar que la temperatura es un parámetro crítico, ya que las velocidades de reacción en los procesos biológicos se ven muy afectadas por este parámetro, tal como se indica en las ecuaciones M.14 y A1.19, es por tanto que, aunque la tecnología se podría implantar en cualquier pequeña población, las zonas costeras son las más indicadas.

8.2 Sistema de agitación.

Dado el volumen necesario para el reactor anóxico, considerando este de 360,38 (m³) se obtiene la tabla M.9 con las potencia, máxima y mínima que el sistema necesita.

Tabla M.9.Cálculo de la potencia del agitador para un volumen de 360 m³.

Fuente: Elaboración propia.

V (m ³) Reactor anóxico	P min (KW)	P máx. (kW)
360,38	0,99	1,94

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Dado que, se plantea un máximo y mínimo de operación, se adoptará un término medio que servirá de base de cálculo para los posteriores apartados. De esta manera se fija un agitador con una potencia de 1,5 (kW).

8.3 Coste de operación.

La gran ventaja que ofrece la tecnología mediante microalgas, es el ahorro energético que se da al no tener que airear el reactor biológico mediante equipos mecánicos, por consiguiente, se plantea un ahorro en cuanto al funcionamiento de un reactor biológico convencional, presentado en la tabla M.10.

Así pues, si comparamos la explotación de un sistema de fangos activos con los de microalgas, se observa un ahorro desde el primer día de operación, si bien, ambos necesitan de un sistema de agitación, la configuración con microalgas no necesita de aireación mecánica y esto supone un coste menos de operación.

Tabla M.10.Coste eléctrico anual de explotación de una EDAR.

consumo eléctrico total (KWh/m ³)	Coste eléctrico anual (€/año)	Coste eléctrico mínimo anual por aireación (€/año)	Coste eléctrico medio anual por aireación (€/año)	Coste eléctrico máximo anual por aireación (€/año)
1,2	10599,6	4239,84	5829,78	7419,72

Como queda patente, se plantea un ahorro máximo, mínimo y medio, adoptando este último como base de cálculo para los siguientes apartados, considerando un ahorro de: 5.829,78 (€/año). Siendo este ahorro considerable, ya que para una población con un caudal influente a tratar de 200 (m³), el coste operativo asciende a: 10.599,6 (€/año), suponiendo alrededor de un 55% de ahorro de la explotación, solo por no tener que suministrar aire mecánicamente.

8.4 Inversión.

En la elaboración del presente proyecto, se ha llevado a cabo la elaboración de un presupuesto de obra civil, teniendo en cuenta las diferentes partidas que lo componen, es así que, el presupuesto necesario para la implantación del reactor anóxico de 360,38 (m³), con un sistema de agitación de 1,5 kW asciende a: 87.966,99 €

9. ORDEN DE PRIODIDAD ESTRE LOS DOCUMENTOS BÁSICOS.

Tal y como se establece en la norma UNE 157001-2014, “Criterios generales para la elaboración de los documentos que constituyen un proyecto técnico”, el orden de prioridad entre los documentos básicos será:

1. Índice General
2. Memoria
3. Anexos
4. Planos
5. Pliego de condiciones.
6. Mediciones
7. Presupuesto.

10. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA.

En este apartado se realizará un análisis económico del presente proyecto, teniendo en cuenta el presupuesto de explotación y la inversión inicial, así como el ahorro que supone eliminar la aireación mecánica.

10.1 Resumen del presupuesto.

En el siguiente apartado se resumirán las partes principales del presupuesto (en el documento Presupuesto se encuentran los cuadros de precios detallados).

10.1.1 PEM.

El presupuesto de ejecución material (PEM) consta de 7 partes, llamadas Partidas presupuestarias. En la tabla M.11. Se presentan cada una de ellas y el valor del presupuesto de ejecución material total.

Tabla M.11. PEM.

PARTIDA	COSTE
Partida 1: Conducciones y válvulas	9.021,09 €
Partida 2: Equipos	12.085,06 €
Partida 3: Adecuación del terreno y obra civil	30.456,35 €
Partida 4: Seguridad y Salud	1.289,06 €
Partida 5: Gestión de residuos de obra	1.546,87 €
Partida 6: Prueba de funcionamiento	148,38 €
Partida 7: Licencias	6.545,62 €
TOTAL	61.092,43 €

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

10.1.2 PEC.

El presupuesto de Ejecución por Contrata parcial se halla mediante la siguiente fórmula:

$$PEC_p = PEM + Gastos\ Generales + Beneficio\ industrial.$$

Tabla M.12. PEC parcial.

PEM	Presupuesto de Ejecución Material	61.092,43 €
GG	Gastos Generales	7.942,02 €
B Industrial	Beneficio industrial	3.665,55 €
	PEC parcial	72.699,99 €

El Presupuesto de Ejecución por Contrata se calcula añadiendo el valor del I.V.A. (21% actualmente) al valor del Presupuesto de Ejecución por Contrata parcial. El valor del PEC equivale a la inversión inicial a realizar para poder llevar a cabo el proyecto.

En el caso del presente proyecto, su valor es de: 87.966,99 €

10.2 Presupuesto de explotación.

El presupuesto de explotación, también llamado gastos totales, detalla los gastos previstos en un año.

10.2.1 Directos.

Cuando se habla de gastos directos se hace referencia a los gastos que dependen de la producción, en el caso de este proyecto, de la producción del agua. En él, se incorporan el consumo eléctrico del equipo de agitación.

Se presenta el consumo eléctrico anual del equipo de agitación y su coste, teniendo en cuenta que el coste de la energía eléctrica en las industrias es de 0,121 €/kWh (Iberdrola).

El agitador consume 1,5 kW de la red eléctrica, por ello, supone un gasto de:

$$1,5\text{ kw} \cdot \frac{24\text{ h}}{1\text{ d}} \cdot \frac{365\text{ d}}{1\text{ año}} \cdot \frac{0,121\text{ €}}{\text{kWh}} = 1.589,94\text{ €/año}$$

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

10.2.2 Amortizaciones.

En la tabla M.13 se muestra los años de amortización, así como el coste anual para la obra civil de la planta de tratamiento, depósito y los equipos que lo componen.

Tabla M. 13. Amortizaciones.

Elemento	ud	Cantidad	Precio por ud (€)	Precio total (€)	Período de amortización medio (años)	Amortización por año (€)
Hormigón armado depósito anóxico	m ³	79,76	228,83 €	18.250,62 €	25,00	730,02 €
Válvula bola de latón de 3 vías con actuador eléctrico	ud	1,00	1.638,00 €	1.638,00 €	10,00	163,80 €
Válvula de compuerta para lodos de hierro	ud	1,00	6.500,00 €	6.500,00 €	10,00	650,00 €
Agitador vertical	ud	1,00	6.700,00 €	6.700,00 €	10,00	670,00 €
Soporte del agitador	m ²	2,60	400,00 €	1.040,00 €	25,00	41,60 €
Tela sintética opaca permeable	ud	1,00	1.050,00 €	1.050,00 €	10,00	105,00 €
Sistema tramex de acero galvanizado	m ²	42,25	64,38 €	2.720,06 €	25,00	108,80 €
Escalera para el depósito anóxico	m.l	6,50	6,50 €	42,25 €	25,00	1,69 €
TOTAL						2.470,92 €

10.2.3 Indirectos.

Los gastos indirectos hacen referencia a aquellos que no dependen de la cantidad de producto producida, como pueden ser los costes de operarios presentes en la tabla M.14

Los gastos de amortización hallados en el apartado anterior del presente documento también se incluyen en los gastos indirectos.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Tabla M.14. Gastos de personal.

Personal	ud	Salario y seguridad social (€/año)	Total (€/año)
Jefe de planta (1/3 de la jornada)	1	36.000,00 €	12.000,00 €
operario	1	21.600,00 €	21.600,00 €
Total			33.600,00 €

Tabla M.15. Gastos por analíticas.

Analíticas	ud	Precio por unidad (€)	Total (€)
Análisis común	24	20,00 €	480,00 €

El total de gastos indirectos pues, sería la suma del coste del personal, amortizaciones y gastos en analíticas. En la tabla M 16 se muestra el resumen de gastos indirectos y el total.

Tabla M.16. Gastos indirectos totales.

Tipo de gasto indirecto	Total (€)
Amortizaciones	2.470,92 €
Personal	33.600,00 €
Analíticas	480,00 €
Total	36.550,92 €

10.2.4 Gastos totales.

El presupuesto de explotación anual es la suma de gastos directos e indirectos. Por tanto, los gastos anuales de la instalación previstos ascienden a: 38140.86 En la tabla M.17 se recoge el valor de los gastos que forman parte de los gastos totales.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Tabla M.17. Gastos totales.

Tipo de gasto	coste (€/año)
Gastos directos	1.589,94 €
Gastos indirectos	36.550,92 €
Total	38.140,86 €

10.3 Beneficio.

El cálculo del coste de la producción, se realiza teniendo en cuenta el presupuesto de explotación y la producción anual de agua:

$$\frac{38.140,86 \text{ €}}{\text{año}} \cdot \frac{1 \text{ año}}{73.000 \text{ m}^3} = 0,52 \text{ €/m}^3$$

Así pues, la producción de 1 m³ de agua se estima en 0,52 €.

10.3.1 Beneficio bruto.

La depuración de las aguas residuales en la mayoría de casos no conlleva beneficios, ya que se trata de un servicio. Pero para poder llevar a cabo el estudio de viabilidad económica se estima un ahorro energético anual por aireación de 5.829,78 €, mientras que se destinan 1.589.94 € en el sistema de agitación. Por lo tanto, el beneficio anual se obtiene al restar el coste que supone el sistema de agitación al ahorro energético del sistema de aireación, quedando un beneficio de: 4.239,84 €/año.

10.3.2 Beneficio neto.

El beneficio neto se obtiene restando al beneficio bruto anual obtenido anteriormente un 30% por impuestos de sociedades quedando: 2.967,89 €/año.

10.4 Flujo de caja.

El flujo de caja (FCa) hace referencia a los flujos económicos de entrada y salida en un período dado en una empresa, se tiene en cuenta la variación del IPC (Índice de Precios al Consumo) anual que se considera que es de un 1,5%, valor obtenido del Instituto Nacional de Estadística (INE) para el ejercicio del 2019.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

El flujo de caja se halla mediante la siguiente ecuación:

$$FCa = Bneto + Amortizaciones$$

En la tabla M.18 se muestran los resultados de los flujos de caja para un horizonte de 20 años.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Tabla M.18. Flujo de caja.

Horizonte (años)	Beneficio neto (€/año)	Amortización (€/año)	Flujo de caja (€/año)
1	2.967,89 €	2470,916832	5.438,80 €
2	3.012,41 €	2.507,98 €	5.520,39 €
3	3.057,59 €	2.545,60 €	5.603,19 €
4	3.103,46 €	2.583,78 €	5.687,24 €
5	3.150,01 €	2.622,54 €	5.772,55 €
6	3.197,26 €	2.661,88 €	5.859,14 €
7	3.245,22 €	2.701,81 €	5.947,02 €
8	3.293,90 €	2.742,33 €	6.036,23 €
9	3.343,30 €	2.783,47 €	6.126,77 €
10	3.393,45 €	2.825,22 €	6.218,67 €
11	3.444,36 €	2.867,60 €	6.311,96 €
12	3.496,02 €	2.910,61 €	6.406,63 €
13	3.548,46 €	2.954,27 €	6.502,73 €
14	3.601,69 €	2.998,59 €	6.600,27 €
15	3.655,71 €	3.043,57 €	6.699,28 €
16	3.710,55 €	3.089,22 €	6.799,77 €
17	3.766,21 €	3.135,56 €	6.901,76 €
18	3.822,70 €	3.182,59 €	7.005,29 €
19	3.880,04 €	3.230,33 €	7.110,37 €
20	3.938,24 €	3.278,78 €	7.217,03 €

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

10.5 Valor actual neto.

El Valor Actual Neto (VAN) es un indicador de la rentabilidad de un proyecto. Pueden darse tres casos:

-VAN < 0: indica que un proyecto no es rentable en un determinado período de tiempo.

-VAN > 0: el proyecto es rentable, las ganancias superan a los costes.

-VAN = 0: el proyecto no genera ni pérdidas ni ganancias.

Para su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^{n=20} \frac{Fca_n}{(1 + i_r)^n}$$

Siendo:

I_0 : inversión inicial

n: período de tiempo (años).

Fca_n : Flujo de Caja en un determinado año.

i_r : tipo de interés nominal (se considera un valor de 1,30%).

En la tabla M.19 se exponen los resultados obtenidos del VAN en un período de 20 años.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Tabla M.19. VAN.

Horizonte (años)	flujo de caja (€/año)	VAN (€/año)
1	5.438,80 €	-82.597,98 €
2	5.520,39 €	-77.218,37 €
3	5.603,19 €	-71.828,15 €
4	5.687,24 €	-66.427,27 €
5	5.772,55 €	-61.015,74 €
6	5.859,14 €	-55.593,52 €
7	5.947,02 €	-50.160,60 €
8	6.036,23 €	-44.716,95 €
9	6.126,77 €	-39.262,55 €
10	6.218,67 €	-33.797,38 €
11	6.311,96 €	-28.321,43 €
12	6.406,63 €	-22.834,66 €
13	6.502,73 €	-17.337,06 €
14	6.600,27 €	-11.828,60 €
15	6.699,28 €	-6.309,27 €
16	6.799,77 €	-779,05 €
17	6.901,76 €	4.762,10 €
18	7.005,29 €	10.314,19 €
19	7.110,37 €	15.877,23 €
20	7.217,03 €	21.451,26 €

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

10.6 Tasa interna de retorno.

La Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) ofrece la tasa de rentabilidad de un proyecto con un determinado valor de inversión.

Se halla con la siguiente ecuación:

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^{n=20} \frac{Fca_n}{(1 + TIR)^n}$$

Donde:

I_0 : inversión inicial

n: período de tiempo (años).

FCa_n : Flujo de Caja en un determinado año.

De esta manera, se ha obtenido un valor del TIR de 3,49%, por lo que el proyecto es viable económicamente.

11. CONCLUSIONES.

En el presente proyecto se ha diseñado un tanque anóxico necesario para llevar a cabo el proceso de depuración mediante microalgas. Para ello se han estudiado los principales aspectos de esta tecnología. Para el diseño y escalado del tanque se han utilizado balances de componente (nitrato) y cinéticas de reacción.

Cabe destacar que para el diseño del reactor anóxico, se ha definido una metodología específica y se han combinado los cálculos de ecuaciones con parámetros obtenidos mediante ensayos experimentales.

Dadas las peculiaridades del proyecto y sus cálculos, se ha llevado a cabo una exhaustiva búsqueda bibliográfica a fin de validar las hipótesis y los modos de proceder. Así mismo, el parámetro más crítico de cuantificar ha sido el porcentaje de bacterias heterótrofas en el sistema. En esta misma línea Safi et al, 2016 proporcionan un porcentaje promedio de todas las contribuciones para los SSV presentes en el reactor ya que no todos sólidos volátiles en suspensión están constituidos por las bacterias, haciéndose necesario un factor de corrección para poder cuantificarlas. Siendo este valor de un 20%, en nuestro caso obtuvimos un 26,8%.

Por consiguiente damos por válidos los cálculos realizados así como las hipótesis planteadas ya que la desviación es relativamente mínima, achacando dicha discrepancia a las condiciones de operación.

En cuanto al modo de operar del tanque anóxico en relación a su tamaño (volumen en este caso), queda patente que la implementación del bypass favorece las condiciones para que se produzca la desnitrificación en condiciones óptimas, ya que sin el bypass el volumen del reactor anóxico es el doble.

De esta manera para que la tecnología propuesta sea viable es necesario que disponga de un bypass de agua residual al tanque anóxico y completar así la desnitrificación.

Durante el escalado se ha observado que a medida que el caudal influente va aumentando, también lo hace el volumen del tanque anóxico, a razón de 1,8 por metro cúbico de agua residual a tratar.

Visto que a medida que las poblaciones y ciudades van creciendo, también lo hace la cantidad de agua a tratar por las depuradoras, y dado que la tecnología estudiada necesita

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

de bastante espacio para su explotación, resulta totalmente inviable para grandes poblaciones o ciudades por el tamaño de los reactores biológicos (Race Way/Raceway). Por tanto, la presente tecnología solo es viable para su implantación en pequeñas poblaciones, teniendo como principal ventaja sobre las depuradoras convencionales, la fácil operatividad y el ahorro energético al evitar la oxigenación mecánica.

Por lo tanto, para una depuradora con un caudal influente a tratar de 200 m³/d, el coste anual eléctrico de la explotación es de 10.599,6 €/año, donde el coste de la aireación supone la cantidad de 5829,78

€/año, de esta manera, queda justificado que la implantación de la tecnología por microalgas-bacterias supone un ahorro energético considerable.

En términos generales la presente tecnología y su configuración presentan las siguientes ventajas frente a las tecnologías existentes de depuración, ofrece buenos rendimientos de eliminación de nutrientes (nitrógeno en este caso) a un coste energético bajo y fácil operatividad por parte de los operarios. Como desventajas resaltan las grandes extensiones para su implantación y la disponibilidad de horas de sol para que las microalgas puedan realizar la fotosíntesis.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

2. ANEXOS

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

ÍNDICE ANEXOS

ANEXO 1: CÁLCULOS.

ANEXO 2: SEGUIMIENTO ANALÍTICO.

ANEXO 3: ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

ANEXO 1

CÁLCULOS

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

ÍNDICE ANEXO 1

1. DISEÑO DEL REACTOR ANÓXICO.....	1
1.1 Hipótesis de diseño.....	1
1.2 Ecuaciones de diseño.	2
1.3 Determinación experimental de parámetros.....	5
2. CÁLCULO DEL REACTOR ANÓXICO.	9
2.1 Velocidad de utilización de oxígeno r_{O_2}	9
2.2 Tasa de crecimiento específico heterótrofo μ_H	10
2.3 Velocidad de utilización del nitrato r_{NO_3}	10
2.4 Tiempo necesario para el consumo de oxígeno y para el consumo de los nitratos	11
2.5 Determinación del volumen total del reactor V	11
2.6 Sistema de agitación.....	12
3. OPERACIÓN DEL REACTOR.....	13
3.1 Ciclos diarios de temperatura, irradiancia pH y oxígeno disuelto.	13
4. CÁLCULOS DEL ESCALADO Y DEL SISTEMA DE AGITACIÓN.....	17
4.1. Cálculo de tuberías.	18
4.2. COSTES DE OPERACIÓN.....	19

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

1. DISEÑO DEL REACTOR ANÓXICO.

En primer lugar, se enumerarán las hipótesis consideradas para el diseño del reactor anóxico necesario para realizar la reacción de desnitrificación. Posteriormente, se presentan las ecuaciones deducidas para realizar este diseño, las cuales están basadas en los modelos cinéticos descritos en la introducción y adaptadas a las hipótesis de sistema a diseñar (consorcio microalga-bacteria).

1.1 Hipótesis de diseño.

Con el objetivo de validar las diferentes ecuaciones de diseño y el modo de operación del reactor, se proponen las siguientes hipótesis:

1. El reactor anóxico a diseñar es un tanque completamente agitado que opera con una alimentación continua y salida por rebose siendo el volumen útil constante, de este modo, el reactor responde a la configuración de reactor continuo de tanque agitado (RCTA).

El funcionamiento propuesto consiste en: alimentar el tanque anóxico a través del efluente del reactor biológico, trascurrido un tiempo de funcionamiento, se hace uso del bypass para dirigir el 100% del alimento directamente al reactor anóxico, sin pasar por el reactor biológico y así completar la reacción de desnitrificación.

2. Se considera que la oxidación de la materia orgánica por parte de las bacterias se lleva a cabo en reacciones secuenciales, es decir, primero se consume el oxígeno y posteriormente el nitrato. La primera reacción que se da es una oxidación orgánica utilizando el oxígeno disuelto residual (OD) que proviene del efluente del reactor HRAP. Una vez que el OD se agota, se da la segunda reacción donde las bacterias empiezan a consumir los nitratos como agente oxidante y se produce la desnitrificación.

Por este motivo se ha supuesto que la determinación del volumen total del reactor anóxico puede determinarse como la suma del tiempo necesario para el consumo de oxígeno del reactor y el tiempo necesario para el consumo de los nitratos

3. Puesto que las bacterias no son todas heterótrofas desnitrificantes, se considerará un porcentaje respecto al total de bacterias. Para ello se ha determinado de forma experimental y a partir de bibliografía la tasa máxima de crecimiento específico

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

heterótrofo (μ_H y μ_m respectivamente), el ratio entre ellas proporciona el porcentaje de bacterias heterótrofas reales en el sistema.

4. Se supone ausencia de actividad de las microalgas en el tanque anóxico. Se asume que, el reactor anóxico está cerrado y bien agitado, por lo tanto la acción de las microalgas como suministradoras de oxígeno es nula puesto que hay ausencia de luz.
5. Para el cálculo de la tasa de consumo de oxígeno de las bacterias desnitrificantes, se parte de la realización de una respirometría en condiciones de ausencia de luz y con exceso de sustrato. La representación y posterior ajuste a una recta nos proporcionará la velocidad del consumo de oxígeno buscado, a través de su pendiente.
6. En cuanto al cálculo de la tasa de desnitrificación, se hace uso de los parámetros bibliográficos del Metcalf y Eddy, 1995, para las diferentes fuentes de carbono propuestas: materia orgánica endógena (lentamente biodegradable) y materia orgánica del bypass (rápidamente biodegradable).

1.2 Ecuaciones de diseño.

A continuación se va establecer los balances para el cálculo del tiempo de retención necesario para consumir el oxígeno y el nitrato presentes en el reactor. A partir de ahí, conocido el caudal a tratar, se calculará el volumen del reactor haciendo uso de la ecuación A1.1.

$$S - E + A = G \quad A1.1$$

Y considerando que opera en estado estacionario, el término de acumulación se suprime obteniéndose la ecuación A1.2:

$$S - E = G \quad A1.2$$

Las contribuciones del balance de materia para el consumo de oxígeno ($\text{mg O}_2/\text{l}$) proveniente del HRAP son:

S: Es el término de entrada al tanque ($Q \cdot S_{O_2,0}$).

E: Es el término de salida del tanque ($Q \cdot S_{O_2,f}$).

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

A: Es el término de acumulación en el sistema ($\frac{dO_2}{dt}$).

G: Es el término de generación en el sistema ($v \cdot V \cdot r_{O_2}$).

Análogamente para el consumo de nitratos presentes en el tanque, mediante la reacción de desnitrificación (mg N-NO₃/l) que se da en condiciones anóxicas:

S: Es el término de entrada al tanque ($Q \cdot S_{NO_3,0}$).

E: Es el término de salida del tanque ($Q \cdot S_{NO_3,f}$).

A: Es el término de acumulación en el sistema ($\frac{dNO_3}{dt}$).

G: Es el término de generación en el sistema ($v \cdot V \cdot r_{NO_3}$).

La realización de dichos balances en estado estacionario proporcionó el tiempo necesario para el consumo de oxígeno y nitrato. Aplicando la definición de tiempo de retención hidráulico que se presenta en la ecuación A1.3:

$$TRH = V/Q \quad A1.3$$

Siendo:

TRH: tiempo de retención hidráulico (d).

V: volumen del tanque (m³).

Q: Caudal influente (m³/h).

Y aplicando la consideración del tiempo necesario para el consumo de oxígeno y de nitratos, la ecuación A1.3 queda de la siguiente manera:

$$TRH = TRH_{O_2} + TRH_{NO_3} \quad A1.4$$

Sabiendo que el caudal es constante ($Q = Q_i = Q_f$), ya que el reactor se alimenta constantemente y la salida se produce por rebose, se obtuvo el volumen del tanque como:

$$V = Q \cdot TRH \quad A1.5$$

Donde:

Q: el caudal total (m³/h).

Q_i: el caudal influente (m³/h).

Q_f: el caudal efluente (m³/h).

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

1.2.1. Balance de materia para el consumo de oxígeno.

Aplicando el balance de materia de la ecuación A1.2 para el consumo de oxígeno, la expresión adoptó forma que se indica en la ecuación A1.6:

$$(Q \cdot S_{O_2,f}) - (Q \cdot S_{O_2,0}) = (V \cdot r_{O_2}) \quad A1.6$$

Reordenando términos se obtuvo el tiempo de retención hidráulico de la siguiente manera:

$$Q \cdot (S_{O_2,f} - S_{O_2,0}) = V \cdot r_{O_2} \quad A1.7$$

$$r_{O_2} = \frac{Q \cdot (S_{O_2,f} - S_{O_2,0})}{V} \quad A1.8$$

$$r_{O_2} = \frac{(S_{O_2,f} - S_{O_2,0})}{\frac{V}{Q}} \quad A1.9$$

$$THR = \frac{V}{Q} = \frac{(S_{O_2,0} - S_{O_2,f})}{r_{O_2}} \quad A1.10$$

Donde:

$S_{O_2,0}$: Concentración de oxígeno disuelto en el influente (mg O_2/l).

$S_{O_2,f}$: Concentración de oxígeno disuelto en el afluente (mg O_2/l).

r_{O_2} : Velocidad neta de utilización de oxígeno (mg $O_2/l \cdot t$)

1.2.2. Balance de materia para el consumo de nitratos.

Se procedió de forma análoga que con el balance de materia al consumo de oxígeno, pero en este caso para el consumo del sustrato en forma de nitratos (S_{NO_3}).

$$(Q \cdot S_{NO_3,f}) - (Q \cdot S_{NO_3,0}) = V \cdot r_{NO_3} \quad A1.11$$

Reordenando términos se obtuvo el tiempo de retención hidráulico de la siguiente manera:

$$Q \cdot (S_{NO_3,f} - S_{NO_3,0}) = V \cdot r_{NO_3} \quad A1.12$$

$$r_{NO_3} = \frac{Q \cdot (S_{NO_3,f} - S_{NO_3,0})}{V} \quad A1.13$$

$$r_{NO_3} = \frac{(S_{NO_3,f} - S_{NO_3,0})}{\frac{V}{Q}} \quad A1.14$$

$$THR = \frac{V}{Q} = \frac{(S_{NO_3,0} - S_{NO_3,f})}{r_{NO_3}} \quad A1.15$$

Donde:

$S_{NO_3,0}$: Concentración de nitrato en el influente (mg NO_3/l).

$S_{NO_3,f}$: Concentración denitrato en el afluente (mg NO_3/l).

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

r_{NO_3} : Tasa de utilización del nitrato ($\text{mg } NO_3 / \text{l} \cdot \text{d}$).

1.3 Determinación experimental de parámetros.

1.3.1 Curva de consumo de O_2

Para disponer del valor de la velocidad específica de utilización de oxígeno (r_{O_2}), se ha propuesto la realización de una respirometría en condiciones controladas de laboratorio. Esta ha consistido en el seguimiento experimental de la concentración de oxígeno disuelto (S_{O_2}) en el licor mezcla en condiciones de ausencia de luz (y por tanto sin actividad fotosintética que aporte oxígeno al medio) observándose el paulatino decrecimiento a causa de la respiración de la biomasa.

La regresión de dicha evolución proporcionará los datos necesarios para obtener la velocidad de consumo de oxígeno, mediante su recta de ajuste, tal como se presenta en la figura A1.1. Cabe destacar que este experimento se ha realizado en las condiciones de exceso de sustrato orgánico (S_{DQO}) y oxígeno disuelto (S_{O_2}).

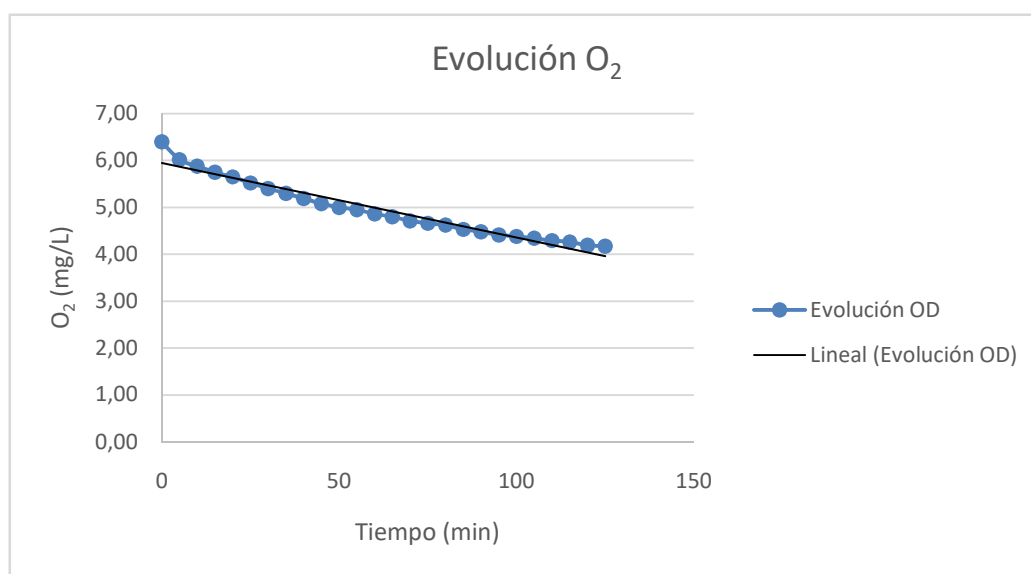


Figura A1.1. Evolución del oxígeno disuelto en la respirometría. Fuente: Elaboración propia.

Obteniendo de esta manera un ajuste lineal de la forma:

$$y = a \cdot t + b \quad \text{A1. 16}$$

Siendo:

y : S_{O_2} , Concentración de oxígeno disuelto ($\text{mg } O_2 / \text{l}$).

a: r_{O_2}' , velocidad neta de utilización de oxígeno ($\text{mg } O_2 / \text{l min}$).

t: Tiempo del experimento (min).

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

b: Concentración de oxígeno al inicio del experimento (mg O₂/l).

1.3.2 Velocidad de utilización del nitrato r NO₃

Para poder disponer de la velocidad de utilización del sustrato (r_{DQO}), se ha hecho uso de la tasa específica de desnitrificación (U') (Metcalf y Eddy, 1995) y de la biomasa heterótrofa presente en el licor mezcla (X_H), quedando una ecuación como la que sigue:

$$U' = - \frac{r_{DQO}}{X_H} = \frac{Q}{V} \cdot \frac{S_0 - S}{X_H} \quad A1.17$$

Asimismo la velocidad de utilización del sustrato queda de la siguiente manera:

$$r_{DQO} = -U' \cdot X_H \quad A1.18$$

Donde:

U': Tasa específica de desnitrificación según fuente de carbono (g N-NO₃/g SSVLM·d).

r_{DQO}: Tasa de utilización del sustrato (mg / l·d).

X_H: Concentración de microorganismos heterótrofos (mgSSV/L).

(S₀ - S) : Cantidad de sustrato utilizada (mg/l).

S₀ : Concentración de sustrato en el influente (mg/l).

S : Concentración de sustrato en el efluente (mg/l).

THR : tiempo de retención hidráulico (d).

En la mayoría de los sistemas de nitrificación/ desnitrificación biológica, el agua que hay que desnitrificar debe tener un contenido de carbono (materia orgánica) suficiente para proporcionar la energía necesaria para que las bacterias lleven a cabo la conversión del nitrato en nitrógeno gas. Las necesidades de carbono se pueden cubrir con fuentes internas, tales como el agua residual y la materia celular, o con fuentes externas tabla A1.1.

La tasa de desnitrificación se puede describir mediante la siguiente expresión (Metcalf y Eddy, 1995):

$$U' = U \cdot 1,09^{(T-20)} \quad A1.19$$

Siendo:

U: Tasa específica de desnitrificación a la T^a de operación (g N-NO₃/g SSVLM·d).

U': Tasa específica de desnitrificación según fuente de carbono (g N-NO₃/g SSVLM·d).

T: temperatura del agua residual (°C).

Tabla A1 1. Tasas de desnitrificación típicas para diferentes fuentes de carbono.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Fuente: Metcalf y Eddy, 1995

Fuente de carbono	Tasa de desnitrificación, Kg NO ₃ -N/kg SSVLM-d	Temperatura °C
Metanol	0,21-0,32	25
Metanol	0,12-0,90	20
Agua residual	0,03-0,11	15-27
Metabolismo endógeno	0,017-0,048	12-20

La biomasa heterótrofa (X_H) es el porcentaje equivalente de microorganismos heterótrofos en el sistema, respecto a la concentración de microorganismos totales y se define como:

$$X_H = \% \text{ organismos heterótrofos} \cdot X \quad A1.20$$

En donde:

X: la concentración total de microorganismos (mg/l)

% Organismos heterótrofos: porcentaje de organismos heterótrofos respecto a la cantidad total de biomasa, SSV totales.

Es decir, en el caso de tener un 100% de bacteria heterótrofas en el licor mezcla, la tasa de consumo de oxígeno experimental y teórica coincidirían, y una presencia de un 50% de biomasa no heterótrofa (microalgas, etc.), provoca por tanto que la tasa experimental determinada sea un 50% menor a la teórica. Por tanto, el % de biomasa heterótrofa puede determinarse como indica la ecuación A.21:

$$X_H = \frac{\mu_H}{\mu_m} \cdot X \quad A1.21$$

Siendo:

μ_H : Tasa máxima de crecimiento específico heterótrofo (d^{-1}), obtenida experimentalmente.

μ_m : Tasa máxima de crecimiento específico heterótrofo (d^{-1}), obtenida teóricamente (Solimeno et al., 2017).

X: Concentración de microorganismos (mg SSV/L).

Para la disposición del valor de μ_H , se ha hecho uso de la velocidad neta de utilización de oxígeno r_{O_2} ecuación M 16.

$$r_{O_2} = -\frac{1-Y_H}{Y_H} \cdot \frac{\mu_H \cdot S_{DQO}}{K_{DQO} + S_{DQO}} \cdot X_H - \frac{b'_H \cdot S_{O_2}}{K_{O_2,H} + S_{O_2}} \cdot X_H \quad M 16$$

Puesto que buscamos la máxima tasa de crecimiento se obviará el término de decaimiento heterótrofo, con lo cual suprimimos el siguiente sumando al igualarlo a cero:

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

$$-\frac{b'_H \cdot S_{O_2}}{K_{O_2,H} + S_{O_2}} \cdot X_H \cong 0$$

Además, como el experimento se realiza en condiciones de saturación, las respectivas contribuciones se considerarán iguales a la unidad, es decir:

$$\frac{S_{DQO}}{K_{DQO} + S_{DQO}} \cong 1$$

Quedando la siguiente ecuación:

$$r_{O_2} = -\frac{1-Y_H}{Y_H} \cdot \mu_H \cdot X_H \quad A1.22$$

Que al sustituir X_H por sus respectivas contribuciones, adopta la siguiente forma:

$$r_{O_2} = -\frac{1-Y_H}{Y_H} \cdot \mu_H \cdot \frac{\mu_H}{\mu_m} \cdot X \quad A1.23$$

Al hacer uso de la ecuación 1 para transformar los SSV en DQO, queda:

$$r_{O_2} = -\frac{1-Y_H}{Y_H} \cdot \mu_H \cdot \frac{\mu_H}{\mu_m} \cdot X \cdot 1,42 \quad A1.24$$

Reordenando términos y simplificando se ha llegado a la ecuación A1.27, que nos proporciona la máxima tasa de crecimiento específico heterótrofo experimental bajo las condiciones de saturación

$$r_{O_2} = -\frac{1-Y_H}{Y_H} \cdot \frac{\mu_H^2}{\mu_m} \cdot X \cdot 1,42 \quad A1.25$$

$$r_{O_2} \cdot \mu_m = -\frac{1-Y_H}{Y_H} \cdot \mu_H^2 \cdot X \cdot 1,42 \quad A1.26$$

$$\mu_H = \sqrt{\frac{r_{O_2} \cdot \mu_m}{-\frac{1-Y_H}{Y_H} \cdot X \cdot 1,42}} \quad A1.27$$

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

2. CÁLCULO DEL REACTOR ANÓXICO.

A continuación se presentan los datos de partida, así como los parámetros bibliográficos de que se dispone.

Tabla A1.2. Parámetros de partida. Fuente: elaboración propia.

S _o (mg/l) N-NO ₃	S _f (mg/l) N- NO ₃	OD _o (mg/l)	OD _f (mg/l)	X (mg/l) SSVLM	μ _H Max. teórico (d ⁻¹)	T (°C)	UDN (g N-NO ₃ /g SSVLM d)		Q (m ³ /d)	Y _H
							Metab. Endógeno	Agua residual		
20	5	8	0	350	1,3	20	0,048	0,11	0,8	0,67

Donde los parámetros fijados son:

S_f: siendo la concentración de nitratos en el efluente, fijados por normativa (mg N-NO₃/l).

OD_f: concentración de oxígeno que hay que garantizar para que se de la desnitrificación total (mg OD_f/l).

X: Concentración de microorganismos en el sistema (mgSSV/L).

μ_H : Tasa máxima de crecimiento específico heterótrofo obtenida bibliográficamente, parámetro del modelo ASM1 (modelización dinámica de fangos activos) (d⁻¹).

UDN: Tasas de desnitrificación típicas para diferentes fuentes de carbono obtenidas bibliográficamente (Metcalf y Eddy, 1995) (g N-NO₃/g SSVLM d).

Q: caudal influente de diseño (m³/d).

Y_H : Crecimiento heterótrofo obtenido bibliográficamente, parámetro del modelo ASM (g DQO formados/ g DQO utilizados).

2.1 Velocidad de utilización de oxígeno r O₂

Primeramente se va a evaluar el ajuste lineal de la figura A1.1, dicho ajuste corresponde a la ecuación A1.16 siendo:

$$S_{O_2} = -0,016 \cdot t + 5,949$$

Donde la pendiente de la recta es el valor de la velocidad de utilización de oxígeno (mg O₂/l·min) y el valor de la ordenada en el origen es la concentración de oxígeno al inicio del

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

experimento (mg O₂/l). Para homogenizar las unidades se propone el siguiente factor de conversión.

$$-0,016 \cdot \frac{\text{mg O}_2}{\text{l} \cdot \text{min}} \cdot \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ d}} = -22,9 \frac{\text{mg O}_2}{\text{l} \cdot \text{d}}$$

Como se puede observar la velocidad es negativa, puesto que se trata de consumo de oxígeno

2.2 Tasa de crecimiento específico heterótrofo μ_H .

Una vez disponemos de la velocidad de utilización del oxígeno, ya se puede calcular la tasa de crecimiento heterótrofo haciendo uso de la ecuación A1.27.

$$\mu_H = \sqrt{\frac{-22,9 \frac{\text{mg O}_2}{\text{l} \cdot \text{d}} \cdot 1,3 \cdot \frac{1}{\text{d}}}{-\frac{1-0,67}{0,67} \cdot 350 \frac{\text{mgSSV}}{\text{l}} \cdot 1,42 \frac{\text{mgDQO}}{\text{mgSSV}}} = 0,349 \text{d}^{-1}}$$

Así mismo, la Concentración de microorganismos heterótrofos X_H , se presenta mediante la ecuación A1.21.

$$X_H = \frac{0,349 \text{ d}^{-1}}{1,3 \text{ d}^{-1}} \cdot 350 \frac{\text{mgSSV}}{\text{l}} = 93,881 \frac{\text{mgSSV}}{\text{l}}$$

Donde el ratio 0,349/1,3, corresponde al porcentaje de bacterias heterótrofas, siendo este valor del 26,8 % respecto al total de bacterias.

2.3 Velocidad de utilización del nitrato r NO₃.

Con el objetivo de obtener la velocidad de utilización del sustrato ecuación A1.19, se hace uso de la tasa específica de desnitrificación U' (g N-NO₃/g SSVLM·d), según la fuente de carbono tabla A1.1, así mismo, podemos definir dos escenarios, el primer escenario corresponde al metabolismo endógeno como fuente de carbono, mientras que el segundo al del agua residual.

$$U'_{\text{Met.end}} = 0,048 \frac{\text{mg N} - \text{NO}_3}{\text{mg SSVLM} \cdot \text{d}} \cdot 1,09^{(20-20)^{\circ}\text{C}} = 0,048 \frac{\text{mg N} - \text{NO}_3}{\text{mg SSVLM} \cdot \text{d}}$$

$$U'_{\text{Agua res}} = 0,11 \frac{\text{mg N} - \text{NO}_3}{\text{mg SSVLM} \cdot \text{d}} \cdot 1,09^{(20-20)^{\circ}\text{C}} = 0,11 \frac{\text{mg N} - \text{NO}_3}{\text{mg SSVLM} \cdot \text{d}}$$

Ahora se procede a la implementación de la ecuación A1.18.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

$$r_{NO_3 \text{ Met.endo}} = -0,048 \frac{\text{mg N} - \text{NO}_3}{\text{mg SSVLM} \cdot \text{d}} \cdot 93,881 \frac{\text{mgSSV}}{\text{l}} = -4,506 \frac{\text{mg N} - \text{NO}_3}{\text{l} \cdot \text{d}}$$

$$r_{NO_3 \text{ Agua res}} = -0,11 \frac{\text{mg N} - \text{NO}_3}{\text{mg SSVLM} \cdot \text{d}} \cdot 93,881 \frac{\text{mgSSV}}{\text{l}} = -10,327 \frac{\text{mg N} - \text{NO}_3}{\text{l} \cdot \text{d}}$$

2.4 Tiempo necesario para el consumo de oxígeno y para el consumo de los nitratos

Tal como queda patente en las ecuaciones A1.10, A1.15 el tiempo de consumo de oxígeno y nitratos se puede obtener de la siguiente manera:

$$THR_{O_2} = \frac{(0 - 8) \cdot \frac{\text{mg O}_2}{\text{l}}}{-22,9 \frac{\text{mg O}_2}{\text{l} \cdot \text{d}}} = 0,35 \text{ d}$$

$$THR_{NO_3 \text{ Met.end}} = \frac{(5 - 20) \cdot \frac{\text{mg NO}_3}{\text{l}}}{-4,506 \frac{\text{mg N} - \text{NO}_3}{\text{l} \cdot \text{d}}} = 3,329 \text{ d}$$

$$THR_{NO_3 \text{ Agua.res}} = \frac{(5 - 20) \cdot \frac{\text{mg NO}_3}{\text{l}}}{-10,327 \frac{\text{mg N} - \text{NO}_3}{\text{l} \cdot \text{d}}} = 1,453 \text{ d}$$

2.5 Determinación del volumen total del reactor V.

Una vez determinadas las contribuciones del tiempo necesario para el consumo de materia orgánica, apartado anterior, se aplica la ecuación A1.5 para obtener el volumen total del reactor, también aquí contemplamos los dos escenarios antes descritos.

$$V_{\text{Met.endo}} = 0,8 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot (0,35 + 3,329) \text{ d} = 2,942 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{Agua.res}} = 0,8 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot (0,35 + 1,453) \text{ d} = 1,442 \text{ m}^3$$

A modo de resumen se presenta la tabla A1.3 con los datos relevante del cálculo.

Tabla A1.3. Tabla resumen del cálculo para el volumen del reactor anóxico. Fuente: Elaboración propia.

Condición de operación	r_{O_2} (mg O ₂ /l·d)	r_{NO_3} (mg N- NO ₃ /l·d)	THR O ₂ (d)	THR NO ₃ (d)	V (m ³)
Sin bypass	-22,896	-4,506	0,349	3,329	2,942
Con bypass		-10,327		1,453	1,442

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Así pues, para las condiciones de metabolismo endógeno, el volumen necesario para la desnitrificación sería de 3 m³, mientras que para el supuesto del aporte extra de agua residual por medio del bypass solo se necesita 1,5 m³.

2.6 Sistema de agitación.

En cuanto al sistema de agitación se parte de la siguiente ecuación

$$P = \mu \cdot G^2 \cdot V \quad A1.28$$

Donde:

P: Es la energía necesaria para la agitación (W).

μ : Es la viscosidad dinámica (Ns/m²).

G: El gradiente de velocidad (s⁻¹).

V: el volumen de mezcla (m³).

Para una viscosidad de 0,0011 (Ns/m²) se corresponde un gradiente de velocidad mínimo de 50 (s⁻¹), Por otra parte cabe destacar que la literatura considera que gradientes superiores a 125 (s⁻¹) causan rotura del flóculo, siendo habitual trabajar entre 30-80 (s⁻¹) (dato obtenido del curso: formación en arranques y seguimiento de sistemas HRAP de Microalgas), es por ello que para el cálculo de la potencia del agitador se supone un gradiente de velocidad máximo de 70 (s⁻¹), siendo este un valor conservador a fin de evitar la rotura del flóculo, ya que, valores más altos o cercanos a 125 (s⁻¹) podrían conllevar esta rotura.

Una vez conocido el volumen de mezcla tabla A1.3, se aplica la ecuación A1.28 obteniéndose:

Tabla A1.4. Cálculo de la potencia del agitador en la planta piloto. Fuente: elaboración propia.

V (m ³) Sin bypass	P min (W)	P máx. (W)	V (m ³) Con bypass	P min (W)	P máx. (W)
2,942	8,092	15,860	1,44	3,964	7,77

Como se puede observar en la tabla A1.4, el volumen del tanque anóxico será mucho menor al considerar el bypass, es por ello que, en la tecnología propuesta se dispondrá de dicho bypass para que el proceso sea eficiente, tanto en términos de reducción de nutrientes como en el espacio para su implantación.

3. OPERACIÓN DEL REACTOR.

3.1 Ciclos diarios de temperatura, irradiancia pH y oxígeno disuelto.

Uno de los parámetros que más influyen en el crecimiento de las microalgas y, por tanto, en la eliminación de nutrientes es la temperatura en las figuras A1.1 y A1.2, ambas dependientes de las condiciones climáticas de la localización en la que se encuentre el sistema. Por ello, se han monitorizado durante las épocas de invierno y de verano, estas condiciones corresponden a la entrada del reactor anóxico.

Se puede observar que la temperatura del reactor, al igual que el resto de parámetros monitoreados, están influenciados por los ciclos de día y noche. Encontrándose los mínimos en las primeras horas de la mañana y los máximos en las últimas horas de la tarde.

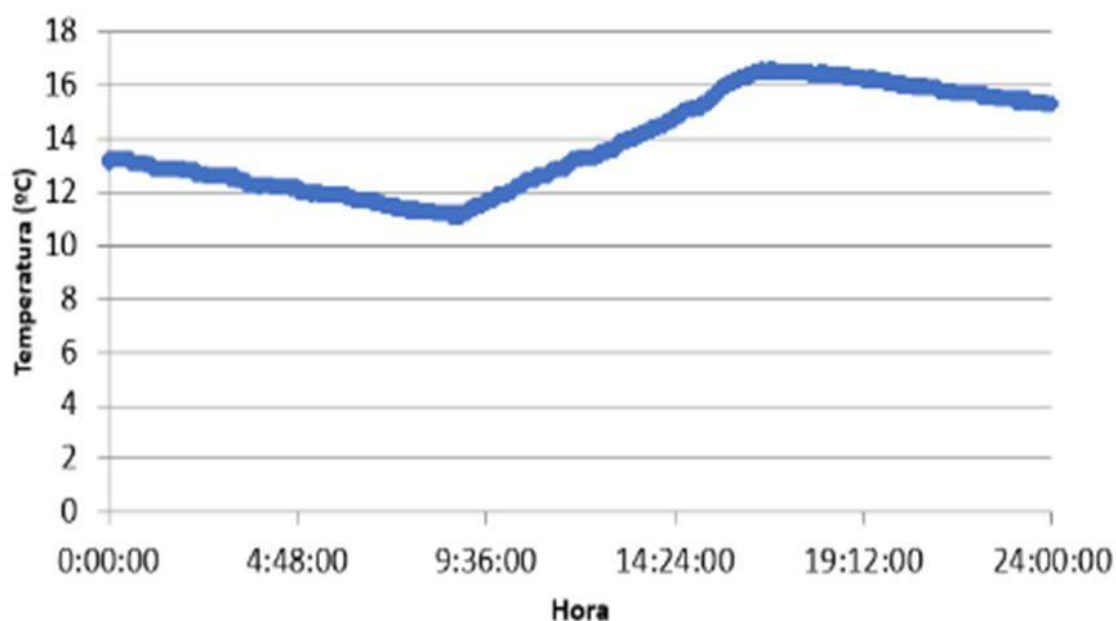


Figura A1.1 Gráfica del ciclo de temperatura en invierno. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

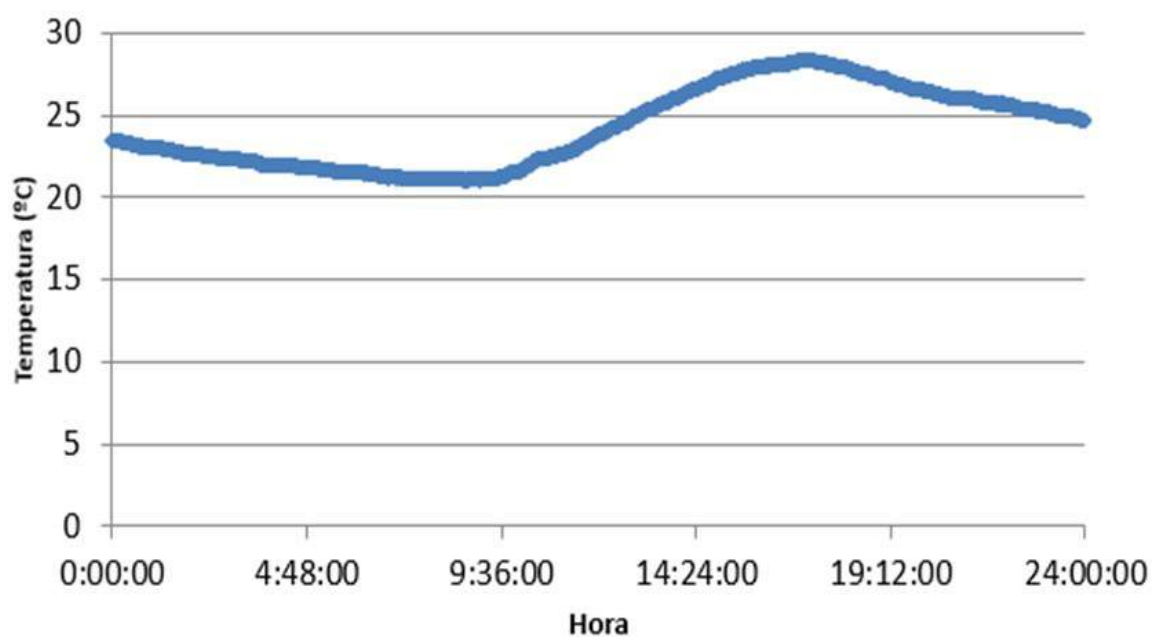


Figura A1.2. Gráfica del ciclo de temperatura en verano. Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en las figuras A1.3-A1.6 el pH y el oxígeno disuelto, también sufren una evolución cíclica. La oxigenación del medio depende directamente de la actividad fotosintética de las microalgas. El pH y el OD están estrechamente relacionados ya que durante la fotosíntesis se produce O_2 y se consume CO_2 y HCO_3^- , que desplazan el pH hacia valores más alcalinos.

En periodos de alta actividad fotosintética se observa que el oxígeno disuelto llega hasta más de un 200% de saturación en el medio, coincidiendo con las mayores subidas de pH

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

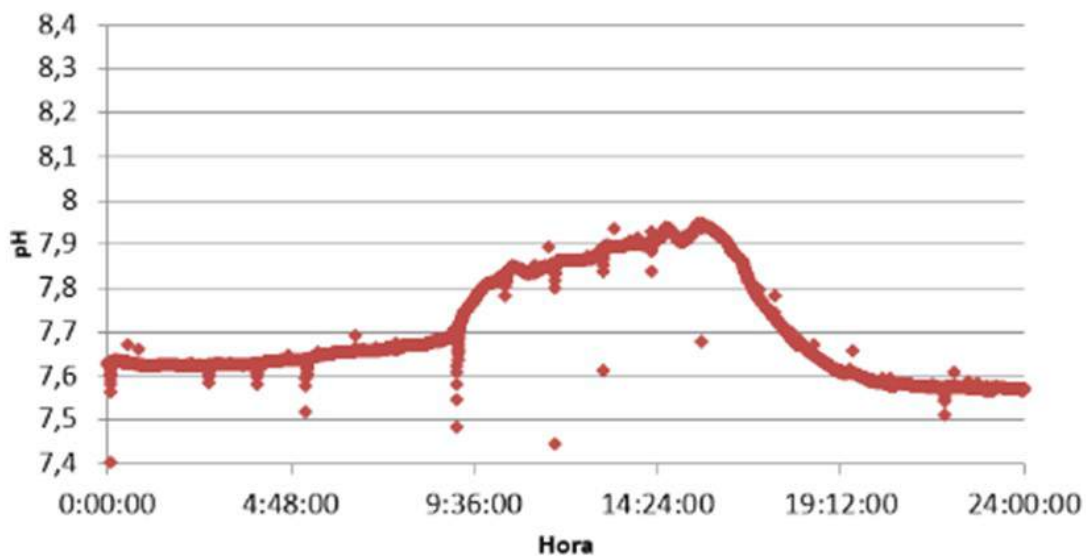


Figura A1.3 Gráfica del pH en invierno. Fuente: Elaboración propia.

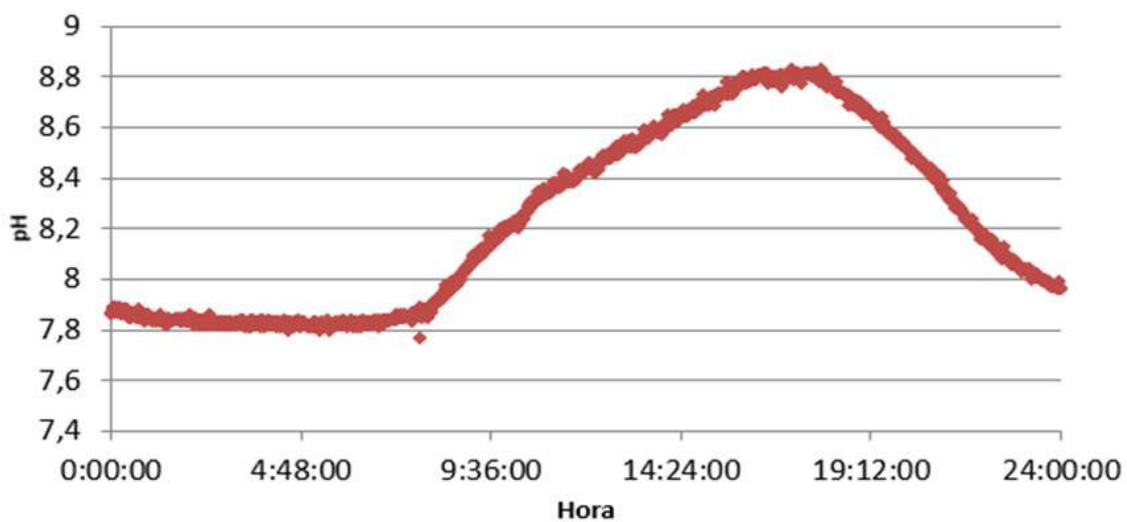


Figura A1.4 Gráfica del pH en verano. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

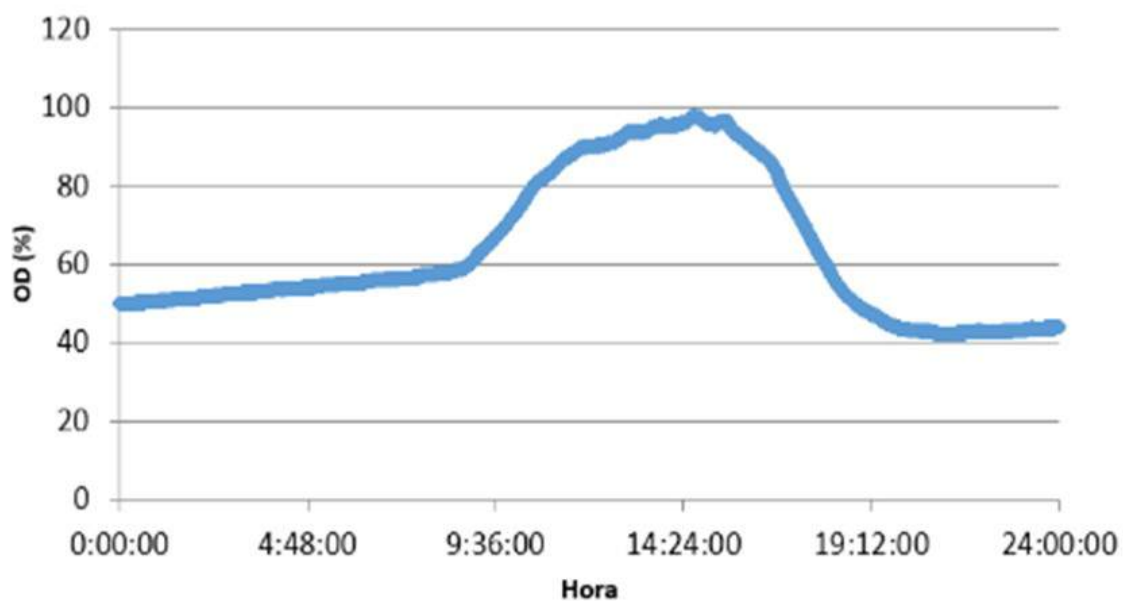


Figura A1.5. Gráfica del oxígeno disuelto invierno. Fuente: Elaboración propia.

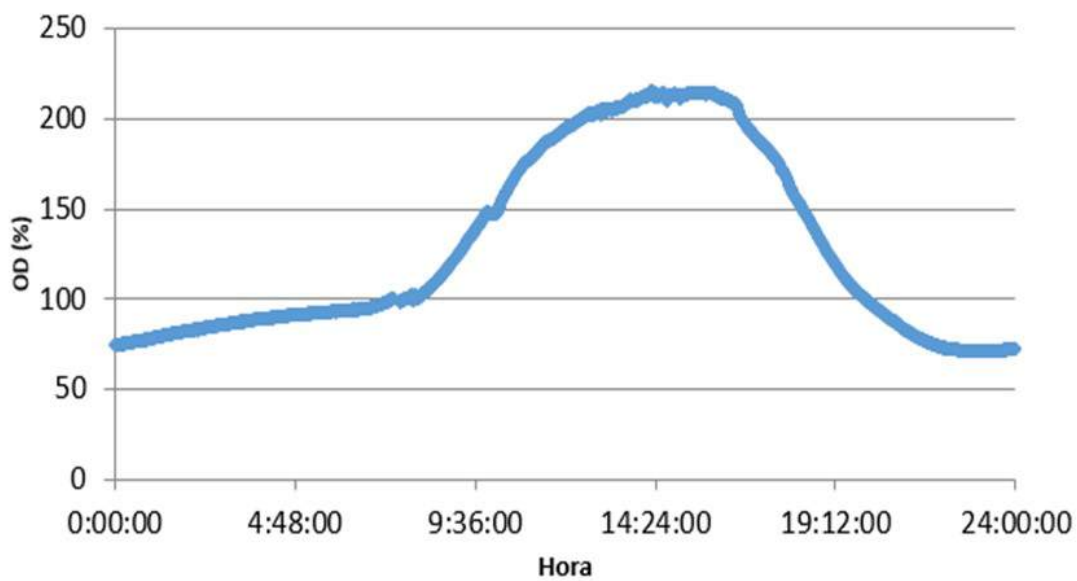


Figura A1.6. Gráfica del oxígeno disuelto verano. Fuente: Elaboración propia.

4. CÁLCULOS DEL ESCALADO Y DEL SISTEMA DE AGITACIÓN.

Haciendo uso de una hoja de cálculo con los parámetros citados en la tabla A1. 2, se simulan diferentes condiciones de operación, donde el parámetro que varía será el caudal influente y con este el volumen final necesario del tanque anóxico para que se lleve a cabo la desnitrificación como se puede observar en la tabla A1.5.

Tabla A1.5. Escalado de la planta piloto a condiciones reales. Fuente: elaboración propia.

Caudal influente al reactor HRAP (m ³ /d)	Superficie del reactor HRAP (m ²)	Volumen del reactor anóxico (m ³)
5	40	9,01
25	200	45,05
50	400	90,10
100	800	180,19
200	1600	360,38
300	2400	540,58
400	3200	720,77
500	4000	900,96

Cabe destacar que a la hora de realizar el escalado, el factor limitante es la capacidad del reactor HRAP para tratar el agua residual influente, es por ello que, se considera una constante de proporcionalidad de 8 m² de superficie útil del reactor HRAP por m³ de agua residual a tratar (dato obtenido del curso: formación en arranques y seguimiento de sistemas HRAP de Microalgas), de este modo el caudal máximo de diseño se fijará en 200 m³/d, ya que, si se sigue aumentando el caudal influente al reactor HRAP, este adoptará un tamaño considerablemente grande y consecuentemente el reactor anóxico también, factores que no favorecen la implantación de esta tecnología en pequeñas poblaciones.

Una vez conocido el volumen para los diferentes caudales propuestos, se procede del mismo modo que en apartado anterior, para la obtención de la potencia del agitador, haciendo uso de la ecuación A1.28 tal como se observa en la tabla A1.6.

Tabla A1.6 Cálculo de la potencia del agitador para un volumen de 360 m³.

Fuente: Elaboración propia.

V (m ³) Reactor anóxico	P min (KW)	P máx. (kW)
360,38	0,99	1,94

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

4.1. Cálculo de tuberías.

El material para la red de tubería es de PVC, material funcional y apto para cubrir las necesidades de este proyecto.

Para comenzar el cálculo, se determina la sección de la misma. Para ello, se calcula el diámetro interno o nominal adecuado. Estimando una velocidad de circulación de 1 m/s de manera general para flujos líquidos, y, considerando la sección de la tubería de forma circular, se deduce.

$$Q = v \cdot s \quad A1. 29$$

Donde:

Q: caudal volumétrico (m³/s).

v: velocidad lineal estimada (1 m/s).

s: Sección de la tubería (m²).

$$s = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad A1. 30$$

Donde:

D: Diámetro de la tubería (m).

Relacionando las ecuaciones 29y 30, se obtiene el diámetro óptimo de tubería.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v}} \quad A1. 31$$

Una vez calculado el diámetro interior que debería tener la tubería de las líneas de conexión, se elige la dimensión normalizada y se calculará la velocidad real de circulación por dicho tramo de tubería.

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2} \quad A1. 32$$

Así pues, para un caudal influente de 200 m³/d, la tubería de alimento será de:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,31 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\pi \cdot 1 \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}}} = 5,428 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Dado que las tuberías comercialmente se venden en milímetros.

$$D = 54,28 \text{ mm}$$

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

De igual modo, las tuberías están normalizadas en cuanto a su diámetro de fabricación, por tanto, el diámetro comercial elegido será el que cumpla con las condiciones de diseño según los fabricantes. De esta manera se presenta la tabla A1.7 con los siguientes diámetros:

Tabla A1.7. Diámetros de tubería normalizados.

Fuente: tabla obtenida del catálogo de Suministros Sequiol.

Diámetro nominal (mm)	Diámetro exterior (mm)
10	16
15	20
20	25
25	32
32	40
40	50
50	63
65	75
80	90

De esta manera, el diámetro de tubería elegido será:

$$D = 65 \text{ mm.}$$

Aplicado la ecuación A1.32, se determina la velocidad de circulación del fluido.

$$V = \frac{2,31 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{\frac{\pi}{4} \cdot (0,065 \cdot \text{m})^2} = 0,70 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

4.2. COSTES DE OPERACIÓN.

Una vez calculado el volumen necesario para llevar a cabo el proceso de depuración para un caudal diario de 200 m³/día mediante esta tecnología, se ha realizado un cálculo del ahorro que supone la implementación de este tipo de tecnología comparado con la de fangos activados. Es importante destacar que únicamente se ha considerado el ahorro relacionado con los costes de operación relacionados con el sistema de aireación, sin atender a los costes de inversión del sistema de aireación: soplantes, tuberías, difusores, etc.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

El coste que asumen las depuradoras convencionales en la aireación del reactor biológico, supone entre 40-70% del consumo eléctrico de toda la instalación (datos obtenidos de los apuntes del curso “estaciones de depuración de aguas residuales, funcionamiento y explotación”), asumiendo un consumo eléctrico de 1.2 KWh/m³ de agua residual tratada y un precio de 0.121 €/KWh consumido (Iberdrola), obtenemos que:

Tabla A1.8 Coste eléctrico anual de explotación de una EDAR.

consumo eléctrico total (KWh/m ³)	Coste eléctrico anual (€/año)	Coste eléctrico mínimo anual aireación (€/año)	Coste eléctrico medio anual aireación (€/año)	Coste eléctrico máximo anual aireación (€/año)
1,2	10599,6	4239,84	5829,78	7419,72

De este modo, se obtiene un coste máximo, mínimo y promedio por el sistema de aireación. Así, de forma general, el coste promedio que conlleva la aireación mecánica es el ahorro que se consigue al implantar la tecnología basada en microalgas y bacterias.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

ANEXO 2

SEGUIMIENTO ANALÍTICO

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

ÍNDICE SEGUIMIENTO ANALÍTICO

1. Introducción.....	1
2. Analíticas realizadas.....	1
2.2. Sólidos en suspensión y volátiles.....	2
2.2.1 Materiales.....	2
2.2.2. Procedimiento.....	2
2.3. Nutrientes y DQO.....	6
2.3.1. Kits de ensayo fotométricos.....	6
2.3.2. Test con reactivos.....	6
2.3.3 Materiales.....	6
2.3.4. Procedimiento.....	7
2.3.4.7. Nitrógeno total.....	12
2.3.4.8. Equipo experimental.....	13
3. Representación gráfica.....	16

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

1. Introducción.

Durante el presente proyecto se ha llevado un control analítico durante las 2 etapas de funcionamiento del reactor Raceway, siendo estas:

- Reactor Raceway sin tanque anóxico
- Reactor Raceway con tanque anóxico

En cada una de las 2 etapas se han analizado los siguientes parámetros:

- Sólidos en suspensión (SS).
- Sólidos volátiles (SSV).
- Fósforo total (P_t).
- Nitrógeno total (N_t).
- Nitratos (NO_3^-).
- Nitritos (NO_2^-).
- Amonio (NH_4^+).
- Demanda química de oxígeno (DQO).

Para ello primero se definen 3 zonas de muestra en la primera etapa (influyente, licor mezcla del reactor Raceway y el efluente), y 4 zonas de muestreo para la segunda etapa (influyente, licor mezcla del reactor Raceway, licor mezcla del tanque anóxico y efluente).

Estos valores han sido utilizados para definir las condiciones de contorno de los cálculos, siendo: los nitratos en el influyente y la cantidad de oxígeno en el medio los parámetros más representativos.

2. Analíticas realizadas.

Cabe mencionar que las analíticas se han realizado en las instalaciones de la EDAR de Villareal, puesto que, disponían del material necesario para su realización.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

2.2. Sólidos en suspensión y volátiles.

Se denominan sólidos en suspensión al peso de las sustancias disueltas en un litro de muestra (previa filtración), a 103-105 °C, expresado en mg/L.

Se filtra al vacío un volumen conocido de muestra con papel de fibra de vidrio previamente pesado, se seca a 103-105 °C y se pesa (hasta pesada constante). La diferencia de peso obtenida expresada en mg/L representan los sólidos en suspensión.

Si se calcina luego el filtro en mufla a 550 °C durante 2 horas, se deja enfriar y se pesa, se obtienen los sólidos suspendidos fijos. Los sólidos en suspensión se obtienen por diferencia entre los sólidos en suspensión y los sólidos fijos.

2.2.1 Materiales.

- Papel de fibra de vidrio con tamaño de poro de 0.45 µm.
- Mufla.
- Balanza analítica.
- Aparato de filtrado.
- Desecador.
- Estufa de laboratorio.

2.2.2. Procedimiento.

Se monta el instrumento de filtrado y el filtro (previamente tarado) y se inicia la succión

Se filtra un volumen de muestra bien mezclada.

Secar en horno a 103-105 °C durante una hora, enfriar en desecador y pesar.

Finalmente calcinar en la mufla a 550 °C durante 2 horas.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

2.2.2.1. Equipo experimental.



Figura S.1. Disposición de la bomba de vacío y puente de succión. Fuente: Imagen propia.



Figura S.2. Desecador (izquierda), balanza analítica (derecha). Fuente: Imagen propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos



Figura S.3. Estufa de laboratorio. Fuente: Imagen propia.



Figura S.4. Interior de la estufa con los filtros de fibra de vidrio. Fuente: imagen propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos



Figura S.5. Mufla de laboratorio. Fuente: Imagen en línea.

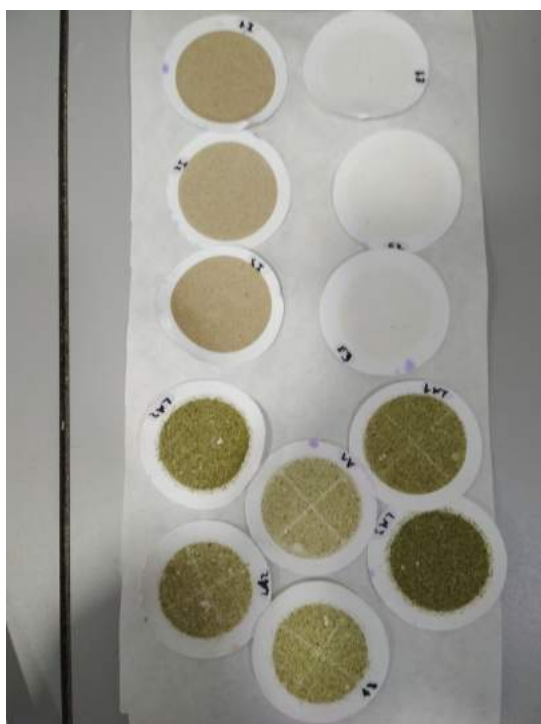


Figura S.6. Muestras filtradas, identificadas según punto de muestreo. Fuente: Imagen propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

2.3. Nutrientes y DQO.

Para la obtención de estos parámetros se hace uso de kits de ensayo fotométricos.

2.3.1. Kits de ensayo fotométricos.

Por medio de reactivos, el componente de una muestra a analizar se convierte en un compuesto coloreado en una reacción específica. Los reactivos o mezclas de reactivos contienen (además del reactivo selectivo para un parámetro a determinar) un determinado número de sustancias auxiliares que son esenciales para el curso de la reacción. Estos incluyen, por ejemplo, soluciones amortiguadoras para ajustar el pH al valor óptimo para la reacción, y agentes enmascarantes que suprimen o minimizan la influencia de iones interferentes.

Las reacciones de color se basan en la mayoría de los casos en procedimientos analíticos normalizados, que fueron optimizados para un manejo sencillo, menos trabajo y tiempos de reacción más cortos.

2.3.2. Test con reactivos.

El principio de los tests con reactivos es que los reactivos necesarios para la reacción de color están combinados en forma de concentrados líquidos, o de mezclas de sustancias sólidas. Se añaden a la muestra unas pocas gotas del concentrado reactivo. Esto significa que no es necesario diluir la muestra, lo que aumenta la sensibilidad de la detección.

2.3.3 Materiales.

- Fotómetro.
- Termorreactor.
- Test con reactivos.
- Pipetas.
- Matraz aforado.
- Parrilla de metal.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

- Filtros de 45 μm .

2.3.4. Procedimiento

2.3.4.1 Preparación de las muestras.

Para diferenciar entre sustancias contenidas en el agua disueltas y no disueltas, la muestra de agua puede filtrarse a través de papel de filtro sencillo. Para una filtración fina se necesita, filtros de membrana de un tamaño de poro de 0,45 μm .



Figura S.7. Procedimiento de microfiltración. Fuente: Manual Spectroquant NOVA.

- 1: Extraer la jeringuilla el líquido a filtrar.
- 2: Girar la jeringuilla firmemente en la pieza del filtro de membrana.
- 3: Mantener la jeringuilla hacia arriba y apretar el líquido lentamente hacia arriba hasta una humectación exenta de burbujas de aire del filtro de membrana.
- 4: Filtrar el contenido de la jeringuilla hacia el recipiente de vidrio previsto.

2.3.4.2 DQO

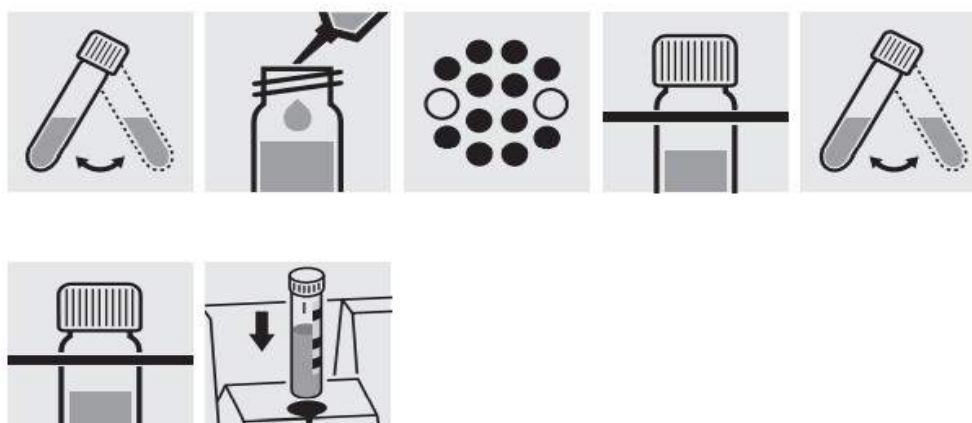


Figura S.8. Procedimiento de la medición de la DQO. Fuente: Manual Spectroquant NOVA.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

- 1: Poner en suspensión el sedimento del fondo de la cubeta mediante agitación por balaceo.
- 2: Añadir 2,0 ml de la muestra con la pipeta cuidadosamente en una cubeta de reacción, cerrar firmemente con la tapa roscada y mezclar intensamente.
- 3: Calentar la cubeta en el termorreactor durante 2 horas a 148 °C.
- 4: Sacar la cubeta del termorreactor, dejarla enfriar en un soporte para tubos de ensayo.
- 5: Después de enfriar durante 10 minutos, agitar otra vez la cubeta por balaceo.
- 6: Volver a colocar la cubeta en el soporte y dejarla enfriar hasta temperatura ambiente.
- 7: colocar la cubeta en el compartimento para cubetas. Hacer coincidir la raya de marcado de la cubeta con la marca del fotómetro.

2.3.4.3. P total.

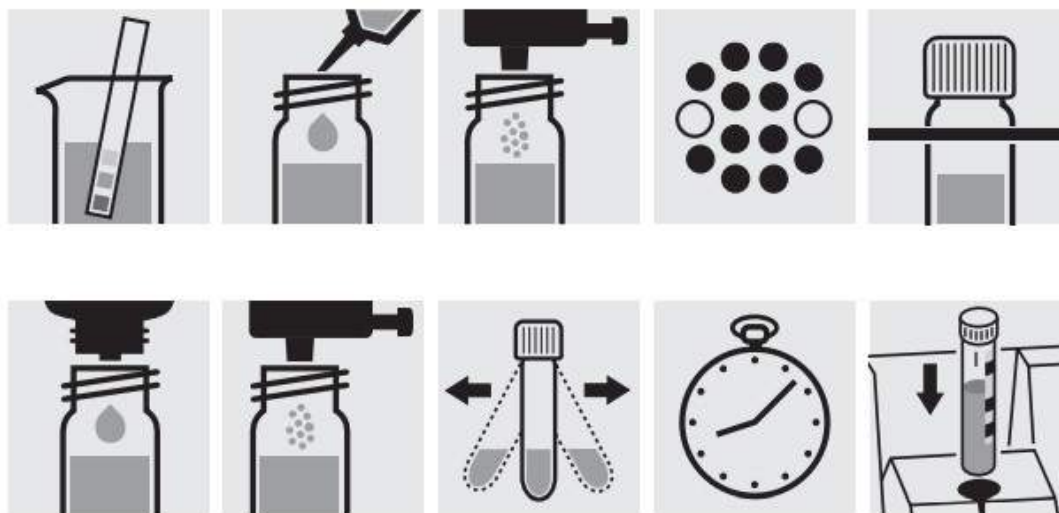


Figura S.9. Procedimiento de la medición del P total. Fuente: Manual Spectroquant NOVA.

- 1: Comprobar el valor del pH de la muestra, intervalo necesario: pH 0-10. En caso necesario, corregir el valor del pH añadiendo gota a gota ácido sulfúrico diluido.
- 2: Pipetear 1,0 ml de la muestra en una cubeta de reacción, cerrar con la tapa roscada y mezclar.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

- 3: Añadir 1 dosis de P-1K con el dosificador verde, cerrar con la tapa roscada.
- 4: Calentar la cubeta de reacción durante 30 minutos a 120 °C.
- 5: Sacar la cubeta del termorreactor, dejarla enfriar a temperatura ambiente en un soporte para tubos de ensayo.
- 6: Añadir 5 gotas de P-2K, cerrar con la tapa roscad y mezclar.
- 7: Añadir 1 dosis de P-3Kc con el dosificador azul, cerrar con la tapa roscada.
- 8: Agitar intensamente la cubeta para disolver la sustancia sólida.
- 9: Tiempo de reacción 5 minutos.
- 10: Colocar la cubeta en el compartimento para cubetas. Hacer coincidir la raya de marcado de la cubeta con la marca del fotómetro.

2.3.4.4. Amonio.

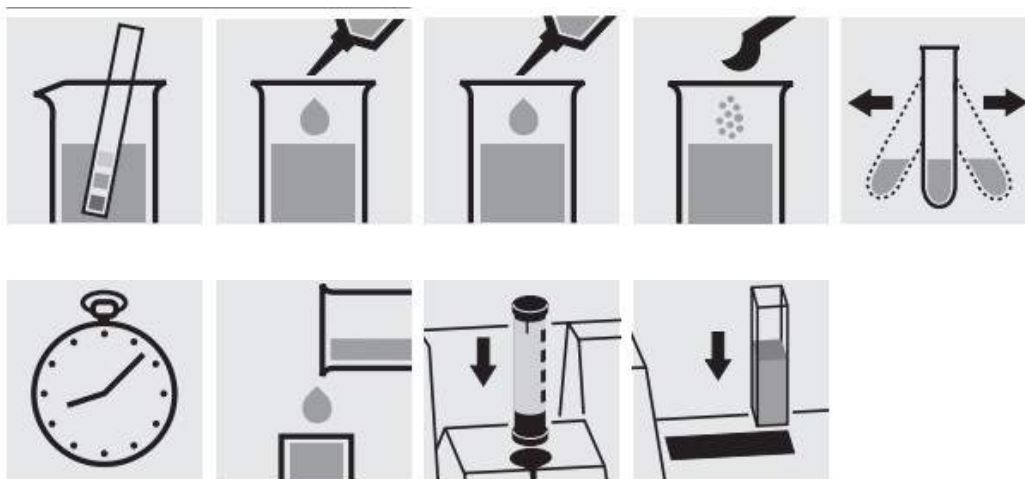


Figura S.10. Procedimiento de la medición del Ptotal. Fuente: Manual Spectroquant NOVA.

- 1: Comprobar el valor del pH de la muestra, intervalo necesario: pH 4-13. E caso necesario, corregir el valor del pH añadiendo gota a gota solución diluida de hidróxido sódico o de ácido sulfúrico.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

- 2: Pipetear 5,0 ml de NH_4^{-1} , en un tubo de ensayo.
- 3: Añadir 0.2 ml de la muestra con la pipeta y mezclar.
- 4: Añadir 1 microcucharada azul rasa de NH_4^{-2} .
- 5: Agitar intensamente el tubo para disolver la sustancia sólida.
- 6: Tiempo de reacción 15 minutos.
- 7: Añadir la solución en la cubeta.
- 8: Seleccionar el método con el Auto Selector 2,0-75,0 mg/l.
- 9: Colocar la cubeta en el compartimento para cubetas.

2.3.4.5. Nitratos.



Figura S.11. Procedimiento de la medición de los nitratos. Fuente: Manual Spectroquant NOVA.

- 1: Pipetear 0.5 ml de la muestra en una cubeta de reacción, no mezclar.
- 2: Añadir 1,0 ml de NO_3^{-1} con la pipeta, cerrar con la tapa roscada y mezclar.
- 3: Tiempo de reacción 10 minutos.
- 4: Colocar la cubeta en el compartimento para cubetas. Hacer coincidir la raya de marcado de la cubeta con la marca del fotómetro.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

2.3.4.6. Nitrito.

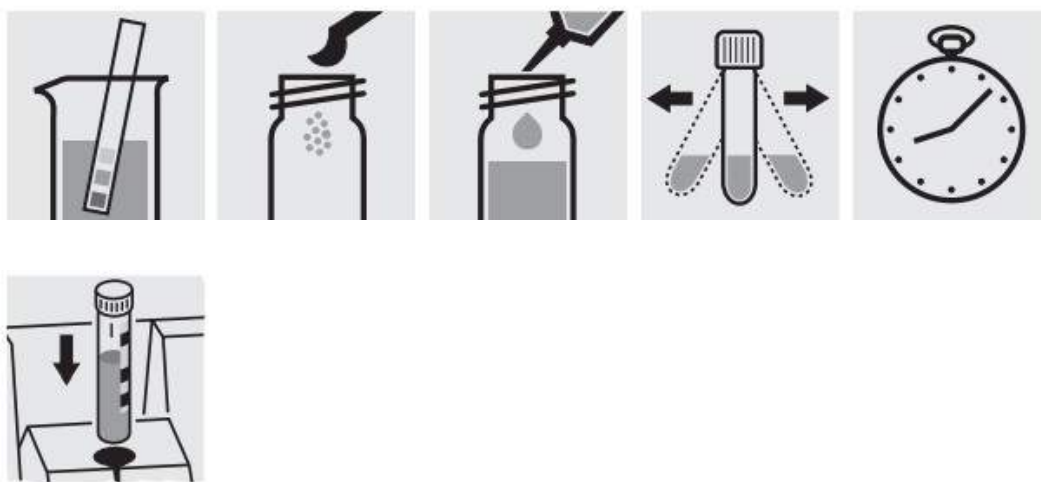


Figura S.12. Procedimiento de la medición de los nitritos. Fuente: Manual Spectroquant NOVA.

- 1: Comprobar el valor del pH de la muestra, intervalo necesario: pH 1-12. En caso necesario corregir el valor del pH añadiendo gota a gota ácido sulfúrico diluido.
- 2: Añadir 2 microcucharadas azules rasas de NO_2^{-1}K en una cubeta de reacción.
- 3: Añadir 8,0 ml de la muestra con la pipeta, cerrar la cubeta con la tapa rosca.
- 4: Agitar intensamente la cubeta para disolver la sustancia sólida.
- 5: Tiempo de reacción: 20 minutos, medir inmediatamente. No agitar o balancear la cubeta antes de la medición.
- 6: Colocar la cubeta en el compartimento para cubetas. Hacer coincidir la raya de marcado de la cubeta con la marca del fotómetro.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

2.3.4.7. Nitrógeno total.

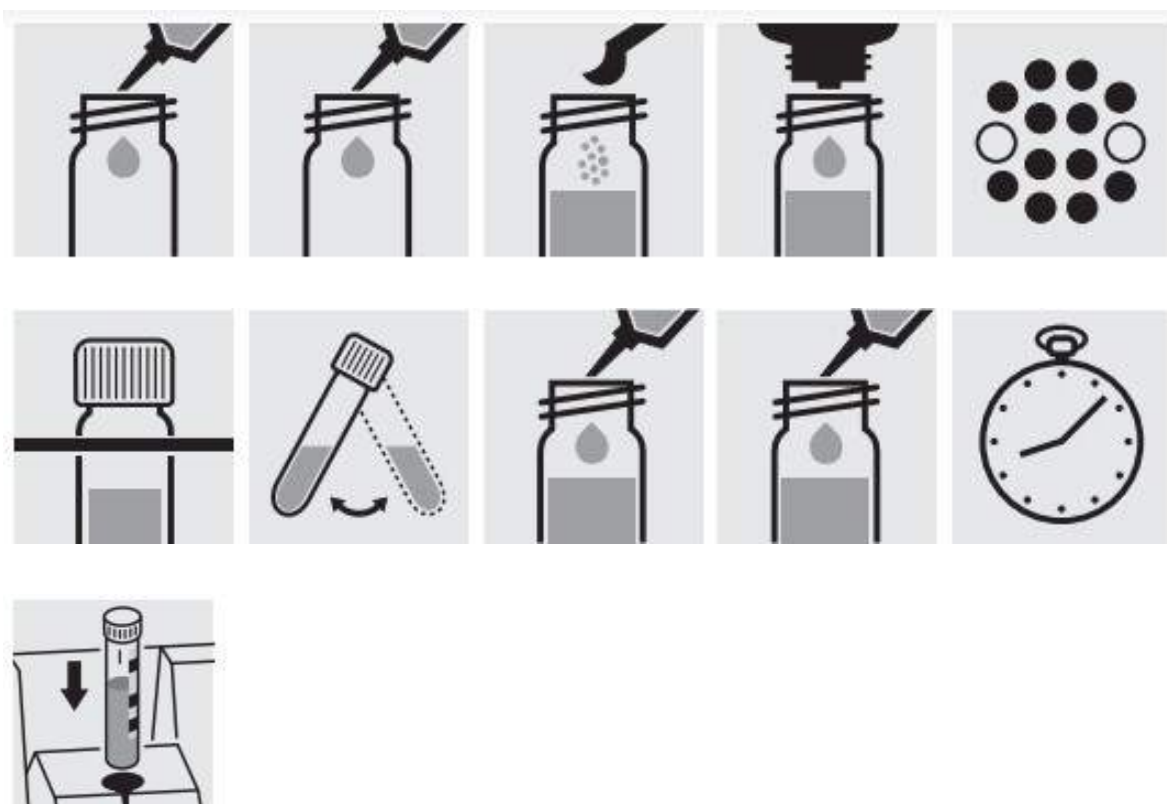


Figura S.13. Procedimiento de la medición del N total. Fuente: Manual Spectroquant NOVA.

- 1: Pipetear 1,0 ml de la muestra en una cubeta redonda vacía.
- 2: Añadir 9,0 ml de agua destilada.
- 3: Añadir una microcucharada rasa de N-1K.
- 4: Añadir 6 gotas de N-2K, cerrar con la tapa roscada y mezclar.
- 5: Calentar la cubeta de reacción durante una hora a 120 °C.
- 6: Sacar la cubeta del termorreactor, dejarla enfriar a temperatura ambiente en un soporte para tubos de ensayo: Muestra preparada.
- 7: Después de enfriar durante 10 minutos, agitar otra vez la cubeta por balanceo.
- 8: Pipetear 1,0 ml de la muestra preparada en un tubo de ensayo, no mezclar.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

9: Añadir 1,0 ml de N-3K con la pipeta, cerrar con la tapa roscad y mezclar.

10: Tiempo de reacción: 10 minutos.

11: Colocar la cubeta en el compartimento para cubetas. Hacer coincidir la raya de marcado de la cubeta con la marca del fotómetro.

2.3.4.8. Equipo experimental.



Figura S.14. Fotómetro. Fuente: Imagen propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos



Figura S.15. Termorreactor. Fuente: Imagen propia.

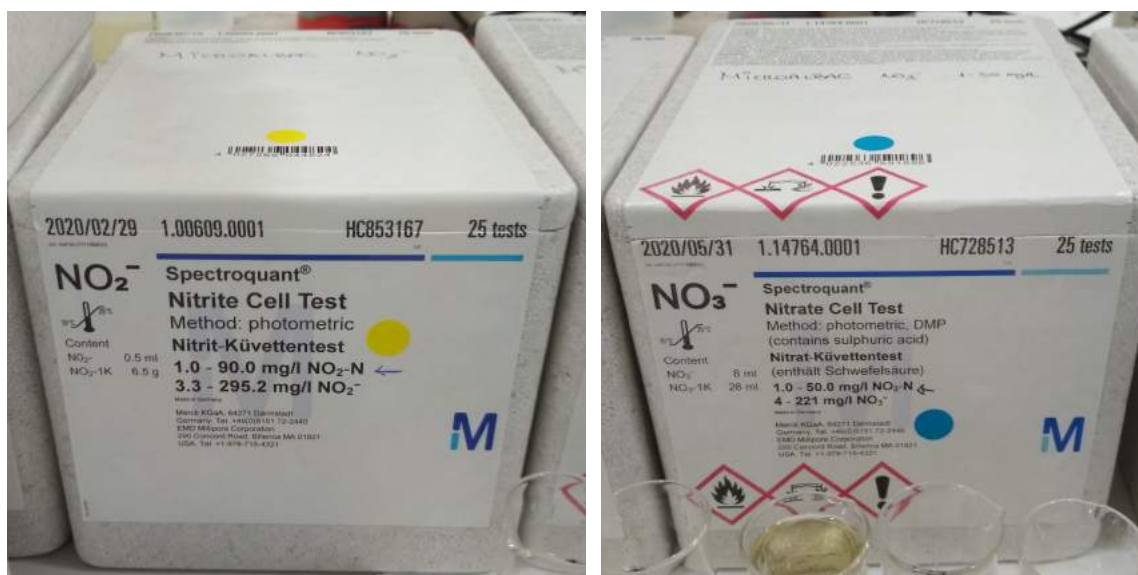


Figura S.16. Kits de ensayo. Fuente: Imagen propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos



Figura S.17. Disposición de los diferentes ensayos. Fuente: Imagen propia.

3. Representación gráfica.

A continuación se presentan en forma de gráficas las diferentes analíticas de carácter relevante para el proyecto, siendo estas, la medición de los SS figuras S.18-S.19, DQO figuras S.20-S.21, N-NO₃ figuras S.21-S.22, N-NO₂ figuras S.23-S.24, N-NH₄ figuras S.25-S.26, N total figuras S.27-S.28 y P total figuras S.29-S.30. Así mismo, también se visualiza el valor límite de vertido con la finalidad de comprobar si se cumplen las exigencias de la Directiva 91/271/CEE.

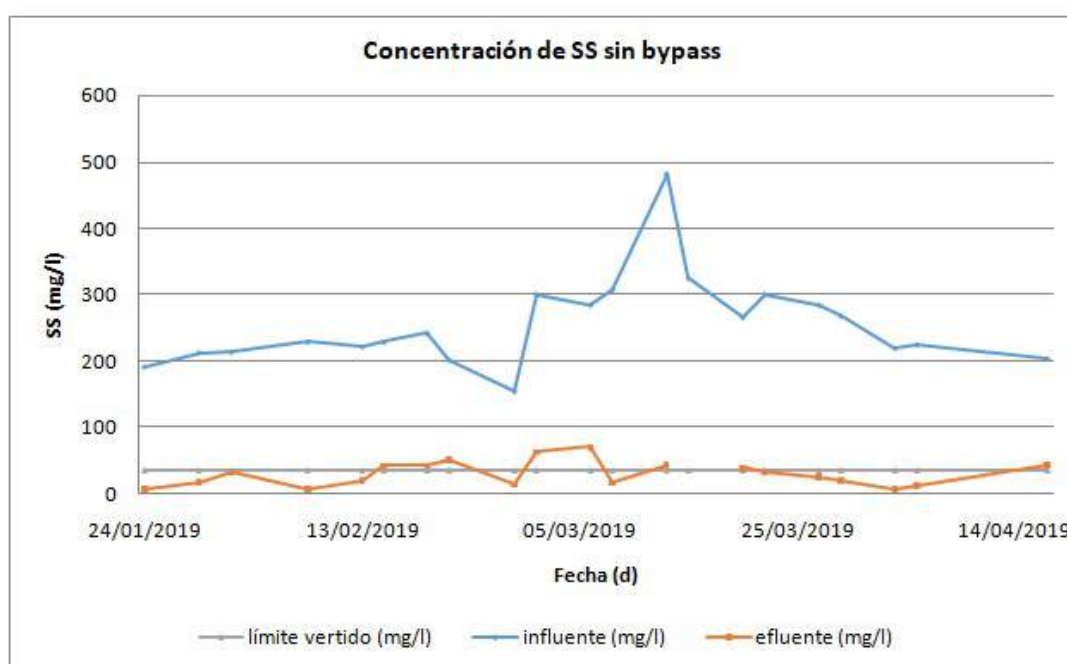


Figura S.18. Gráfica comparativa de las concentraciones de los SS presentes en el influente y el efluente, para las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

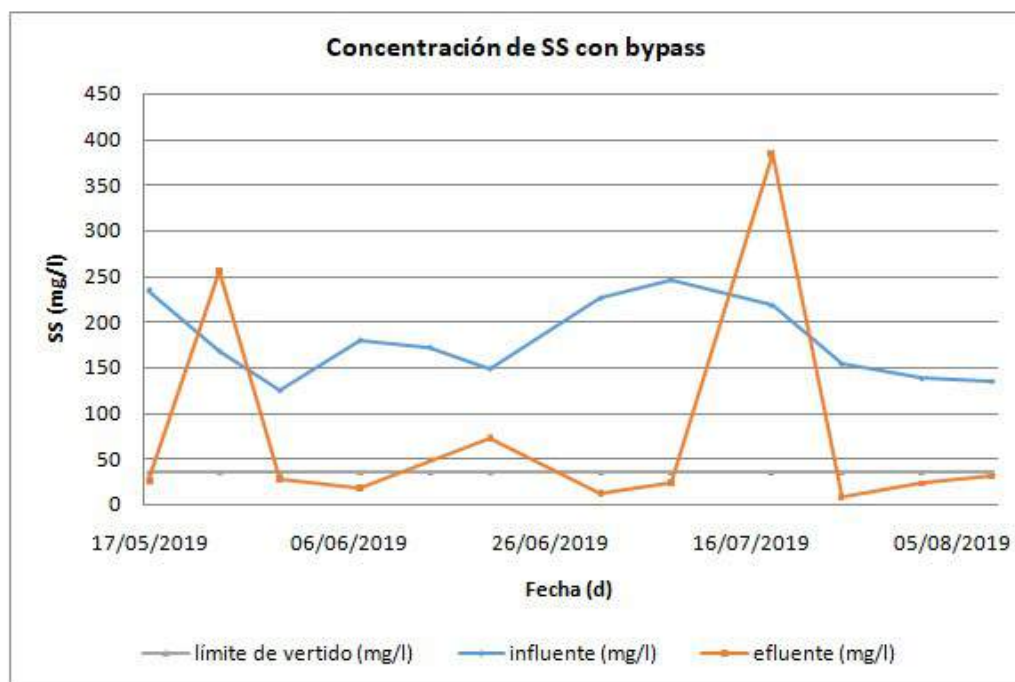


Figura S.19. Gráficas comparativas de las concentraciones de los SS presentes en el influente y el efluente, para las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

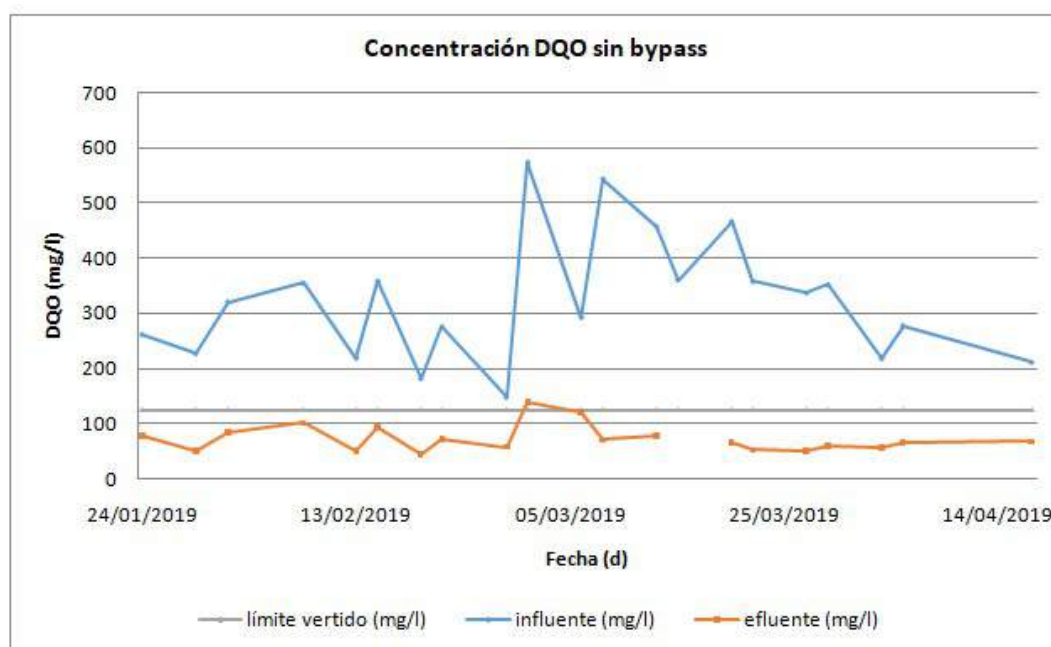


Figura S.20. Gráficas comparativas con las concentraciones de la DQO presentes en el influente y el efluente, para las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

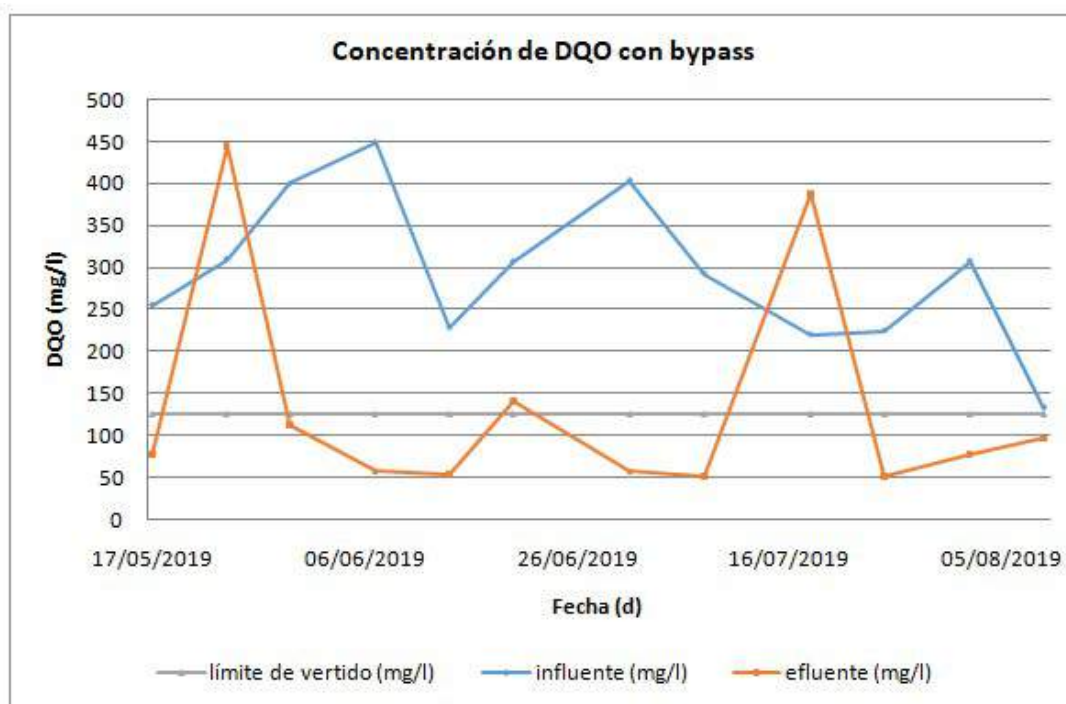


Figura S.21. Gráficas comparativas con las concentraciones de la DQO presentes en el influente y el efluente, para las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

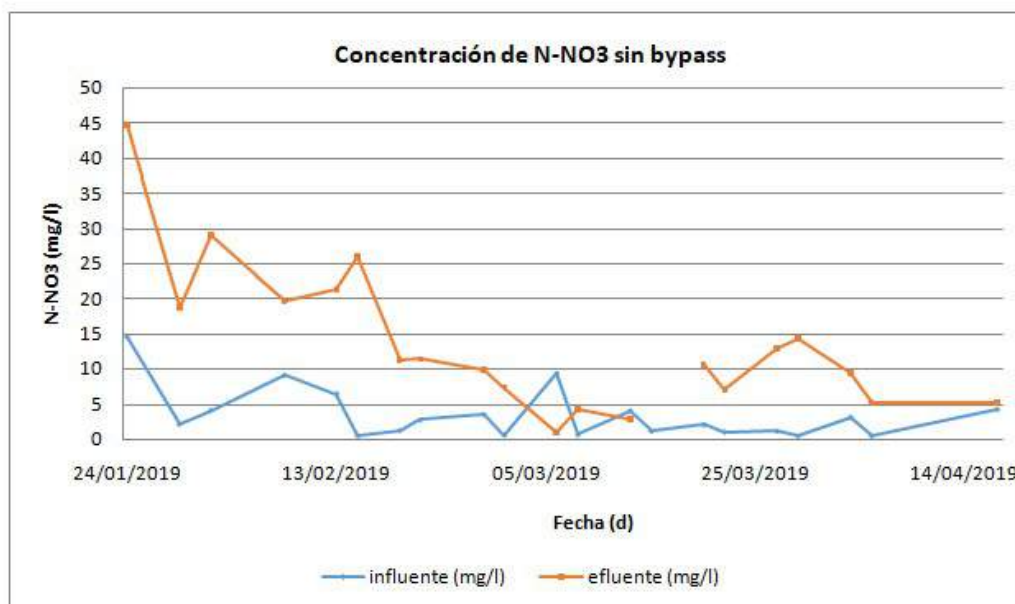


Figura S.22. Gráficas comparativas con las concentraciones del N-NO3 presentes en el influente y el efluente, para las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

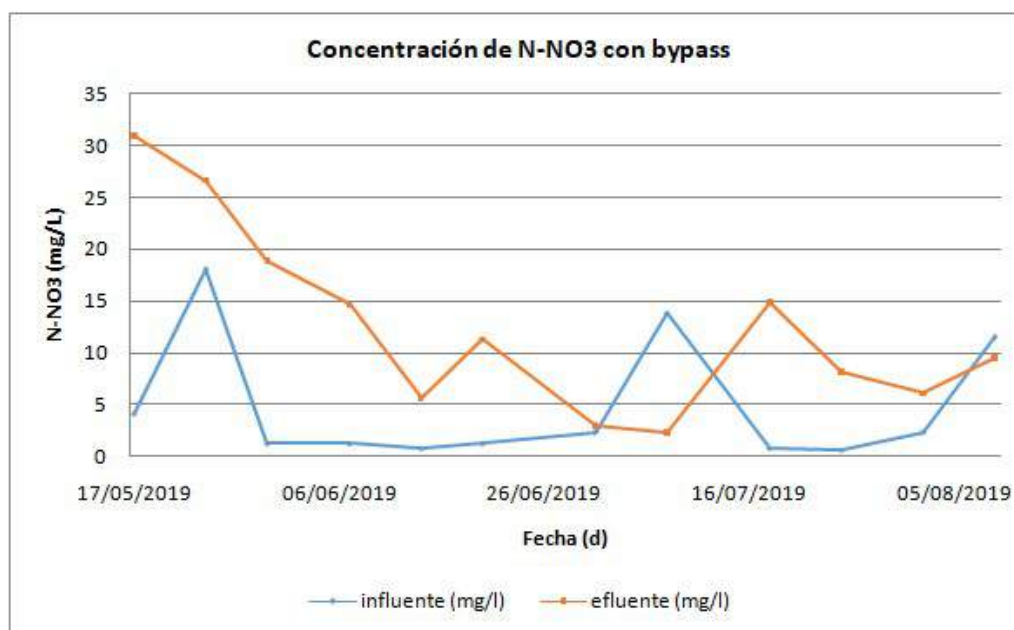


Figura S.23. Gráficas comparativas con las concentraciones del N-NO3 presentes en el influente y el efluente, para las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

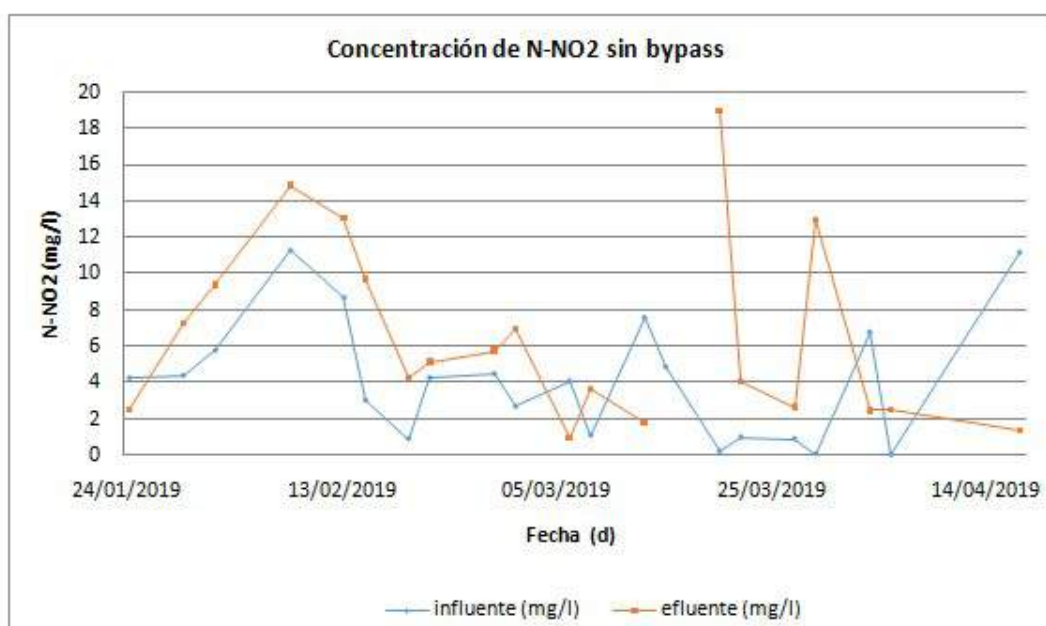


Figura S.24. Gráficas comparativas con las concentraciones del N-NO2 presentes en el influente y el efluente, para las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

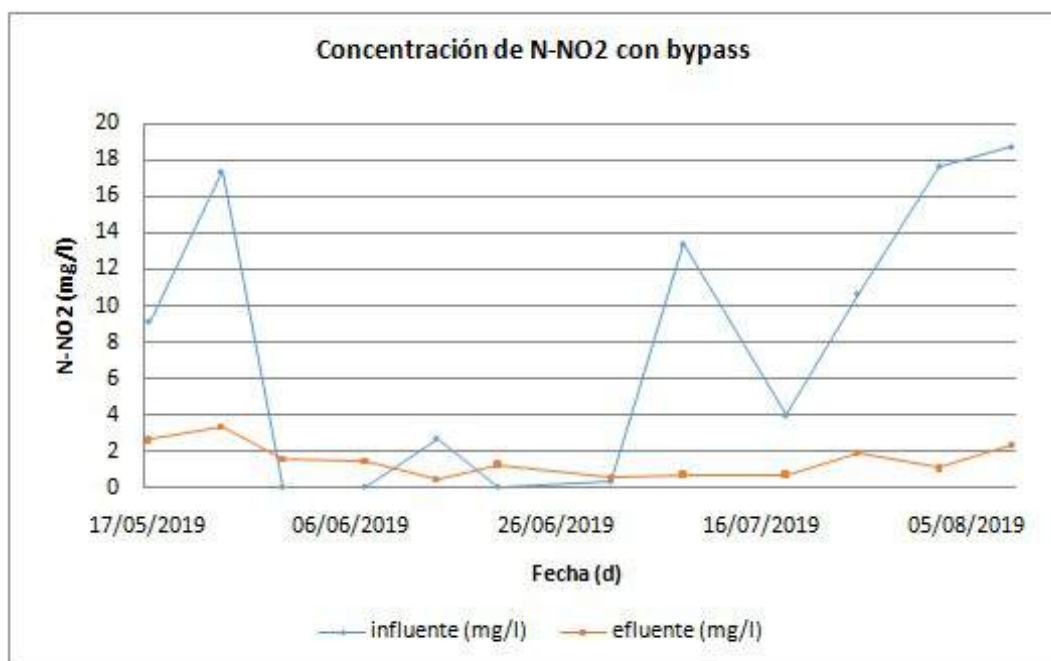


Figura S.25. Gráficas comparativas con las concentraciones del N-NO₂ presentes en el influente y el efluente, para las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

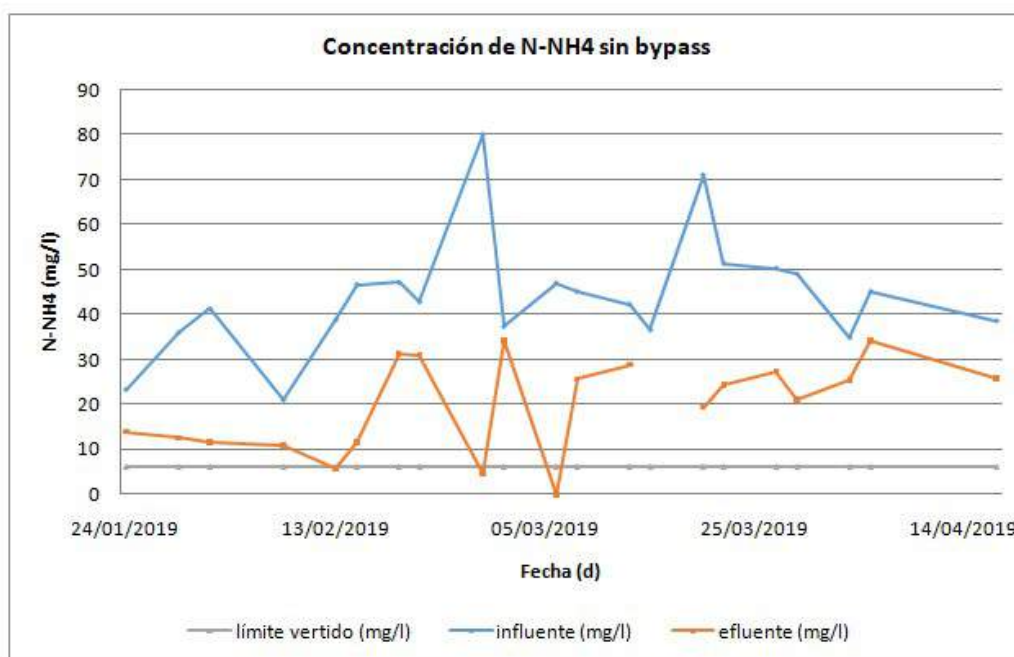


Figura S.26. Gráficas comparativas con las concentraciones del N-NH₄ presentes en el influente y el efluente, para las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

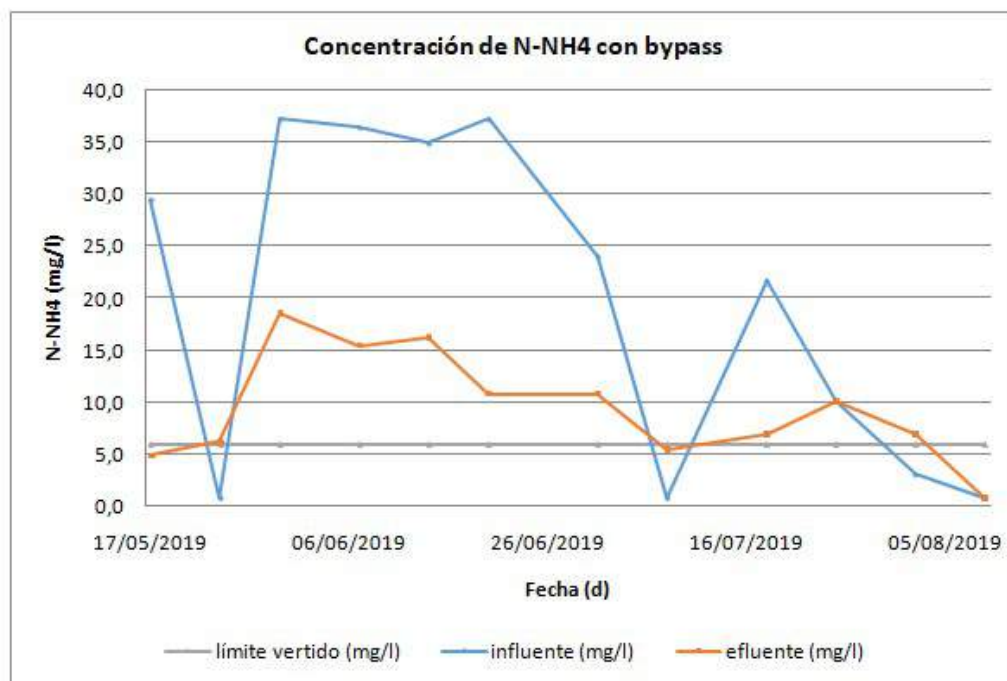


Figura S.27. Gráficas comparativas con las concentraciones del N-NH4 presentes en el influente y el efluente, para las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

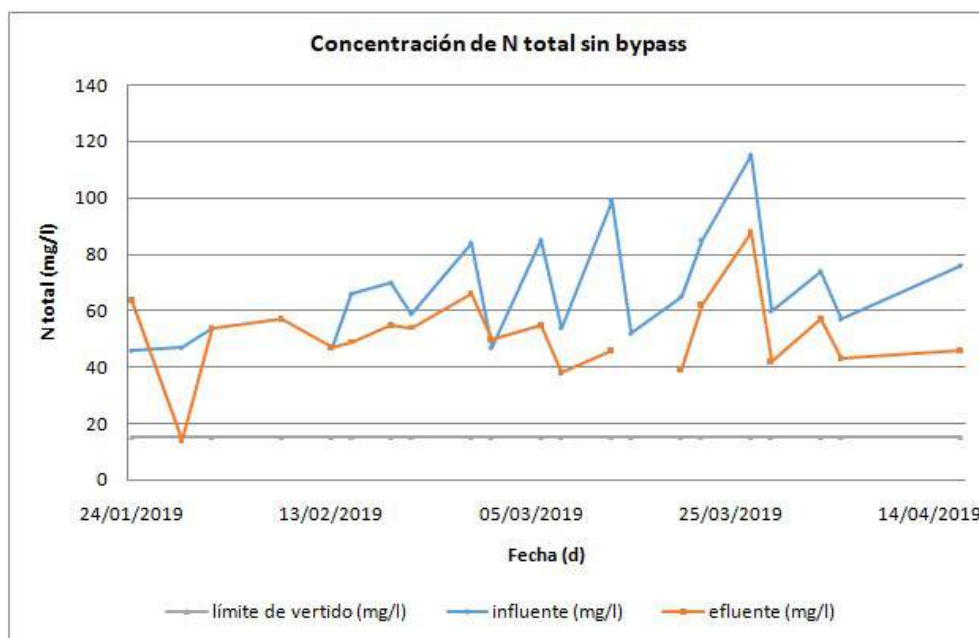


Figura S.28. Gráficas comparativas con las concentraciones del N total presentes en el influente y el efluente, para las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

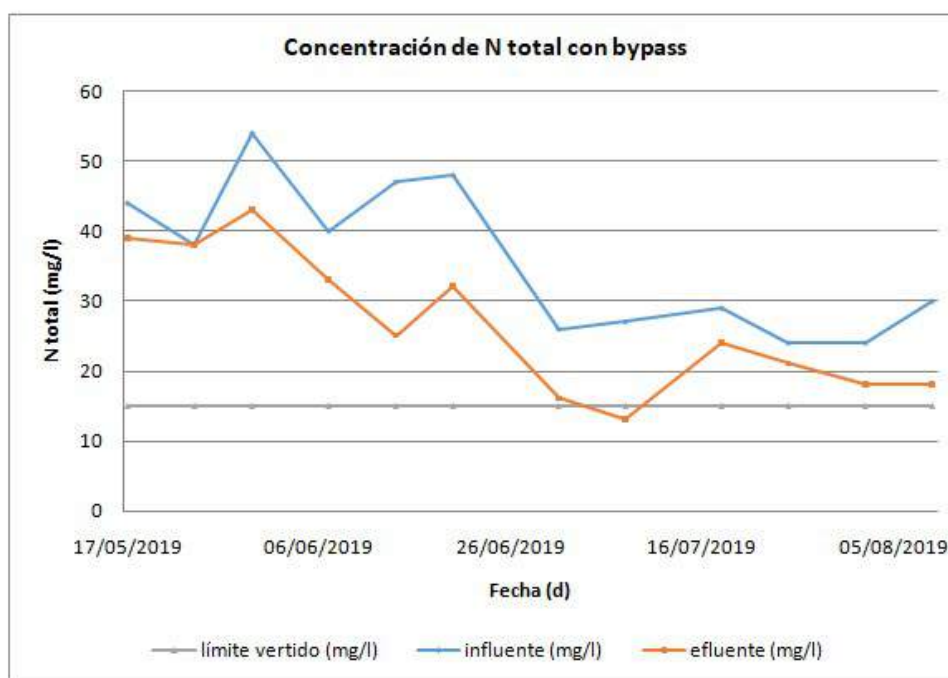


Figura S.29. Gráficas comparativas con las concentraciones del N total presentes en el influente y el efluente, para las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

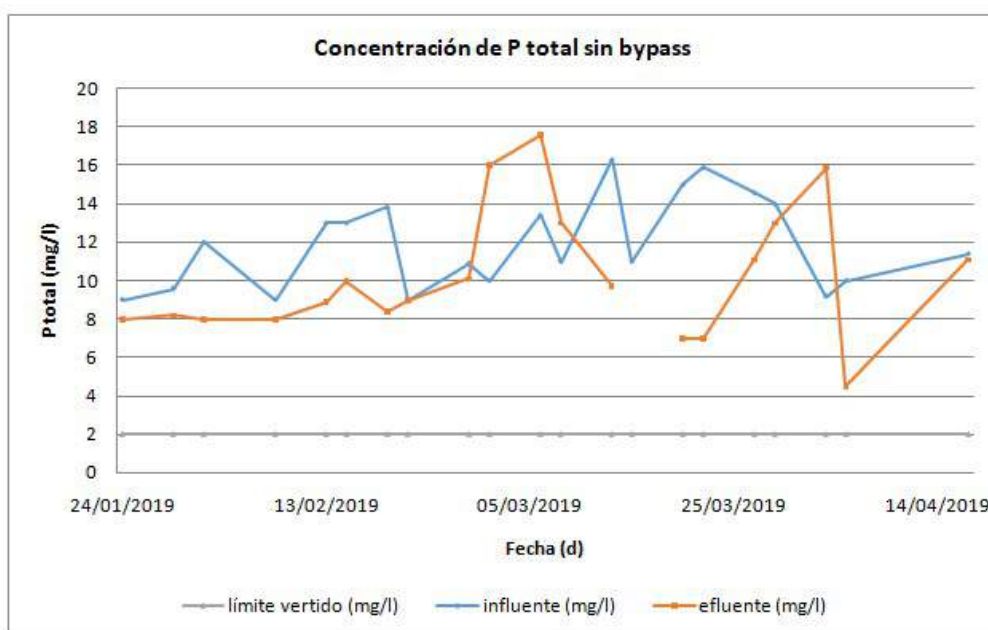


Figura S.30. Gráficas comparativas con las concentraciones del P total presentes en el influente y el efluente, para las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

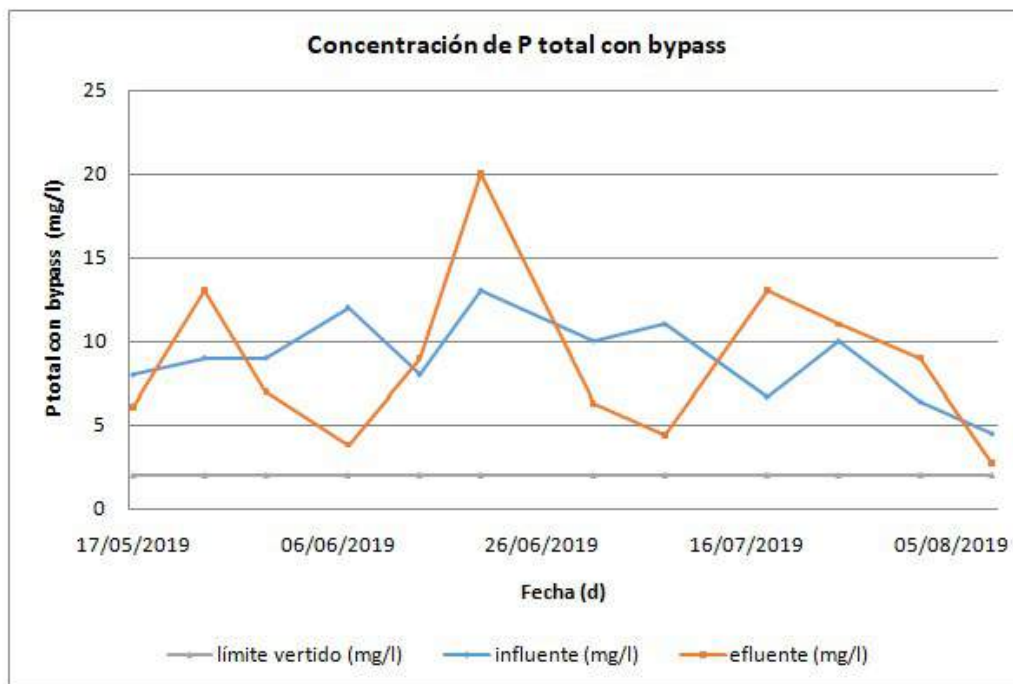


Figura S.31. Gráficas comparativas con las concentraciones del P total presentes en el influente y el efluente, para las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Además de llevar a cabo las analíticas antes mencionadas, también se ha propuesto el seguimiento del rendimiento de eliminación de los SS, DQO, N total y P total, representadas en las figuras S.32-S.39 respectivamente, con el objetivo de comprobar si se está cumpliendo con los requisitos de eliminación, tabla M.1.

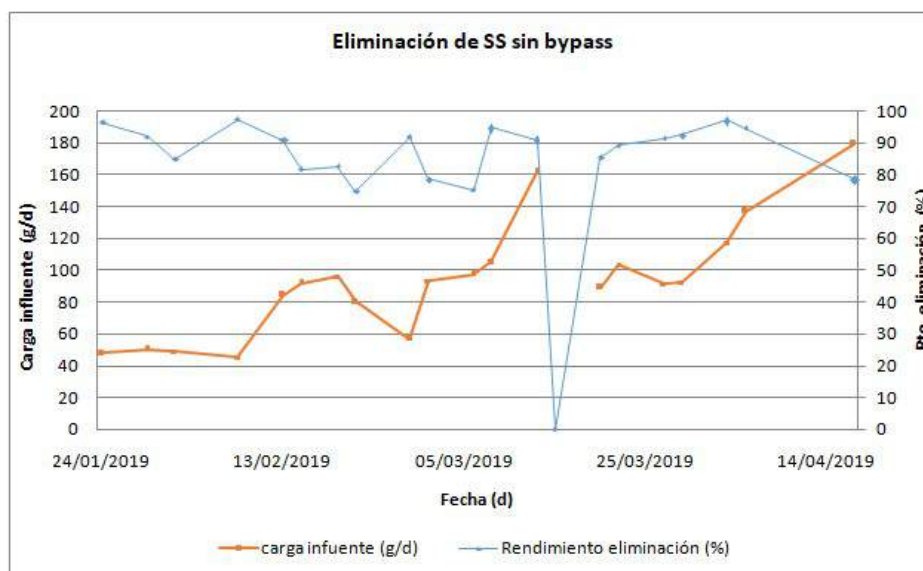


Figura S.32. Gráficas comparativas con el rendimiento de eliminación de los SS en las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

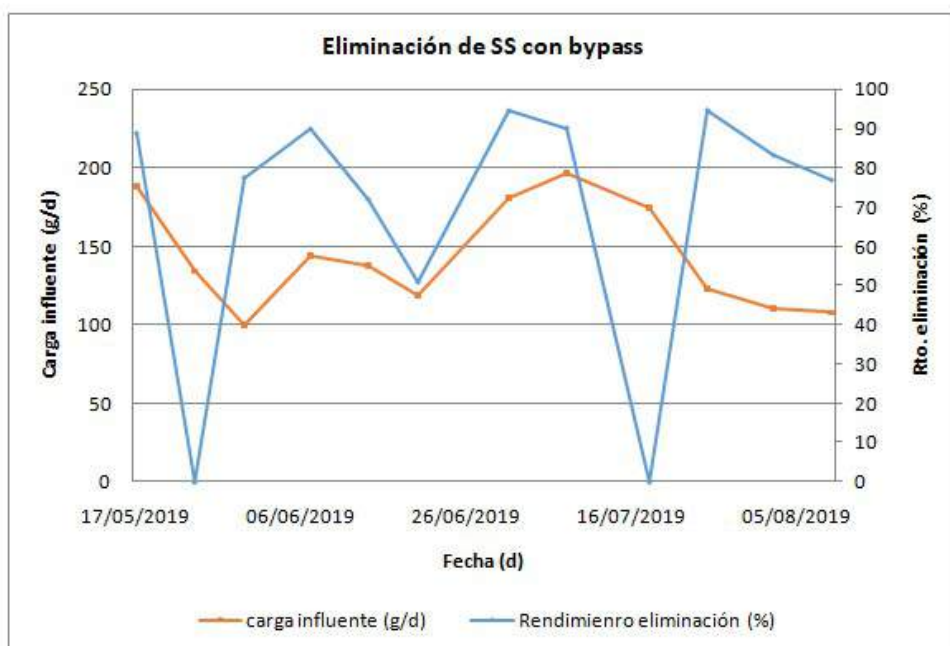


Figura S.33. Gráficas comparativas con el rendimiento de eliminación de los SS en las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

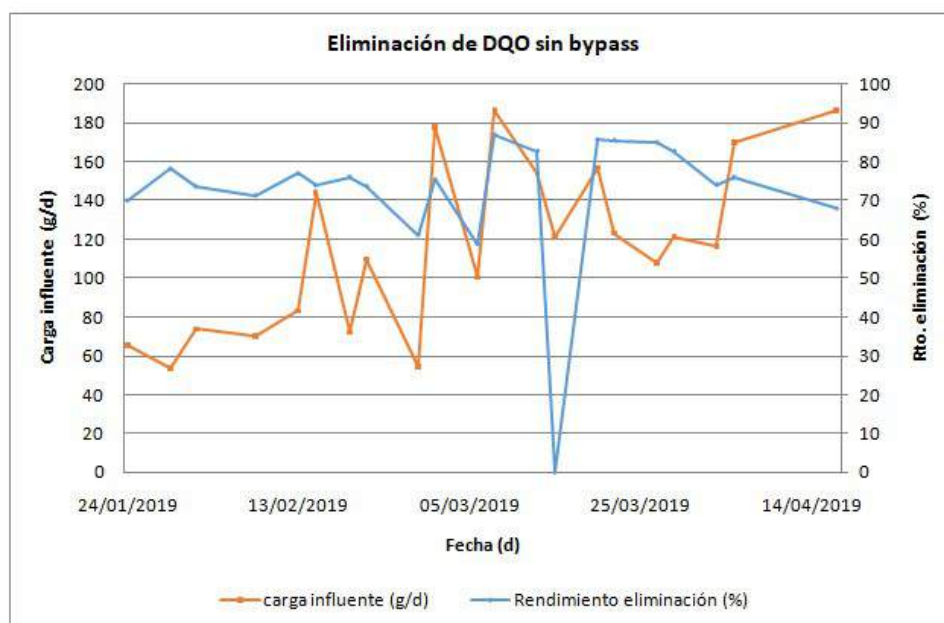


Figura S.34. Gráficas comparativas con el rendimiento de eliminación de la DQO en las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

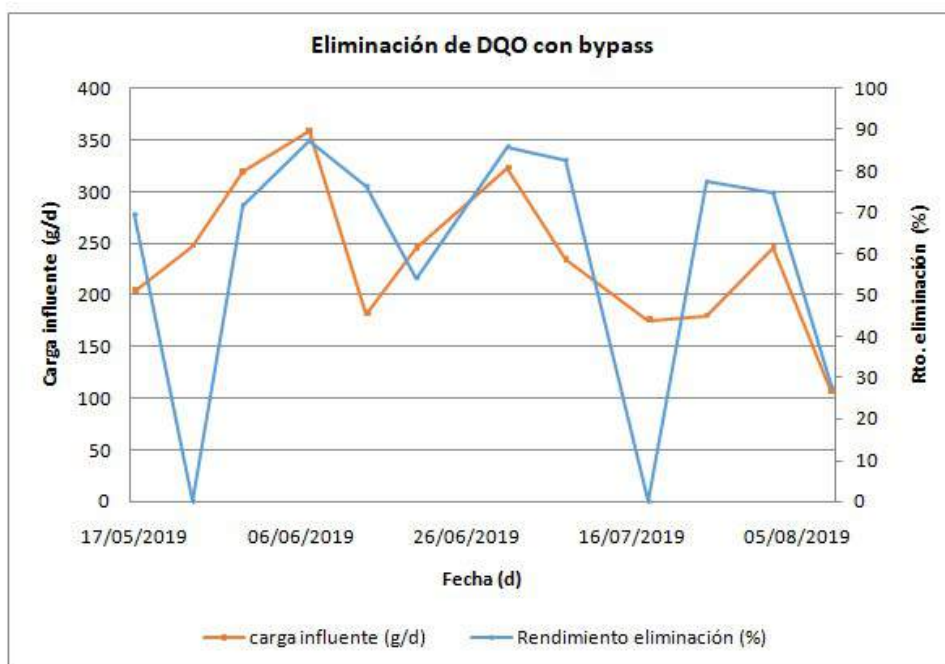


Figura S.35. Gráficas comparativas con el rendimiento de eliminación de la DQO en las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

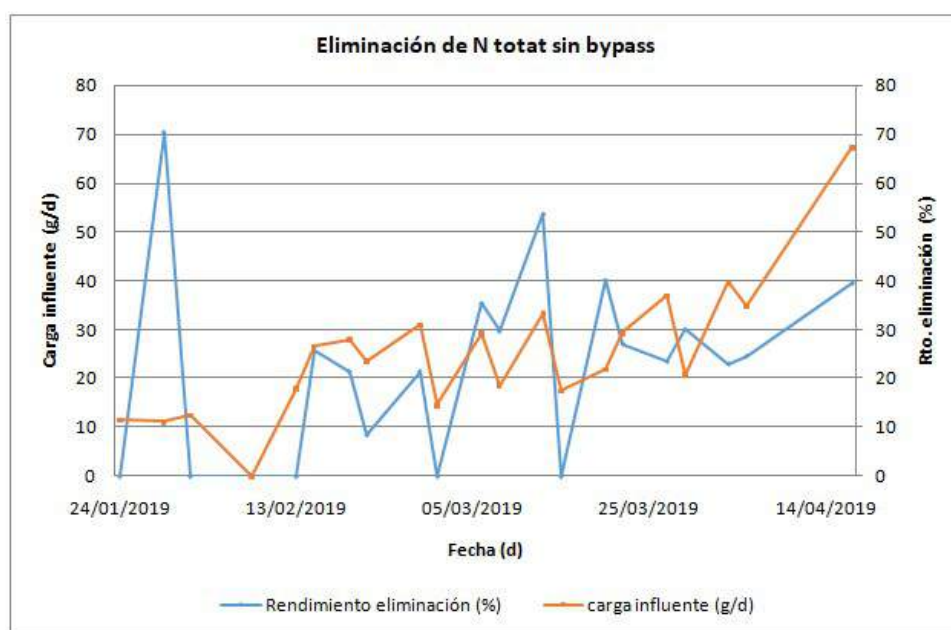


Figura S.36. Gráficas comparativas con el rendimiento de eliminación del N total en las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

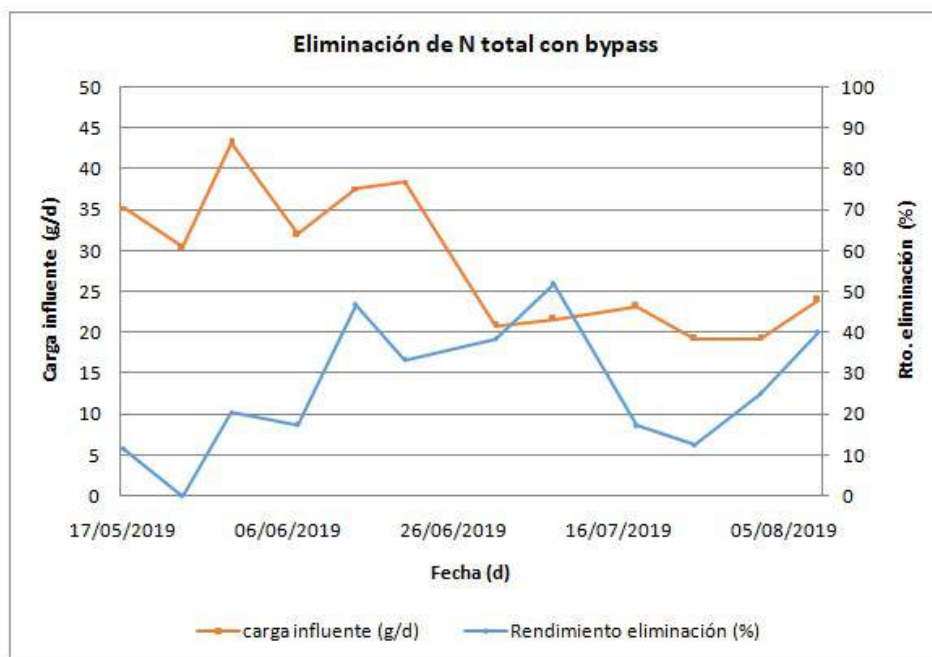


Figura S.37. Gráficas comparativas con el rendimiento de eliminación del N total en las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

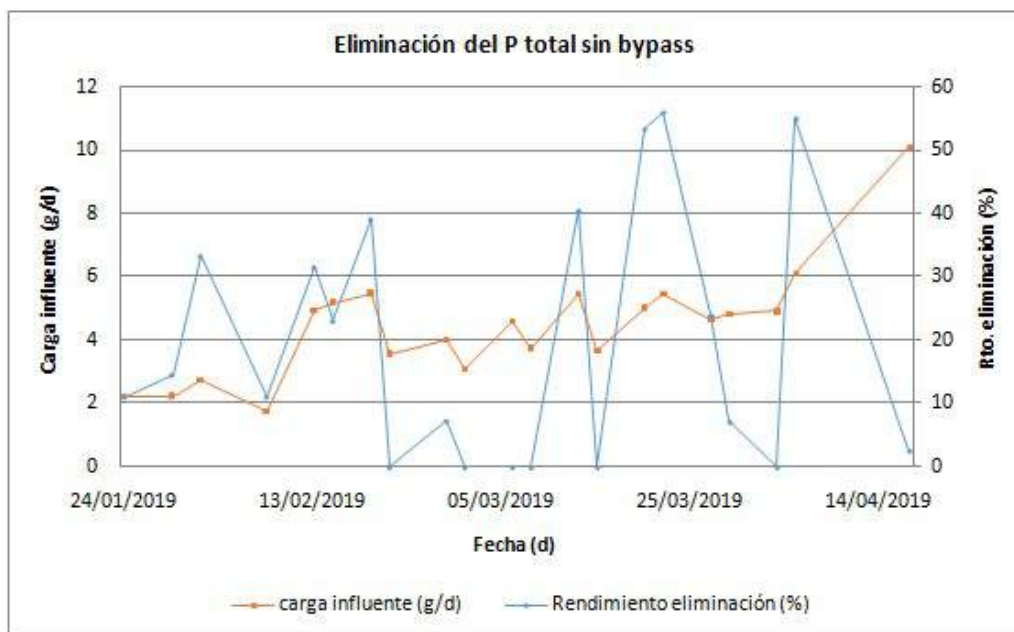


Figura S.38. Gráficas comparativas con el rendimiento de eliminación del P en las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

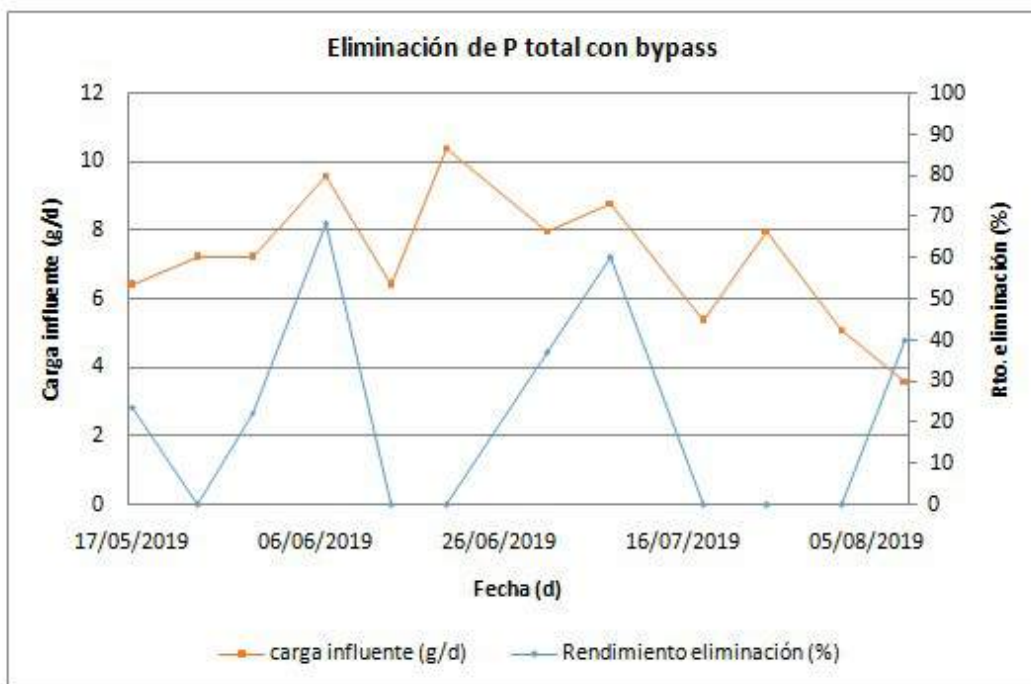


Figura S.39. Gráficas comparativas con el rendimiento de eliminación del P en las condiciones de operación propuestas. Fuente: Elaboración propia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

ANEXO 3

ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

ÍNDICE ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD

1. Memoria.....	1
1.1 Objeto de este estudio.....	1
1.2 Características de las obras.....	1
1.2.1 Descripción de la obra.....	1
1.3 Interferencias y servicios afectados.....	1
1.4 Presupuesto de las obras.....	2
1.5 Plazo de ejecución.....	2
1.6 Numero de operarios.....	2
1.7 Descripción.....	2
1.7.1 Fases de la obra de interés a la prevención.....	2
1.7.2 Medidas auxiliares.....	3
1.7.3 Maquinaria prevista.....	3
1.8 Riesgos profesionales.....	3
1.8.1 Movimiento de tierras.....	3
1.8.2 Colocación tuberías.....	4
1.8.3 Cimentaciones.....	4
1.8.4 Encofrados.....	4
1.8.5 Ferrallado.....	5

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

1.8.6 Hormigonado	5
1.8.7 Montaje de prefabricados	6
1.8.8 Cerramiento y albañilería	6
1.8.9 Cubiertas.....	6
1.8.10 Solados	6
1.8.11 Carpintería metálica.....	7
1.8.12 Pintura y barnizado.....	7
1.8.13 Instalaciones eléctricas provisionales en obra	8
1.9 Medios de protección colectiva	8
1.9.1 Señalización general.....	8
1.9.2 Movimiento de tierras.....	8
1.9.3 Estructura y cerramiento.....	9
1.9.4 Instalaciones de fuerza y alumbrado	9
1.9.5 Protección contra incendios.....	9
1.10 Medios de protección personal.....	9
1.10.1 Protección de la cabeza	9
1.10.2 Protección del cuerpo	10
1.10.3 Protección extremidades superiores	10
1.10.4 Protección extremidades inferiores	10
1.11 Prevención de daños a terceros.....	10
1.12 Medicina preventiva y primeros auxilios	11

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

1.12.1 Botiquines.....	11
1.12.2 Asistencia a accidentados	11
1.12.3 Reconocimiento médico	11
1.13 Formación de seguridad e higiene	11
1.14 Libro de incidencias.....	11
2. Pliego de prescripciones técnicas particulares.....	12
2.1 Disposiciones legales de aplicación	12
2.2 Condiciones de los medios de protección.....	13
2.2.1 Protecciones personales.....	13
2.2.2 Normas o medidas preventivas colectivas.....	14
2.3 Servicios de prevención.....	34
2.3.1 Servicio técnico de seguridad y salud.....	34
2.3.2 Servicio médico	34
2.4 Obligaciones del coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra.	35
2.5 Obligaciones de los contratistas y las subcontratas	36
2.6 Obligaciones de los trabajadores autónomos.....	37
2.7 Instalaciones médicas	37
2.8 Paralización de los trabajos	38

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

1. Memoria.

1.1 Objeto de este estudio.

Este estudio de seguridad y salud establece, durante la ejecución de la obra “diseño y dimensionamiento” las directrices básicas en el campo de prevención de riesgos profesionales, facilitando su desarrollo, bajo el control del Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra según establece el Real Decreto 1627/1997, del 24 de Octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de Seguridad y Salud en las obras de construcción.

1.2 Características de las obras

1.2.1 Descripción de la obra

La obra proyectada son las instalaciones de un “Tratamiento secundario de aguas residuales urbanas”, que consiste en las siguientes etapas

Movimiento de tierras: desbroce y explanación de la parcela.

- Obra civil de los depósitos.
- Obra civil e instalación de tuberías exteriores que componen la línea de tratamiento.
- Obra civil de la caseta aislada e insonorizada.
- Instalación eléctrica y fontanería.
- Instalación de equipos.
- Automatización.
- Puesta en marcha y corrección de errores.

La descripción de cada uno de estos procesos viene detallada en la Memoria del presente proyecto.

1.3 Interferencias y servicios afectados

Antes del comienzo de la obra se comprobarán los servicios que pudieran verse afectados por la obra (agua, teléfono, gas, alcantarillado...) para adoptar las medidas precisas ante cualquier eventualidad.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

1.4 Presupuesto de las obras

El presupuesto base de licitación viene en la memoria del presente proyecto

1.5 Plazo de ejecución

El plazo de ejecución de las obras es de 4 meses de construcción más 1 de prueba, en total 5 meses. A continuación se exponen como posible riesgo, las medidas preventivas de seguridad y salud.

1.6 Numero de operarios

Estimación de mano de obra en punta de ejecución: 8 operarios.

1.7 Descripción

1.7.1 Fases de la obra de interés a la prevención.

Según se desprende de la descripción de las obras, las fases de las obras que son de interés en la prevención:

- Movimientos de tierras, vaciados: Las excavaciones se realizarán con el sobreancho que sea necesario en cada caso y dejando siempre el talud natural.
- Excavaciones en zanja para tuberías: para la instalación de red de tuberías, pertenecientes a la línea de agua, red de pluviales y demás excavaciones en zanja que se pudieran ejecutar. Al igual que en las excavaciones de vaciado, se adoptarán los sobreanchos que sean necesarios en cada caso, dejando el talud natural.
- Encofrados.
- Ferrallado: comprende el armado de los distintos elementos que componen el edificio y el armado de todas las cimentaciones de todos los edificios y depósitos y en general, en cualquier tipo de trabajo que suponga la manipulación de ferralla.
- Hormigonado: Puesta en obra del hormigón en cualquier elemento, en particular en cada uno de los procesos que componen la línea de agua.
- Cerramiento y albañilería: el edificio de las soplantes del filtro de arena, es de una planta baja, por lo que se tendrán en cuenta las medidas de seguridad necesarias.
- Cubiertas: las cubiertas son inclinadas no transitables.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

- Instalaciones de fuerza y alumbrado: se incluye en esta fase la instalación provisional de obra, para dar servicio a las casetas de obra y maquinaria.

1.7.2 Medidas auxiliares

Según se desprende de las fases de obra mencionadas, los medios auxiliares a utilizar y que pueden ser objeto de estudio de seguridad, son los siguientes:

- Andamios.
- Plataforma de soldador en altura.
- Escalera de mano.
- Puntales.

1.7.3 Maquinaria prevista

- Maquinaria para el movimiento de tierras.
- Camión de transporte
- Camión grúa.
- Camiones hormigonera.
- Dobladora mecánica de ferralla.
- Rodillo vibrante autopropulsado.

1.8 Riesgos profesionales

1.8.1 Movimiento de tierras

- Desplome de tierras
- Desprendimiento de tierras por alteración del corte por exposición a la intemperie— durante largo tiempo
- Desprendimiento de tierras por soportes próximos al borde de la excavación
- Atropello, colisiones, vuelcos y falsas maniobras de la maquinaria para el movimiento de tierra.
- Caída de personas, maquinaria u objetos desde el borde de coronación de la excavación.
- Caída de personas al mismo nivel

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

- Interferencias con conducciones de agua enterradas.
- Interferencias con conducciones de energía eléctrica.

1.8.2 Colocación tuberías

- Caída de personas al mismo nivel
- Caída de personas a distinto nivel
- Desplome de los paramentos de la zanja.
- Atropellos y colisiones.
- Atropello de personas
- Vuelcos del camión.

1.8.3 Cimentaciones

Las cimentaciones superficiales se realizarán mediante losa de hormigón o zapatas. Los riesgos se pueden producir durante el vaciado y durante la manipulación de hormigón, ferralla y encofrados.

- Desplome de tierras.
- Desplazamiento de la coronación de los taludes.
- Desplome de tierras (o rocas) por filtraciones.
- Desplome de tierras por bolos ocultos.
- Desplome de tierras por sobrecarga de los bordes de coronación de los taludes.
- Desprendimiento de tierras por alteración del corte por exposición a la intemperie durante largo tiempo.
- Desprendimiento de tierras por afloramiento del nivel freático
- Atropellos, colisiones, vuelcos y falsas maniobras de la maquinaria para movimiento de tierras.
- Caída de personas desde el borde de la coronación.
- Interferencia por conducciones de agua enterradas.
- Caída de personas al mismo nivel.

1.8.4 Encofrados

- Desprendimientos por mal apilado.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

- Caída del encofrado durante los trabajos de encofrado o durante las maniobras de izado a las plantas.
- Caída de los encofradores en los trabajos de encofrado.
- Caída de personas al trabajar o caminar sobre los fondillos de las vigas, o por el borde o huecos del forjado.
- Caída de personas al mismo nivel.
- Cortes al utilizar la sierra de mano o circular.
- Golpes en las manos durante la clavazón
- Pisadas sobre objetos punzantes.
- Electrocutión por anulación de tomas de tierra de maquinaria eléctrica

1.8.5 Ferrallado

- Cortes y heridas en manos y pies por manejo de redondos de acero.
- Aplastamiento durante las operaciones de carga y descarga de paquetes de ferralla
- Golpes por caída o giro descontrolado de la carga suspendida
- Tropiezos y torceduras al caminar sobre las armaduras.
- Caídas al mismo nivel.
- Caídas a distinto nivel.

1.8.6 Hormigonado

- Caída de personas y/u objetos al mismo nivel.
- Caída de personas y/u objetos a distinto nivel.
- Hundimiento de encofrados
- Rotura o reventón de encofrados.
- Pisadas sobre objetos punzantes.
- Pisadas sobre superficies de tránsito.
- Las derivadas de trabajos sobre suelos húmedos o mojados.
- Contactos con el hormigón (dermatitis por cementos)
- Fallo de entibaciones.– Corrimientos de tierras.
- Atrapamientos.
- Electrocutión. Contactos eléctricos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

1.8.7 Montaje de prefabricados

- Golpes a las personas por el transporte en suspensión de grandes piezas.
- Atrapamientos durante maniobras de ubicación
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Caídas de persona a distinto nivel.
- Vuelco de piezas prefabricadas
- Desplome de piezas prefabricadas.
- Cortes por manejo de herramientas manuales.
- Cortes o golpes por manejo de máquinas o herramientas.
- Aplastamientos de manos o pies al recibir piezas.
- Los derivados de la realización de trabajos bajo régimen de fuertes vientos.

1.8.8 Cerramiento y albañilería

- Caída de personas al mismo nivel.
- Caída de personas a distinto nivel
- Caída de objetos sobre las personas.
- Golpes contra objetos.
- Cortes por el manejo de objetos y herramientas manuales.
- Dermatitis por contactos.
- Partículas en los ojos.
- Sobreesfuerzos.
- Electrocutación.

1.8.9 Cubiertas

- Caídas de personas a distinto nivel
- Caídas de personas al mismo nivel.
- Caídas de objetos a niveles inferiores.

1.8.10 Solados

- Caídas al mismo nivel.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

- Cortes por manejo de elementos con aristas o bordes cortantes.
- Afecciones reumáticas por humedad en las rodillas.
- Dermatitis por contacto con el cemento.
- Caídas a distinto nivel.
- Cuerpos extraños en los ojos.
- Sobreesfuerzos.
- Contactos con la energía eléctrica.

1.8.11 Carpintería metálica

- Caídas al mismo nivel.
- Caída a distinto nivel.
- Caídas al vacío (carpintería en fachada).
- Cortes por manejo de máquinas herramientas manuales.
- Cortes y golpes por objetos o herramientas.
- Atrapamiento entre objetos
- Pisadas sobre objetos punzantes.
- Caídas de elementos de carpintería metálica sobre personas o cosas
- Los derivados de los medios auxiliares a utilizar.
- Contactos con la energía eléctrica.
- Sobreesfuerzos.

1.8.12 Pintura y barnizado

- Caídas de personas al mismo nivel.
- Caída de personas a distinto nivel.
- Caídas de personas al vacío (pintura de fachadas y asimilables).
- Cuerpos extraños en los ojos (gotas de pintura, motas de pigmentos)
- Contacto con sustancias corrosivas.
- Los derivados de la rotura fortuita de las mangueras de los compresores.
- Contactos con la energía eléctrica.
- Sobreesfuerzos.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

1.8.13 Instalaciones eléctricas provisionales en obra

- Contactos eléctricos directos.
- Contactos eléctricos indirectos.
- Los derivados de caída de tensión por sobrecarga.
- Mal funcionamiento de los mecanismos de protección.
- Mal comportamiento de las tomas de tierra.

1.9 Medios de protección colectiva

Las normas de seguridad y las características concretas de los medios de protección a adoptar en cada una de las fases que pueden ser objeto de prevención se desarrollan detalladamente en el Pliego de Condiciones.

1.9.1 Señalización general

- Señales de STOP en salidas de vehículos
- Obligatorio uso de casco, cinturón de seguridad, gafas, mascarilla, protectores auditivos, botas y guantes.
- Riesgo eléctrico, caída de objetos, caída a distinto nivel, maquinaria pesada en movimiento, cargas suspendidas, incendio y explosiones.
- Entrada y salida de vehículos
- Pórtico limitación de galibo en pasos bajo líneas eléctricas aéreas.
- Prohibido el paso a toda persona ajena a la obra
- Prohibido encender fuego, prohibido fumar y prohibido aparcar, en zona de obras
- Señal informativa de localización de botiquín y de extintor.
- Cinta de balizamiento.

1.9.2 Movimiento de tierras

Se señalizará mediante una línea (en yeso, cal, etc.) la distancia de seguridad mínima de aproximación, 2 m, al borde del vaciado.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

La coronación de taludes del vaciado a las que deben acceder las personas, se protegerán mediante una barandilla, cuyas características vienen definidas en el Pliego de Condiciones.

Se instalará una barrera de seguridad (valla, barandilla, acera, etc.) de protección del acceso peatonal al fondo de la excavación, separada de la superficie dedicada al tránsito de vehículos.

1.9.3 Estructura y cerramiento

- Mallazo resistente en huecos horizontales.
- Barandillas rígidas en borde de forjado
- Plataformas voladas para retirar elementos de encofrado
- Castilletes de hormigonado.
- Carro porta-botellas.
- Válvulas antirretroceso en mangueras
- Se utilizarán andamios sobre borriquetes o tubulares, de 60 cm de ancho con barandilla.

1.9.4 Instalaciones de fuerza y alumbrado

- Conductor de protección y pica o placa de puesta a tierra.
- Interruptores diferenciales de 30mA. de sensibilidad para alumbrado y de 300mA para fuerza.

1.9.5 Protección contra incendios

Se emplearán extintores portátiles, situados de forma visible en zonas accesibles de la obra.

1.10 Medios de protección personal

1.10.1 Protección de la cabeza

- Cascos: Para todas las personas que trabajan en la obra, incluidos visitantes.
- Gafas contra impactos y antipolvo.
- Mascarillas antipolvo.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

- Filtros para mascarilla.
- Pantalla contra proyección de partículas.
- Protectores auditivos.

1.10.2 Protección del cuerpo

- Cinturón de seguridad, cuya clase se adaptará a los riesgos específicos de cada trabajo.
- Cinturón antivibratorio.
- Monos: Se tendrán en cuenta las reposiciones a lo largo de la obra, según Convenio Colectivo Provincial
- Trajes de agua: se prevé un acopio en obra.
- Mandil de cuero.

1.10.3 Protección extremidades superiores

- Guantes de goma finos, para albañiles y operarios que trabajen en hormigonado.
- Guantes de cuero y anticorte para manejo de materiales y objetos.
- Guantes dieléctricos para su utilización en baja tensión.
- Equipo de soldador.

1.10.4 Protección extremidades inferiores

- Botas de agua, de acuerdo con MT.27
- Botas de seguridad, clase III

1.11 Prevención de daños a terceros

- Se prevé el cercado con valla, incluso puertas de acceso de personal y vehículos, en aquellos casos en que sea necesario.
- Se señalizará la obra convenientemente, quedando prohibida la entrada a toda persona ajena a la obra.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

1.12 Medicina preventiva y primeros auxilios

1.12.1 Botiquines

Se dispondrá de dos botiquines conteniendo el material especificado en la Ordenanza General de Seguridad y Salud en las Obras de Construcción.

1.12.2 Asistencia a accidentados

Se dispondrá en lugares visibles listas con los teléfonos y direcciones de los centros asignados para urgencias, ambulancias, taxis, etc., para garantizar un rápido transporte de los posibles accidentados a los Centros de asistencia.

1.12.3 Reconocimiento médico

Todo el personal que empiece a trabajar en la obra, pasará un reconocimiento médico previo al trabajo y que será repetido en el periodo de un año.

1.13 Formación de seguridad e higiene

Todo el personal debe recibir, al ingresar en la obra, exposición de los métodos de trabajo y los riesgos que estos pudieran entrañar, juntamente con las medidas de seguridad que deberá adoptar.

1.14 Libro de incidencias

En cada centro de trabajo existirá con fines de control y seguimiento del plan de Seguridad y Salud un libro de incidencias que constará de hojas por duplicado habilitado al efecto. El libro de incidencias será facilitado por:

- a) El colegio profesional al que pertenezca el técnico que haya aprobado el plan de Seguridad y Salud.
- b) La Oficina de Supervisión de Proyectos u órgano equivalente cuando se trate de obras de las Administraciones Públicas.

El libro de incidencias, que deberá mantener siempre en la obra, estará en poder del Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra. A dicho libro tendrán acceso la dirección facultativa de la obra, los Contratistas y los Subcontratistas y

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

los trabajadores autónomos, así como las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención en las empresas intervinientes en la obra, los representantes de los trabajadores y los técnicos de los órganos especializados en materia de seguridad y salud en el trabajo de Administraciones Públicas competentes, quienes podrán hacer anotaciones en el mismo, relacionadas con fines que al libro se le reconocen.

Efectuada una anotación en el libro de incidencias, el Coordinador en materia de seguridad y salud, durante la ejecución de la obra, estará obligado a remitir en el plazo de veinticuatro horas, una copia a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social de la provincia en que se realice la obra. Igualmente deberán notificar las anotaciones en el libro al Contratista afectado y a los representantes de los trabajadores de éste

2. Pliego de prescripciones técnicas particulares

2.1 Disposiciones legales de aplicación

Son de obligado cumplimiento las disposiciones contenidas en:

- Ley 31/1995, de 8 de noviembre. Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
- Real Decreto 39/1997, del 17 de Enero. Reglamento de los Servicios de Prevención. Estatuto de los Trabajadores.
- REAL DECRETO 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas en Seguridad y Salud.
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (OM 9-3-71) (BOE 16-- 3-71).
- Plan Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo (OM 9-3-71) (BOE 11.3.71).
- Comités de Seguridad e Higiene en el Trabajo (Decreto 432/71, 11-3-71) (BOE– 16-3-71).
- Reglamento de Seguridad e Higiene en la Industria de la Construcción (OM 20-- 5-52) (BOE 15-6-52).
- Reglamento de los Servicios Médicos de Empresa (OM 21-11-59) (BOE 27-11-- 59).
- Ordenanza de Trabajo de la Construcción, Vidrio y Cerámica (OM 28-8-70) (BOE– 5/7/8/9-9-70).

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

- Homologación de medios de protección personal de los trabajadores (OM17-5-- 74) (BOE 29-5-74).
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (OM 20-9-73) (BOE 9-10-73).
- Reglamento de aparatos elevadores para obras (OM 23-5-77) (BOE 14-6-77).
- Convenio Colectivo Provincial de la Construcción.
- Demás disposiciones oficiales relativas a la Seguridad e Higiene y Medicina del-Trabajo que puedan afectar a los trabajos que se realicen en la obra.
- Reglamento de Seguridad en las máquinas (26-5-86) (BOE 21-7-86).
- LEY 54/2003, de 12 de Diciembre, de reforma del marco normativo de la-prevencción de riesgos laborales.

2.2 Condiciones de los medios de protección

Todas las prendas de protección personal o elementos de protección colectiva tendrán fijado un periodo de vida útil, desechándose a su término.

Cuando por las circunstancias del trabajo se produzca un deterioro más rápido en una determinada prenda o equipo, se repondrá ésta, independientemente de la duración prevista o fecha de entrega.

Toda prenda o equipo de protección que haya sufrido un trato límite, es decir, el máximo para el que fue concebido (por ejemplo, por un accidente), será desechado y reemplazado al momento.

Aquellas prendas que por su uso hayan adquirido más holgura o tolerancias de las admitidas por el fabricante, serán reemplazadas inmediatamente.

El uso de una prenda o equipo de protección nunca representará un riesgo en sí mismo.

2.2.1 Protecciones personales

Todo elemento de protección personal se ajustará a las Normas de Homologación del Ministerio de Trabajo (OM 17-5-74) (BOE 29-5-74), siempre que exista en el mercado.

En los casos en que no exista Norma de Homologación Oficial, serán de calidad adecuada a sus respectivas prestaciones.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

2.2.2 Normas o medidas preventivas colectivas

2.2.2.1 Fases de la obra

2.2.2.1.1 Vaciados

La coronación de taludes del vaciado a las que deben acceder las personas se protegerán mediante una barandilla de 90 cm de altura, formada por pasamanos, listón intermedio y rodapié, situadas a dos metros como mínimo del borde de coronación del talud (como norma general).

Se prohíbe realizar cualquier trabajo al pie de taludes inestables.

Como norma general, habrá que entibar los taludes que cumplan cualquiera de las siguientes condiciones expuestas en la tabla 1

Tabla A3.1. Condiciones para cuando entibar taludes.

Pendiente	Tipo de terreno
1	Terrenos movedizos, desmontables
0,5	Terrenos blandos pero resistentes
1/3	Terrenos muy compactos

La circulación de vehículos se realizará a un máximo de aproximación al borde de la excavación no superior a los 3 metros para vehículos ligeros, y de 4 metros para vehículos pesados.

Se desmochará el borde superior del corte vertical en bisel, con pendiente 1/1, 1/2 ó 1/3, según el tipo de terreno, estableciéndose la distancia mínima de seguridad de aproximación al borde, a partir del corte superior del bisel. (En este caso como norma general será de 2 m. más la longitud de la proyección en planta del corte inclinado).

2.2.2.1.2 Zanjas

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

El acceso y salida de una zanja se efectuará mediante una escalera sólida, anclada en el borde superior de la zanja y estará apoyada en una superficie sólida de reparto de cargas. La escalera sobrepasará un metro del borde de la zanja.

Quedan prohibidos los acopios (tierras, materiales, etc.) a una distancia inferior a los 2,00 m como norma general, del borde de la zanja.

Cuando la profundidad de una zanja sea igual o superior a los 2 m. se protegerán los bordes de coronación mediante una barandilla reglamentaria (pasamanos, listón intermedio y rodapié) situada a una distancia mínima de 2 m.

Cuando la profundidad sea inferior a los 2 m se instalará una señalización de peligro, con vallas y/o cordón de balizamiento, o bien con una línea de cal o yeso situada a dos metros del borde de la zanja y paralela a la misma.

2.2.2.1.3 Encofrados

El ascenso y descenso del personal a los encofrados se efectuará a través de escaleras de mano reglamentarias.

Se instalarán listones sobre los fondos de madera de las losas de escalera para permitir un más seguro tránsito en esta fase y evitar deslizamientos.

Se instalarán barandillas reglamentarias en los frentes de aquellas losas horizontales para impedir la caída al vacío de las personas.

Se esmerará el orden y la limpieza durante la ejecución de los trabajos.

Los clavos sueltos o arrancados se eliminarán mediante un barrido y apilado en lugar conocido para su posterior retirada.

Se instalarán las señales correspondientes de peligro.

El desencofrado se realizará siempre con ayuda de uñas metálicas realizándose siempre desde el lado del que no puede desprenderse la madera, es decir, desde el ya desencofrado.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

No se debe encofrar sin antes haber cubierto el riesgo de caídas desde altura mediante la rectificación de la situación de las redes.

No se debe pisar directamente sobre las sopandas. Se tenderán tableros que actúen de "caminos seguros" y se circulará sujetos a cables de circulación con el cinturón de seguridad.

El empresario garantizará a la Dirección Facultativa que el trabajador es apto o no para el trabajo de encofrador, o para el trabajo en altura.

Antes del vertido del hormigón, el Comité de Seguridad y en su caso, el Vigilante de Seguridad, comprobará en compañía del técnico cualificado, la buena estabilidad del conjunto.

2.2.2.1.4 Ferrallado

El transporte aéreo de paquetes de armaduras mediante grúa se ejecutará suspendida la carga de dos puntos, para evitar deformaciones y desplazamientos no deseados.

Se efectuará un barrido diario de puntas, alambres, y recortes de ferralla en torno al banco

Se prohíbe trepar por las armaduras.

2.2.2.1.5 Trabajos de hormigonado

Vertidos directos mediante canaleta:

Se deben instalar fuertes topes al final del recorrido de los camiones hormigonera, en evitación de vuelcos.

No se deben acercar las ruedas de los camiones hormigoneras a menos de 2 m. (como norma general) del borde de la excavación.

Se evitará situar a los operarios detrás de los camiones hormigonera durante el retroceso.

Se instalarán barandillas sólidas en el frente de la excavación protegiendo el tajo de guía de la canaleta.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Se instalará un cable de seguridad amarrado a "puntos sólidos", en el que enganchar el mosquetón del cinturón de seguridad en los tajos con riesgo de caída desde altura.

La maniobra de vertido será dirigida por un Capataz que vigilará no se realicen maniobras inseguras.

Vertido mediante cubo o cangilón:

No se debe permitir cargar el cubo por encima de la carga máxima admisible de la grúa que lo sustenta.

Se señalará mediante una traza horizontal, ejecutada con pintura en color amarillo, el nivel máximo de llenado del cubo para no sobrepasar la carga admisible.

Se señalará mediante trazas en el suelo, (o "cuerda de banderolas") las zonas batidas por el cubo.

La apertura del cubo para vertido se ejecutará exclusivamente accionando la palanca para ello, con las manos protegidas con guantes impermeables.

La maniobra de aproximación, se dirigirá mediante señales preestablecidas fácilmente inteligibles por el gruista o mediante teléfono autónomo.

Se procurará no golpear con cubo los encofrados ni las entibaciones.

Del cubo (o cubilete) penderán cabos de guía para ayuda a su correcta posición de vertido. Se prohíbe guiarlo o recibirlo directamente, en prevención de caídas por movimiento pendular del cubo.

Vertido de hormigón mediante bombeo:

El equipo encargado del manejo de la bomba de hormigón estará especializado en este trabajo.

La tubería de la bomba de hormigonado, se apoyará sobre caballetes, arriestrándose las partes susceptibles de movimiento.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

La manguera terminal de vertido, será gobernada por un mínimo a la vez de dos operarios, para evitar las caídas por movimiento incontrolado de la misma.

Antes del inicio del hormigonado de una determinada superficie (un forjado o losas por ejemplo), se establecerá un camino de tablones seguro sobre los que apoyarse los operarios que gobiernan el vertido con la manguera.

El hormigonado de pilares y elementos verticales, se ejecutará gobernando la manguera desde castilletes de hormigonado.

El manejo, montaje y desmontaje de la tubería de la bomba de hormigonado, será dirigido por un operario especialista, en evitación de accidentes por "tapones" y "sobre presiones" internas.

Antes de iniciar el bombeo de hormigón se deberá preparar el conducto (engrasar las tuberías) para evitar posibles tapones.

Se revisarán periódicamente los circuitos de aceite de la bomba de hormigonado

Normas o medidas preventivas tipo de aplicación durante el hormigonado de cimientos (zapatas, zarpas y riostras):

Se debe tener presente, que la prevención que a continuación se describe, debe ir en coordinación con la prevista durante el movimiento de tierras efectuado en el momento de su puesta en obra.

Antes del inicio del vertido del hormigón, el Capataz (o Encargado), revisará el buen estado de seguridad de las entibaciones.

Antes del inicio del hormigonado el Capataz (o Encargado), revisara el buen estado de seguridad de los encofrados en prevención de reventones y derrames.

Se mantendrá una limpieza esmerada durante esta fase. Se eliminarán antes del vertido del hormigón puntas, restos de madera, redondos y alambres.

Se instalarán pasarelas de circulación de personas sobre las zanjas a hormigonar, formadas por un mínimo de tres tablones trabados (60 cm. de anchura).

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Se establecerán pasarelas móviles, formadas por un mínimo de tres tablones sobre las zanjas a hormigonar, para facilitar el paso y los movimientos necesarios del personal de ayuda al vertido.

Se establecerán a una distancia mínima de 2 m. (como norma general) fuertes topes de final de recorrido, para los vehículos que deban aproximarse al borde de zanjas (o zapatas) para verter hormigón (Dumper, camión hormigonera).

Siempre que sea posible, el vibrado se efectuará estacionándose el operario en el exterior de la zanja.

Para vibrar el hormigón desde posiciones sobre la cimentación que se hormigona, se establecerán plataformas de trabado móviles, formadas por un mínimo de tres tablones que se dispondrán perpendicularmente al eje de la zanja o zapata.

Normas o medidas preventivas tipo de aplicación durante el hormigonado de muros:

Antes del inicio del vertido del hormigón, el Capataz (o Encargado), revisará el buen estado de seguridad de las entibaciones de contención de tierras de los taludes del vaciado que interesan a la zona de muro que se va a hormigonar, para realizar los refuerzos o saneos que fueran necesarios.

El acceso al trasdós del muro (espacio comprendido entre el encofrado externo y el talud del vaciado), se efectuará mediante escaleras de mano. No se debe permitir el acceso "escalando el encofrado", por ser una acción insegura.

Antes del inicio del hormigonado, el Capataz (o Encargado), revisará el buen estado de seguridad de los encofrados en prevención de reventones y derrames.

Antes del inicio del hormigonado, y como remate de los trabajos de encofrado, se habrá construido la plataforma de trabajo de coronación del muro desde la que ayudará a las labores de vertido y vibrado.

La plataforma de coronación de encofrado para vertido y vibrado, que se establecerá a todo lo largo del muro; tendrá las siguientes dimensiones:

- Longitud: la del muro.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

- Anchura: sesenta centímetros, (3 tablonos mínimo).
- Sustentación: jabalcones sobre el encofrado.
- Protección: barandillas de 90 cm. de altura formada por pasamanos, listón intermedio y rodapié de 15 cm.
- Acceso: mediante escalera de mano reglamentaria (ver el apartado dedicado a las escaleras de mano).

Se establecerán a una distancia mínima de 2 m. (como norma general), fuertes topes de final de recorrido, para los vehículos que deban aproximarse al borde de los taludes del vaciado, para verter el hormigón (Dumper, camión, hormigonera).

El vertido del hormigón en el interior del encofrado se hará repartiéndolo uniformemente a lo largo del mismo, por tongadas regulares, en evitación de sobrecargas puntuales que puedan deformar o reventar el encofrado.

El desencofrado del trasdós del muro (zona comprendida entre éste y el talud del vaciado) se efectuará, lo más rápidamente posible, para no alterar la entibación si la hubiese, o la estabilidad del talud natural.

Normas o medidas preventivas de aplicación durante el hormigonado de pilares y jácenas:

Antes del inicio del vertido del hormigón, el Capataz (o el encargado), revisará el buen estado de la seguridad de los encofrados, en prevención de accidentes por reventones o derrames.

Antes del inicio del hormigonado, se revisará la correcta disposición y estado de las redes de protección de los trabajos de estructura. No se debe permitir, bajo ningún concepto, trepar por los encofrados de los pilares o permanecer en equilibrio sobre los mimos.

Se vigilará el buen comportamiento de los encofrados durante el vertido del hormigón, paralizándolos en el momento que se detecten fallos. No se reanudará el vertido hasta restablecer la estabilidad mermada.

El hormigonado y vibrado del hormigón de pilares, se realizará desde "castilletes de hormigonado".

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

El hormigonado y vibrado del hormigón de jácenas (o vigas), se realizará desde andamios metálicos modulares o andamios sobre borriquetas reglamentarias, construidas al efecto.

La cadena de cierre del acceso de la "torreta o castillete de hormigonado" permanecerá amarrada, cerrando el conjunto siempre que sobre la plataforma exista algún operario.

Se revisará el buen estado de los huecos en el forjado, reinstalando las "tapas" que falten y clavando las sueltas, diariamente.

Se revisará el buen estado de las viseras de protección contra caída de objetos, solucionándose los deterioros diariamente.

Se esmerará el orden y limpieza durante esta fase. El barrido de puntas, clavos y restos de madera y de serrín será diario.

2.2.2.1.6 Cerramiento y albañilería

Los huecos existentes en el suelo permanecerán protegidos, para la prevención de caídas.

A las zonas de trabajo se accederá siempre de forma segura.

Las zonas de trabajo serán limpiadas de escombros, para evitar acumulaciones innecesarias.

No se lanzarán cascotes directamente por las aperturas de fachadas.

2.2.2.1.7 Cubiertas

Todos los huecos de la cubierta permanecerán tapados.

El acceso a la cubierta se realizará con escaleras de mano, sobrepasando 1 m la altura a salvar.

Se instalarán señales de peligro en los forjados avisando del riesgo de caminar sobre las bovedillas

Las barandillas rodearán los perímetros de los forjados, y teniendo la suficiente resistencia para garantizar la retención de personas.

2.2.2.1.8 Solados

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

El corte de piezas de pavimento en vía seca con sierra circular, se efectuará situándose el cortador a sotavento, para evitar en lo posible respirar los productos en suspensión

Las zonas de trabajo tendrán una iluminación mínima de 100 lux, medidos a una altura sobre el suelo de 2 metros.

Las piezas de pavimento se izarán a las plantas sobre plataformas implantadas, correctamente apiladas dentro de las cajas de suministro que no se romperán hasta la hora de utilizar su contenido.

En los lugares de tránsito de personas, se acotarán con cuerda de banderolas las superficies recientemente soladas, para evitar posibles caídas.

Las cajas o paquetes de pavimento, nunca se dispondrán de forma que obstaculicen los lugares de paso, para evitar accidentes por tropiezo.

Cuando esté en fase de pavimentación un lugar de paso y comunicación interno de la obra, se cerrará el acceso, indicándose itinerarios alternativos mediante señales de dirección obligatoria.

Los lugares en fase de pulimento se señalizarán mediante rótulos de:” peligro, pavimento resbaladizo”.

Las pulimentadoras y abrillantadoras a utilizar, estarán dotadas de doble aislamiento, para evitar los accidentes por riesgo eléctrico.

Las pulimentadoras y abrillantadoras a utilizar, tendrán el manillar revestido de material aislante de la electricidad.

Las pulimentadoras y abrillantadoras estarán dotadas de protección antiatrapamientos, (o abrasiones), por contacto con los cepillos y lijas.

Las operaciones de mantenimiento y sustitución o cambio de cepillos o lijas, se efectuarán siempre con la máquina desenchufada de la red eléctrica para evitar los accidentes por riesgo eléctrico.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Los lodos, producto de los pulidos, serán orillados siempre hacia zonas no de paso y eliminados inmediatamente de la planta.

Se colgarán cables de seguridad anclados a elementos firmes de la estructura, según detalles de planos, de los que amarrar el fiador del cinturón de seguridad para realizar los trabajos de instalación del peldaño definitivo de las escaleras.

2.2.2.1.9 Carpintería metálica

Los elementos de carpintería se descargarán en bloques perfectamente atados, pendientes mediante eslingas.

Los acopios de carpintería metálica, se acopiarán en los lugares destinados para tal efecto en los planos.

En todo momento se mantendrán libres los pasos o caminos de intercomunicación interior y exterior de la obra para evitar los accidentes por tropiezos por interferencias.

El izado de las plantas mediante el gancho de la grúa se ejecutará por bloques de elementos flejados o atados. Nunca elementos sueltos de forma desordenada. A la llegada a las plantas se soltarán los flejes para su distribución y puesta en obra.

El Vigilante de Seguridad, comprobará que todas las carpinterías en fase de “presentación”, permanezcan perfectamente acuñadas y apuntaladas, para evitar accidentes por desplomes.

En todo momento se mantendrán libres de cascotes metálicos y demás objetos punzantes, para evitar los accidentes por pisadas sobre objetos.

Se desmontarán únicamente en los tramos necesarios, aquellas protecciones, que obstaculicen el paso de los elementos de la carpintería metálica; una vez introducidos los cercos, etc. en la planta se repondrán rápidamente.

Antes de la utilización de la máquina- herramienta, el operario deberá estar provisto del documento expreso de autorización de manejo de esa determinada máquina

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Antes de la utilización de cualquier máquina- herramienta, se comprobará que se encuentra en óptimas condiciones y con todos los mecanismos y protectores de seguridad instalados en perfectas condiciones.

Los andamios para recibir las carpinterías metálicas desde el interior de las fachadas, estarán limitados en su parte delantera, por una barandilla sólida de 90 cm. De altura, medida desde la superficie de trabajo, formada por pasamanos, listón intermedio y rodapié para evitar el riesgo de caídas desde altura.

Buscar soluciones en la línea que se describe, dentro del apartado de albañilería, para la construcción de fachadas desde el interior.

El “cuelgue” de los elementos se efectuará por un mínimo de una cuadrilla, para evitar el riesgo de vuelcos, golpes y caídas.

Los tramos metálicos longitudinales, transportados al hombro por un solo hombre, irán inclinadas hacia atrás, procurando que la punta que va por delante, esté a una altura superior a la de una persona, para evitar golpes con los demás operarios.

Se prohíbe utilizar a modo de borriquetas los bidones, cajas o pilas de material y asimilables, para evitar trabajar sobre superficies inestables.

Se dispondrán anclajes de seguridad en las jambas de los ventanales, a los que amarrar el fiador del cinturón de seguridad, durante las operaciones de instalación en fachadas de la carpintería metálica.

Las zonas interiores de trabajo, tendrán una iluminación de 100 lux, medidos a una altura sobre el suelo de 2 metros.

Toda la maquinaria eléctrica a utilizar en esta obra estará dotada de toma de tierra en combinación con los disyuntores diferenciales del cuadro general de la obra, o de doble aislamiento.

Se prohíbe la anulación de la toma de tierra de las mangueras de alimentación.

Se notificará a dirección las desconexiones habidas por funcionamiento de los disyuntores diferenciales.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Los operarios estarán con el fiador del cinturón de seguridad sujeto a los elementos sólidos que están previstos en los planos.

Los elementos metálicos que resulten inseguros en situaciones de consolidación de su recibido, se mantendrán apuntalados, para garantizar su perfecta ubicación definitiva y evitar desplomes.

2.2.2.1.10 Pintura y barnizado

Las pinturas se almacenarán en los lugares señalados en los planos con el título “Almacén de Pinturas”, manteniéndose siempre la ventilación por “tiro de aire”, para evitar los riesgos de incendios y de intoxicaciones.

Se instalará un extintor de polvo químico seco al lado de la puerta de acceso al almacén de pinturas.

Sobre la hoja de la puerta de acceso al almacén de pinturas, se instalará una señal de “peligro de incendios” y otra de “prohibido fumar”.

Los botes industriales de pinturas y disolventes se apilarán sobre tablones de reparto de cargas para evitar sobrecargas innecesarias.

Se prohíbe almacenar pinturas susceptibles de emanar vapores inflamables con los recipientes mal o incompletamente cerrados, para evitar accidentes por generación de atmósferas tóxicas o explosivas.

Se evitará la formación de atmósferas nocivas manteniéndose siempre ventilado el local que se está pintando.

Se tenderá cables de seguridad amarrados a los puntos fuertes según planos, de los que amarrar los fiados del cinturón de seguridad en las situaciones de riesgo de caídas desde altura.

Los andamios para pintar tendrán una superficie de trabajo de una anchura mínima de 60 cm. (tres tablones trabados), para evitar los accidentes por trabajos realizados sobre superficies angostas.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Se prohíbe la formación de andamios a base de un tablón apoyado en los peldaños de dos escaleras de mano, tanto de las de apoyo libre como las de tijera, para evitar el riesgo de caída a distinto nivel.

Se prohíbe la formación de andamios a base de bidones, pilas de materiales y asimilables, para evitar la realización de trabajos sobre superficies inseguras.

Las zonas de trabajo tendrán una iluminación mínima de 100 lux, medidos a una altura sobre el suelo de 2 metros

La iluminación mediante portátiles se hará con portalámparas estancos con mango aislante y rejilla de protección de la bombilla y alimentados a 24 V.

Se prohíbe el conexionado de cables eléctricos a los cuadros de alimentación sin la utilización de las clavijas macho- hembra, en prevención del riesgo eléctrico.

Las escaleras a utilizar serán tipo tijera, dotadas de zapatas antideslizantes y de cadenilla limitadora de apertura.

Las operaciones de lijado mediante lijadora eléctrica manual, se ejecutarán siempre bajo ventilación por “corriente de aire”, para evitar los accidentes por trabajar en el interior de atmósferas nocivas.

El vertido de pigmentos en el soporte se realizará desde la menor altura posible, para evitar las salpicaduras y formación de atmósferas pulverulentas.

Se prohíbe fumar y comer en las estancias en las que se pinte con pinturas que contengan disolventes orgánicos o pigmentos tóxicos.

2.2.2.2 Instalación eléctrica provisional en obra

2.2.2.2.1 Normas prevención para los cables

El calibre o sección del cableado será siempre el adecuado para la carga eléctrica que ha de soportar en función del cálculo para la maquinaria e iluminación prevista.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Los hilos tendrán la funda protectora aislante sin defectos apreciables.

2.2.2.2.2 Normas de prevención para los interruptores

Se ajustarán a los especificados en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

Las cajas de interruptores poseerán adheridas sobre su puerta una señal de "peligro electricidad".

2.2.2.2.3 Normas de prevención para los cuadros eléctricos

Serán metálicos de tipo para la intemperie, con puerta y cerraja de seguridad.

Los cuadros eléctricos metálicos tendrán la carcasa conectada a tierra.

Los cuadros eléctricos se ubicarán en lugares de fácil acceso, a dos metros del borde de la excavación o camino.

2.2.2.2.4 Normas de prevención para las tomas de energía

Las tomas de corriente de los cuadros se efectuarán de los cuadros de distribución, mediante clavijas normalizadas blindadas (protegidas contra contactos directos)

Cada toma de corriente suministrará energía eléctrica a un sólo aparato, máquina o máquina-herramienta.

La tensión siempre estará en la clavija "hembra", nunca en la "macho", para evitar contactos eléctricos directos.

2.2.2.2.5 Normas de prevención para la protección de los circuitos

Toda la maquinaria eléctrica estará protegida con un disyuntor diferencial.

Todas las líneas estarán protegidas por un disyuntor diferencial.

Los disyuntores diferenciales se instalarán de acuerdo con las siguientes sensibilidades:

–300 mA (Según R.E.B.T.) - Alimentación a la maquinaria.

–30 mA (Según R.E.B.T.) - Alimentación a la maquinaria como mejora del nivel– de seguridad.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

-30 mA Para instalaciones eléctricas de alumbrado no portátil.

2.2.2.2.6 Normas prevención para las tomas de tierra

El transformador de la obra será dotado de una toma de tierra ajustada a los Reglamentos vigentes y a las normas propias de la compañía eléctrica suministradora en la zona.

Las partes metálicas de todo equipo eléctrico dispondrán de toma de tierra.

El neutro de la instalación estará puesto a tierra.

La toma de tierra se efectuará a través de la pica o placa de cada cuadro general.

El hilo de toma de tierra, siempre estará protegido con macarrón en colores amarillo y verde. No se utilizarán para otros usos.

La toma de tierra de las máquinas herramientas que no estén dotadas de doble aislamiento, se efectuará mediante hilo neutro en combinación con el cuadro de distribución correspondiente y el cuadro general de obra.

Las tomas de tierra de cuadros eléctricos generales distintos, serán independientes eléctricamente.

2.2.2.2.7 Normas de seguridad de aplicación durante el mantenimiento y reparaciones de la instalación eléctrica provisional de la obra

Toda la maquinaria eléctrica se revisará periódicamente, y en especial, en el momento en el que se detecte un fallo, momento en el que se la declarará fuera de servicio mediante desconexión eléctrica.

No se realizarán revisiones o reparaciones bajo corriente. Antes de iniciar una reparación se desconectará la máquina de la red eléctrica, instalando en el lugar de conexión un letrero visible en el que se lea: "NO CONECTAR, HOMBRES TRABAJANDO EN LA RED".

Los andamios sobre borriquetas, cuya plataforma de trabajo esté ubicada a dos o más metros de altura, se arriostrarán entre sí, mediante cruces de San Andrés, para evitar los movimientos oscilatorios.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Las plataformas de trabajo que estén ubicadas a dos o más metros de altura, poseerán barandillas perimetrales completas de 90 cm de altura, formadas por pasamanos, barra o listón intermedio y rodapiés.

2.2.2.3 Medios auxiliares

2.2.2.3.1 Andamios

Andamios en general.

Los andamios siempre se asegurarán para evitar los movimientos indeseables que pueden hacer perder el equilibrio a los trabajadores.

Antes de subirse a una plataforma andamiada deberá revisarse toda su estructura para evitar las situaciones inestables.

Los tramos verticales (módulos o pies derechos), de los andamios se apoyarán sobre tablonces de reparto de cargas.

Las plataformas de trabajo, ubicadas a más de 2,00 m de altura, poseerán barandillas perimetrales completas de 90 cm de altura, formadas por pasamanos, barra o intermedio o rodapiés, o bien una red de seguridad tensa que cubra los 90 cm que deberá cubrir la barandilla.

La distancia de separación de un andamio y el paramento vertical de trabajo no será superior a 30 cm en prevención de caídas.

Los andamios serán capaces de soportar hasta cuatro veces la carga máxima prevista.

Se establecerán a lo largo y ancho de los paramentos verticales "puntos fuertes" de seguridad en los que arriostrar los andamios.

Andamios sobre borriquetas

Las borriquetas siempre se montarán perfectamente niveladas.

Las plataformas de trabajo se anclarán perfectamente a las borriquetas, en evitación de balanceos.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Las plataformas de trabajo no sobresaldrán más de 40 cm para evitar el riesgo de vuelcos

Las borriquetas no estarán separadas a ejes entre sí más de 2,5 m para evitar las grandes flechas.

Las plataformas de trabajo sobre borriquetas tendrán una anchura mínima de 60 cm (3 tablones trabados entre sí), y el grosor del tablón será como mínimo de 7 cm.

Los andamios se formarán sobre un mínimo de dos borriquetas. No se sustituirán por bidones, pilas de materiales y similares.

Las borriquetas metálicas de sistema de apertura de cierre o tijera, estarán dotadas de cadenillas limitadoras de la apertura máxima, para garantizar su estabilidad.

Sobre los andamios de borriquetas sólo se mantendrá el material estrictamente necesario y repartido uniformemente por la plataforma de trabajo.

2.2.2.3.2 Escalera de mano

No se utilizarán escaleras de mano para salvar alturas superiores a 5 m. Las escaleras de mano estarán dotadas en su extremo inferior de zapatas antideslizantes de Seguridad.

Las escaleras de mano a utilizar estarán firmemente amarradas en su extremo superior al objeto o estructura al que den acceso.

Las escaleras de mano sobrepasarán en 0,90 cm la altura a salvar. Esta cota se medirá en vertical desde el plano de desembarco, al extremo superior del larguero.

No se transportarán pesos a mano (o a hombro), iguales o superiores a 25 kg, sobre las escaleras de mano.

2.2.2.3.3 Puntales

Las hileras de puntales se dispondrán sobre durmientes de madera (tablones), nivelados y aplomados en la dirección exacta en la que deban trabajar.

El reparto de la carga sobre las superficies apuntaladas se realizará uniformemente repartido.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

2.2.2.3.4 Pasillo de seguridad

Podrán realizarse a base de tablonces firmemente sujetos al terreno y cubierta cuajada de tablonces. Estos elementos también podrán ser metálicos (los pórticos a base de tubo de perfiles y la cubierta de chapa).

Serán capaces de soportar el impacto de los objetos que se prevea puedan caer, pudiendo colocar elementos amortiguadores sobre la cubierta (sacos, capa de arena, etc.).

2.2.2.4 Maquinaria

2.2.2.4.1 Maquinaria para el movimiento de tierras

No se permanecerá o trabajará dentro del radio de acción de la maquinaria para el movimiento de tierras para evitar riesgos de atropello.

Si se produjese un contacto con líneas eléctricas con tren de rodadura de neumáticos, el maquinista permanecerá inmóvil en su puesto y solicitará ayuda. Antes de realizar ninguna acción se inspeccionará el tren de neumáticos con el fin de detectar la posibilidad de puente eléctrico con el terreno; de ser posible el salto sin riesgo de contacto eléctrico, el maquinista saltará fuera de la máquina sin tocar a la vez la máquina y el terreno.

No se transportará personas sobre las máquinas para el movimiento de tierras, para evitar riesgos de caídas y atropellos.

Se instalarán topes de seguridad de fin de recorrido, ante la coronación de los taludes a los que debe aproximarse la maquinaria empleada en el movimiento de tierras.

Estos topes se podrán realizar con un par de tablonces embridados, fijados al terreno por medio de redondos hincados al mismo, o de otra forma eficaz.

2.2.2.4.2 Grúa

Los cables de sustentación de cargas que presenten un 10% de hilos rotos, serán sustituidos de inmediato.

Los ganchos de acero serán normalizados, con rótulo de carga máxima admisible, y dotados de pestillo de seguridad.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

No se suspenderá o transportará a personas mediante el gancho de la grúa torre.

En presencia de tormenta, con riesgo de descarga eléctrica, se paralizarán los trabajos con la grúa torre, dejándola fuera de servicio, hasta pasado el riesgo.

Al finalizar la jornada, se izará el gancho libre de cargas a tope junto al mástil, se dejará la pluma en posición de veleta, se pondrán los mandos a cero y se abrirán los seccionadores del mando eléctrico de la máquina (desconectar la energía eléctrica), desconectando previamente el suministro eléctrico de la grúa en el cuadro general de la obra.

Se paralizarán los trabajos con la grúa torre, por criterios de seguridad, cuando las labores deban realizarse bajo régimen de vientos iguales o superiores a 60 km/h.

2.2.2.4.3 Camión grúa

Antes de iniciar las maniobras de carga se instalarán los calzos inmovilizadores en las cuatro ruedas y los gatos estabilizadores.

Las maniobras de carga y descarga serán dirigidas por un especialista en prevención de los riesgos por maniobras incorrectas.

Los ganchos de cuelgue estarán dotados de pestillos de seguridad.

Se prohíbe expresamente sobrepasar la carga máxima admisible fijada por el fabricante del camión en función de la extensión del brazo-grúa.

El gruista tendrá en todo momento a la vista la carga suspendida.

Las cargas en suspensión, para evitar golpes y balanceos, se guiarán mediante cabos de gobierno.

Se prohíbe la permanencia bajo las cargas en suspensión.

El conductor del camión grúa estará en posesión del certificado de capacitación que acredite su pericia.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

2.2.2.4.4 Dobladora mecánica de ferralla

Se efectuará un barrido periódico del entorno de la dobladora de ferralla en prevención de daños por pisadas sobre objetos cortantes o punzantes.

Serán revisadas semanalmente observándose especialmente la buena respuesta de los mandos.

Tendrán conectada a tierra todas sus partes metálicas en prevención del riesgo eléctrico.

La manguera de alimentación eléctrica de la dobladora se llevará hasta esta de forma enterrada para evitar los deterioros por roce y aplastamiento durante el manejo de la ferralla.

Se instalará en torno a la dobladora mecánica de ferralla un entablado de tabla de 5 cm, sobre una capa de gravilla, con una anchura de tres metros en su entorno.

2.2.2.4.5 Extendedora de productos bituminosos

No se permite la permanencia sobre la extendedora en marcha a otra persona que no sea su conductor, para evitar accidentes por caída.

Las maniobras de aproximación y vertido de productos asfálticos en la tolva estarán dirigidos por un especialista, en previsión de riesgos por impericia.

Todos los operarios de auxilio quedarán en posición en la cuneta por delante de la máquina durante las operaciones de llenado de la tolva, en previsión de riesgos por atrapamientos y atropello durante las maniobras.

Los bordes laterales de la extendedora, en prevención de atrapamientos, estarán señalizados a bandas amarillas y negras alternativas.

Se prohíbe expresamente, el acceso de operarios a la regla vibrante durante las operaciones de extendido, en prevención de accidentes.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

2.2.2.4.6 Rodillo vibrante autopropulsado

Los conductores de los rodillos vibrantes serán operarios de probada destreza en el manejo de estas máquinas, en prevención de los riesgos por impericia.

La compactadora a utilizar en esta obra estará dotada de cabina antivuelco y antiimpacto.

Las compactadora a utilizar en esta obra, estará dotada de un botiquín de primeros auxilios, ubicado de forma resguardada para conservarlo limpio.

Se prohíbe expresamente el abandono del rodillo vibrante con el motor en marcha.

Se prohíbe el transporte de personas ajenas a la conducción sobre el rodillo vibrante.

Se prohíbe la permanencia de operarios en el tajo de rodillos vibrantes, en prevención de atropellos.

2.2.2.5 Protección contra incendios

Se utilizarán extintores de polvo polivalente, revisándose periódicamente.

2.2.2.6 Riegos

Las pistas para tráfico de obra se regarán convenientemente para evitar producción de polvo.

2.3 Servicios de prevención

2.3.1 Servicio técnico de seguridad y salud

La obra contará con asesoramiento técnico en prevención de riesgos profesionales a través del Servicio Central de Seguridad y Salud del Contratista adjudicatario de las obras.

2.3.2 Servicio médico

La empresa constructora dispondrá de un Servicio Médico de Empresa propio o mancomunado.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

La obra contará con asesoramiento técnico en prevención de riesgos profesionales a través del Servicio Central de Seguridad e Higiene del Contratista adjudicatario de las obras.

2.4 Obligaciones del coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra.

El coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra deberá desarrollar las siguientes funciones:

Coordinar la aplicación de los principios generales de prevención y seguridad:

Al tomar las decisiones técnicas y de organización con el fin de planificar los distintos trabajos o fases de trabajo que vayan a desarrollarse simultánea o sucesivamente.

Al estimar la duración requerida para la ejecución de estos distintos trabajos o fases de trabajo.

Coordinar las actividades de la obra para garantizar que los contratistas y, en su caso, los subcontratistas y los trabajadores autónomos apliquen de manera coherente y responsable los principios de la acción preventiva, que se recogen en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales durante la ejecución de la obra y, en particular, en las tareas o actividades a que se refiere el artículo 10 del Real Decreto 1627/1997.

Aprobar el plan de seguridad y salud elaborado por el contratista, y en su caso, las modificaciones introducidas en el mismo. Conforme a lo dispuesto en el último párrafo del apartado 2, del artículo 7, la dirección facultativa asumirá esta función cuando no fuera necesaria la designación de coordinador.

Organizar la coordinación de actividades empresariales prevista en el artículo 24 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

Coordinar las acciones y funciones de control de aplicación correcta de los métodos de trabajo.

Adoptar las medidas necesarias para que solo las personas autorizadas puedan acceder a la obra. La dirección facultativa asumirá esta función cuando no fuera necesaria la designación del coordinador.

2.5 Obligaciones de los contratistas y las subcontratas

Los contratistas y subcontratistas estarán obligados a:

- Aplicar los principios de la acción preventiva que se recogen en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, en particular al desarrollar las tareas o actividades indicadas en el artículo 10 del Real Decreto 1627/1997.
- Cumplir y hacer cumplir a su personal lo establecido en el plan de Seguridad y Salud al que se refiere el artículo 7.
- Cumplir la normativa en materia de prevención de riesgos laborales, teniendo en cuenta, en su caso, las obligaciones sobre coordinación de actividades empresariales previstas en el artículo 24 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, así como cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el anexo IV del Real Decreto 1627/1997, durante la ejecución de la Obra
- Informar y proporcionar las instrucciones adecuadas a los trabajadores autónomos sobre todas las medidas que hayan de adoptarse en lo que se refiere a su seguridad y salud en la obra.
- Atender las indicaciones y cumplir las instrucciones y cumplir las instrucciones del Coordinador en materia de Seguridad y de Salud durante la ejecución de la obra o, en su caso, de la dirección facultativa.
- Los Contratistas y los Subcontratistas serán responsables de la ejecución correcta de las medidas preventivas fijadas en el plan de Seguridad y Salud en lo relativo a las obligaciones que les correspondan a ellos directamente o, en su caso, a los trabajadores autónomos por ellos contratados.
- Además, los Contratistas y los Subcontratistas responderán solidariamente de las consecuencias que se deriven del incumplimiento de las medidas previstas en el plan, en los términos del apartado 2 del artículo 42 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
- Las responsabilidades de los coordinadores, de la dirección facultativa y del promotor, no eximirán de sus responsabilidades a los Contratistas y a los Subcontratistas

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

2.6 Obligaciones de los trabajadores autónomos

Los trabajadores autónomos estarán obligados a:

- Aplicar los principios de la acción preventiva que se recoge en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, en particular al desarrollar las tareas o actividades indicadas en el artículo 10 del presente Real Decreto.
- Cumplir las disposiciones mínimas, de Seguridad y Salud establecidas en el anexo IV del Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, durante la ejecución de la Obra.
- Cumplir las obligaciones en materia de prevención de riesgos que establece para los trabajadores el artículo 29, apartados 1 y 2, de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.
- Ajustar su actuación en la Obra conforme a los deberes de coordinación de actividades empresariales establecidos en el artículo 242 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, participando en particular en cualquier medida de actuación coordinada que se hubiera establecido.
- Utilizar los equipos de trabajo que se ajusten a lo dispuesto en el Real Decreto 1215/1997, de 18 de Julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de Seguridad y Salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.
- Elegir y utilizar equipos de protección individual en los términos previstos en el Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de Seguridad y Salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Atender las indicaciones y cumplir las instrucciones del Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la Obra o, en su caso, de la dirección facultativa.

Los trabajadores autónomos deberán cumplir lo establecido en el plan de Seguridad y Salud.

2.7 Instalaciones médicas

Se habilitará un local para botiquín, debidamente dotado, de acuerdo con las necesidades de la obra. El botiquín mantendrá permanentemente la dotación precisa reponiéndose a éste fin de forma continuada los medios consumidos.

2.8 Instalaciones de higiene y bienestar

Las instalaciones provisionales de obra se adaptarán en lo relativo a elementos,

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

dimensiones y características a lo especificado en los Artículos 15 y 16 del REAL DECRETO 1627/1997, de 24 de Octubre de Seguridad y Salud y 335, 336 y 337 de la Ordenanza Laboral de la Construcción, Vidrio y Cerámica.

2.8 Paralización de los trabajos

- Sin perjuicio de lo previsto en los apartados 2 y 3 del artículo 21 y en el artículo 44 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, cuando el Coordinador en materia de Seguridad y Salud durante la ejecución de la obra o cualquier otra persona integrada en la dirección facultativa observase incumplimiento de las medidas de Seguridad y Salud, advertirá al Contratista de ello, dejando constancia de tal incumplimiento en el libro de incidencias, cuando esto exista, de acuerdo con lo dispuesto en el apartado 1 del artículo 13 y quedar facultado para, en circunstancia de riesgo grave e inminente para la seguridad y la salud de los trabajadores disponer la paralización de los trabajos o, en su caso, la totalidad de la obra.
- En el supuesto previsto en el apartado anterior, la persona que hubiera ordenado la paralización deberá dar cuenta a los efectos oportunos a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social correspondiente, a los Contratistas afectados por la paralización, así como a los representantes de los trabajadores de éstos.
- Asimismo, lo dispuesto en este artículo se entiende sin perjuicio de la normativa sobre contratos de Administraciones públicas relativa al cumplimiento de plazos y suspensión de obras.

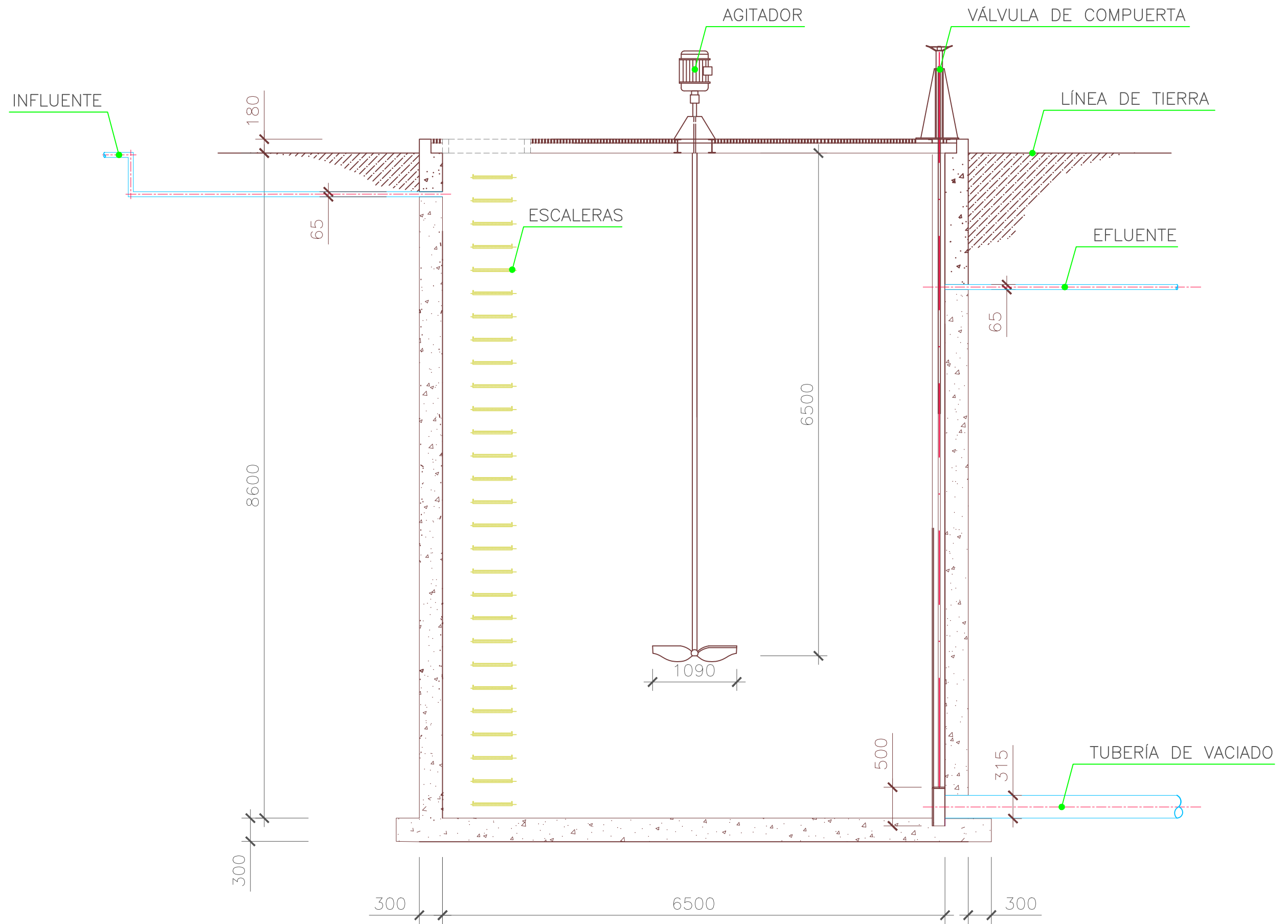
Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos


3. PLANOS

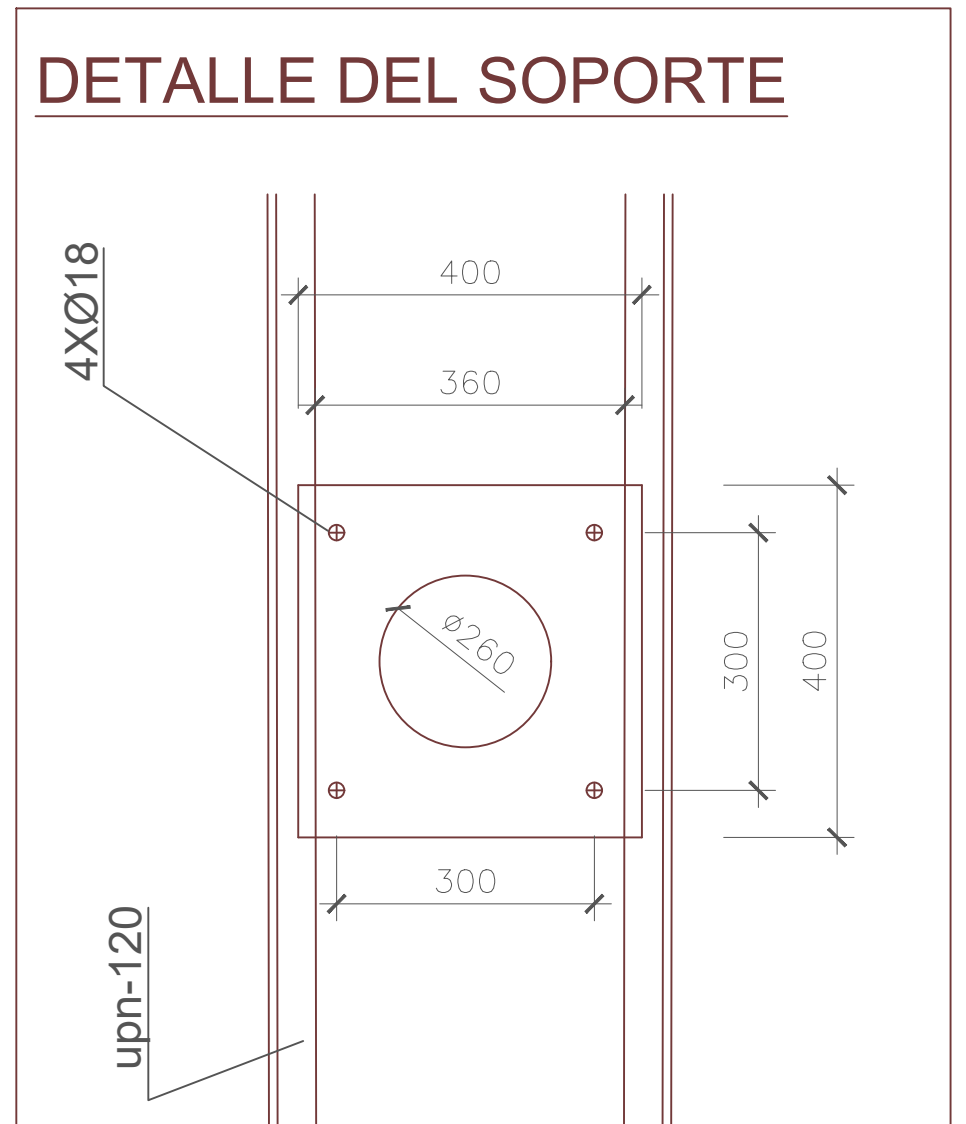
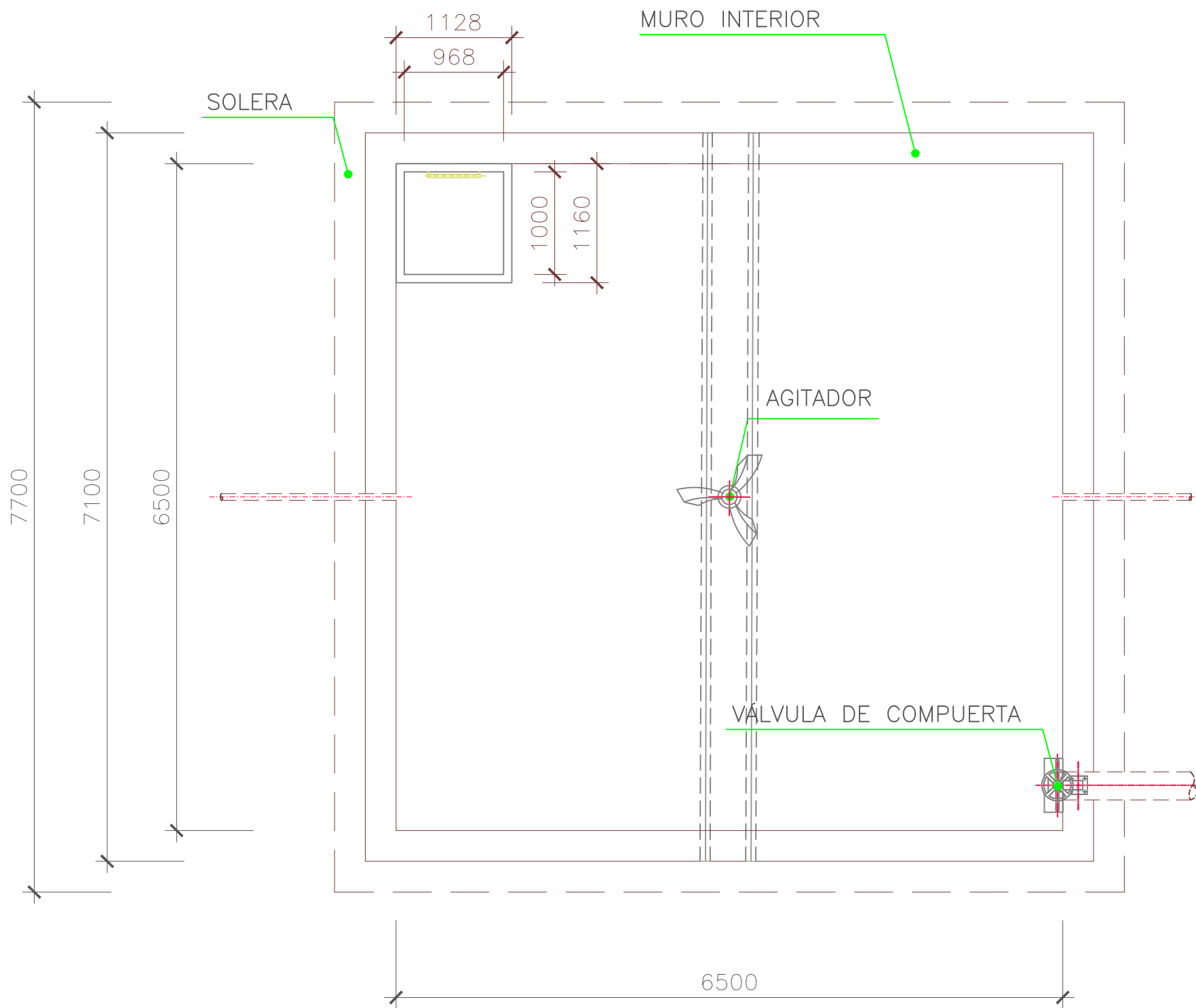
ÍNDICE PLANOS

PLANO 01 PLANTA DE EQUIPOS

PLANO 02 ALZADO DE EQUIPOS Y DETALLE



TFC INGENIERÍA QUÍMICA	Escala 1/50	Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos
	Uni. dimensional mm	Alzado del depósito anóxico y del agitador
PLANO 01	Sistema 	Dubán Estiben González Ramírez



TFC INGENIERÍA QUÍMICA	Escala 1/50	Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos
	Uni. dimensional mm	Planta del depósito anóxico y detalle del soporte del agitador
PLANO 02	Sistema 	Dubán Estiben González Ramírez

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

4. PLIEGO DE CONDICIONES

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

ÍNDICE PLIEGO DE CONDICIONES

1. DISPOSICIONES GENERALES	1
2. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVAS	2
2.1. Delimitación facultativa de funciones de los agentes intervinientes	2
2.2. Obligaciones y derechos del contratista o constructor	4
2.3. Trabajos, materiales y medios auxiliares.....	8
2.4. Recepción y liquidación de la obra.....	11
3. PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS	14
3.1. Base fundamental	14
3.2. Garantías de cumplimiento y fianzas.....	14
3.3. Precios y revisiones	15
3.4. Valoración y abono de los trabajos.....	19
3.5. Varios.....	21
4. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL	22
5. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	25

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

1. DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1. Objeto y naturaleza del pliego general

El presente Pliego de Condiciones tiene una naturaleza supletoria del Pliego de Condiciones Particulares del Proyecto. Tiene por objeto regular la ejecución de las obras del presente proyecto, Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos, fijando los niveles técnicos y de calidad exigibles, precisando las intervenciones que corresponden, según contrato y con arreglo a la legislación aplicable, al promotor o titular de la obra, a los técnicos proyectistas y encargados, a los encargados del control de calidad, así como a las relaciones entre todos ellos y sus correspondientes obligaciones en orden al cumplimiento del contrato de obra.

Artículo 2. Obras de presente proyecto

Se considerarán sujetas a las condiciones de este Pliego, todas las obras e instalaciones cuyas características, planos y presupuestos, se adjuntan en las partes correspondientes del presente Proyecto, así como todas las obras necesarias para dejar completamente terminadas todas las instalaciones con arreglo a los planos y documentos adjuntos.

Se entiende por obras accesorias aquellas que, por su naturaleza, no pueden ser previstas en todos sus detalles, sino a medida que avanza la ejecución de los trabajos. Estas se construirán según se vaya conociendo su necesidad. Cuando su importancia lo exija, se construirán en base a los proyectos reformados que se redacten. En los casos de menos importancia, se llevarán a cabo conforme a la propuesta que formule el Directos de la Obra.

Artículo 3. Documentación que definen las obras

Los documentos que definen las obras y las instalaciones y que la propiedad entregue al Contratista, pueden tener carácter contractual o meramente informativo. Son documentos contractuales los Planos, Pliego de Condiciones y Presupuesto que se incluyan en el presente Proyecto. Los datos incluidos en la Memoria y Anejos tienen un carácter meramente informativo.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Cualquier cambio en el planteamiento de la Obra que implique un cambio sustancial respecto de lo proyectado deberá ponerse en conocimiento de la Dirección Técnica para que lo apruebe, si procede, y redacte el oportuno proyecto reformado.

Artículo 4. Compatibilidad y relación entre los documentos

En caso de contradicción entre Planos y Pliego de Condiciones, prevalecerá lo prescrito en este último documento. Lo mencionado en los Planos y omitido en el Pliego de Condiciones o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviera expuesto en ambos documentos.

2. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE FACULTATIVAS

2.1. Delimitación facultativa de funciones de los agentes intervinientes

Artículo 5. Director de la obra

La propiedad nombra en su representación a un Ingeniero Técnico Director de Obra, en quien recaerán las labores de dirección, control y vigilancia de las obras del presente Proyecto.

No será el responsable antes la propiedad de las tardanzas de los Organismos Competentes en la tramitación de Proyecto. La tramitación es ajena al Ingeniero Director, quien una vez conseguidos todos los permisos, dará la orden de comenzar la obras e instalaciones y el ritmo de las mismas.

Tendrá las siguientes funciones:

- a) Tener la titulación académica y profesional requerida para desempeñar la profesión.
- b) Verificar el replanteo y la adecuación de las instalaciones proyectadas a las características de la situación actual.
- c) Coordinar y dirigir la instalación de los sistemas.
- d) Asistir al pie de obra para resolver problemas eventuales que se produzcan y consignar en el Libro de órdenes y asistencias las instrucciones precisas para la correcta interpretación del proyecto.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

- e) Elaborar, a requerimiento del promotor o con su conformidad, eventuales modificaciones del proyecto, que vengan exigidas por la marcha de la obra siempre que las mismas se adapten a las disposiciones normativas contempladas y observadas en la redacción del proyecto.
- f) Coordinar el programa de desarrollo del proyecto y la calidad de las instalaciones, con sujeción a la normativa vigente y a las especificaciones del proyecto.
- g) Comprobar los resultados de los análisis e informes realizados por laboratorios y/o entidades de control de calidad.
- h) Coordinar la intervención a la obra de otros técnicos competentes.
- i) Dar conformidad a las certificaciones parciales de obra a la liquidación total.
- j) Redactar el acta de replanteo o comienzo y de fin de la disposición e instalación de sistemas y equipos.
- k) Preparar con el contratista la documentación gráfica y escrita del proyecto definitivamente ejecutado para entregarlo a Promotor.

Artículo 6. El director de la ejecución de la obra

Es el Ingeniero Técnico, formando parte de la dirección facultativa, asume la función técnica de dirigir la ejecución, equipos y materiales de la obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la instalación de los sistemas.

Sus obligaciones son:

- a) Estar en posesión de la titulación académica y profesional para poder ejercer el puesto de trabajo.
- b) Verificar la recepción en obra de los equipos de instalación, ordenando la realización de ensayos y pruebas precisas.
- c) Dirigir la ejecución material de las instalaciones, comprobando los replanteos, los equipos, la correcta ejecución y disposición de los elementos y sus instalaciones de acuerdo con el proyecto y con las instrucciones del Director de obra.
- d) Consignar en el Libro de órdenes y asistencias las instrucciones precisas.
- e) Suscribir el acta de replanteo o de comienzo de disposición e instalaciones de sistemas y equipos y el certificado de final, así como elaborar y suscribir las certificaciones parciales y la liquidación final de las unidades ejecutadas.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

- f) Colaborar con los restantes agentes en la elaboración de la documentación de las instalaciones ejecutadas, aportando los resultados del control realizado.

Artículo 7. Contratista o constructor

El contratista o constructor proporcionará toda clase de facilidades para que el Ingeniero Director, o sus subalternos, puedan llevar a cabo su trabajo con el máximo de eficacia.

Sus obligaciones son:

- a) Firmar el acta de replanteo o de comienzo y el acta de recepción del proyecto.
- b) Ordenar y dirigir la ejecución material con arreglo al proyecto, a las normas técnicas y a las reglas de la buena instalación. A tal efecto, ostenta la jefatura de todo lo personal que intervenga en la obra y coordina las intervenciones de los subcontratistas.
- c) Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los sistemas, equipos y elementos que se utilicen, comprobando sus características y rechazando, por iniciativa propia o por prescripción del ejecutor o ingeniero técnico, los elementos que no cuenten con garantías o documentos de idoneidad requeridos para su instalación.
- d) Custodiar los Libros de órdenes y seguimiento del establecimiento del Proyecto, así como lo de seguridad y salud y el de control de calidad si los hubiera, y dar el enterado a las anotaciones que en ellos se apunten.
- e) Facilitar al ejecutor o al ingeniero técnico con antelación suficiente, los equipos y elementos precisos para el cumplimiento de su cometido.
- f) Preparar las certificaciones parciales de ejecución y la propuesta de liquidación de obra.
- g) Suscribir con el promotor las actas de recepción provisional y definitiva.
- h) Concertar los seguros de accidentes de trabajo y daños a terceros durante la obra.
- i) Facilitar al Director de obra los datos necesarios para la elaboración de la documentación de la instalación ejecutada.
- j) Facilitar el acceso a los laboratorios y entidades de control y calidad, contratados y debidamente homologados para la realización de sus funciones.

2.2. Obligaciones y derechos del contratista o constructor

Artículo 8. Remisión de solicitud de ofertas

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Por la Dirección Técnica se solicitarán ofertas a las Empresas especializadas del sector, para la realización de las instalaciones especificadas en el presente Proyecto; para lo cual se pondrá a disposición de los ofertantes un ejemplar del citado Proyecto o un extracto con los datos suficientes. En el caso de que el ofertantes lo estime de interés, deberá presentar además de la mencionada, la o las soluciones que recomiende para resolver la instalación.

El plazo máximo fijado para la recepción de las ofertas será de un mes.

Artículo 9. Verificación de los documentos del proyecto

El Constructor o Contratista deberá verificar la documentación relacionada con el proyecto y comunicar al Director de la obra de cualquier problema surgido.

Artículo 10. Plan de seguridad e higiene

El Constructor o Contratista presentará el Plan de seguridad e higiene de la obra a la aprobación del Director de la dirección facultativa.

Artículo 11. Oficina en la obra

Se habilitará en la obra una oficina en la que existirá una mesa o tablero adecuado en el que puedan extenderse y consultarse los planos. En dicha oficina el Contratista tendrá siempre a disposición del Director de obra la de Dirección facultativa:

- a) El proyecto de ejecución completo, incluidos los complementos que en su caso redacte el Ingeniero proyectista o Director de la obra.
- b) La licencia de obras.
- c) El Libro de órdenes y asistencias.
- d) El Plan de seguridad e higiene.
- e) El libro de incidencias.
- f) El Reglamento y ordenanza de seguridad e higiene en el trabajo.
- g) La documentación de los seguros mencionados en el Artículo 1.7.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

En la oficina se realizará también la Dirección facultativa, que estará convenientemente acondicionada para que en ella se pueda trabajar con normalidad a cualquier hora de la jornada.

Artículo 12. Presentación del contratista

El Constructor o Contratista viene obligado a comunicar a la propiedad la persona designada como delegado suyo en la instalación de la obra, que tendrá carácter de Jefe de la misma, con dedicación plena, y con facultadas para representarle y adoptar en todo momento cuantas decisiones competan a la contrata.

Cuando la importancia de las instalaciones lo requiera y así se consigne en el Pliego de Condiciones Particulares de Índole Facultativa, el Delegado del contratista será un facultativo de grado superior o grado medio, según los casos.

El Pliego de Condiciones Particulares determinará el personal facultativo o especialista que el Contratista obligue a mantener en la obra como mínimo y el tiempo de dedicación comprometido.

El incumplimiento de esta obligación o, en general, la falta de cualificación suficiente por parte del personal según la naturaleza de los trabajos, facultará al Director de la obra para ordenar la paralización de la misma, sin derecho a reclamación alguna, hasta que se subsane la deficiencia.

Artículo 13. Presencia del constructor en la obra

El Jefe de instalación de obra, por sí mismo o por medio de sus técnicos encargados, deberá estar presente durante la jornada legal de trabajo y acompañará al Director de obra en las visitas que haga en la ejecución del Proyecto, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que se consideren necesarios y suministrándoles los datos precisos para la comprobación de mediciones y liquidaciones.

Artículo 14. Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones de los documentos del proyecto.

Cuando se trate de aclarar, interpretar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos o esquemas, las órdenes e instrucciones correspondientes se comunicarán precisamente por escrito al Constructor, estando éste obligado a su vez a

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

devolver los originales o las copias suscribiendo con su firma el enterado, que figurará al pie de todas las órdenes, avisos o instrucciones que reciba del Director de obra.

Cualquier reclamación que en contra de las disposiciones tomadas por éstos, crea oportuno hacer el Constructor, habrá que dirigirla, dentro del plazo de tres días, a quien la hubiera dictado, el cual dará al Constructor el correspondiente recibo.

Artículo 15. Requerimientos del constructor

El Constructor podrá requerir al Director de la obra las instrucciones o aclaraciones que precisen para la correcta interpretación y ejecución de lo proyectado.

Artículo 16. Reclamaciones contra las órdenes del director

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes emanadas del Ingeniero Director, solo podrá presentarlas a través del mismo ante la propiedad, si ellas son de orden económico y de acuerdo con las condiciones estipuladas en los Pliegos de condiciones correspondientes.

Contra disposiciones de orden técnico o facultativo del Ingeniero Director, no se admitirá reclamación alguna, pudiendo el Contratista salvar su responsabilidad, si lo estima oportuno, mediante exposición razonada, dirigida al Ingeniero Director, el cual podrá limitar su contestación al acuse de recibo que, en todo caso, será obligatorio para este tipo de reclamaciones.

Artículo 17. Despido por insubordinación, incapacidad o mala fe

Por falta de cumplimiento de las instrucciones del Ingeniero Director o sus subalternos de cualquier clase, encargados de la vigilancia de la ejecución; por manifiesta incapacidad o por actos que comprometan y perturben la marcha de los trabajos, el Contratista tendrá obligación de sustituir a sus dependientes y operarios, cuando el Ingeniero Director lo reclame.

Artículo 18. Falta del personal

El Director de la obra, en supuestos de desobediencia a sus instrucciones, manifiesta incompetencia o negligencia grave que comprometa o perturbe la marcha de los trabajos,

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

podrá requerir al Contratista que aparte de la obra a los dependientes u operarios causantes de la perturbación.

Artículo 19. Personal contratado

El Contratista podrá subcontratar capítulos o unidades de obra a otros contratistas e industriales, son sujeción en su caso a lo estipulado en el Pliego de Condiciones Particulares, y sin perjuicio de sus obligaciones como Contratista general de la obra.

Artículo 20. Copia de los documentos

El Contratista tiene derecho a sacar copias a su costa, de los Pliegos de Condiciones, presupuestos y demás documentos de la contrata. El Director de obra, si el Contratista solicita estos, autorizará las copias después de contratadas las obras.

2.3. Trabajos, materiales y medios auxiliares

Artículo 21. Replanteo

Antes del comienzo del establecimiento de las instalaciones, el Ingeniero Director junto al Contratista o su representante, procederá al replanteo general de la obra. El Constructor se hará cargo de las señales y referencias que se dejen en el terreno como consecuencia del replanteo y se iniciarán las obras con las mismas. Dichos trabajos se considerarán a cargo del Contratista e incluidos en su oferta.

El Director de obra podrá realizar u ordenar cuantos replanteos parciales considere necesarios durante el período de ejecución para que las instalaciones se implanten conforme al Proyecto y a las modificaciones del mismo ya sean aprobadas.

Artículo 22. Libro de órdenes

En la casilla y oficina de la obra, tendrá el Contratista, el Libro de órdenes en el que se anotarán las que el Ingeniero Director de obra precisa dar en el transcurso de la misma.

El cumplimiento de las órdenes expresadas en dicho libro, es tan obligatorio para el Contratista como las que figuran en el Pliego de Condiciones.

Artículo 23. Comienzo de los trabajos y plazo de ejecución

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Obligatoriamente y por escrito, deberá el Contratista dar cuenta al Ingeniero Director del comienzo de los trabajos, antes de transcurrir veinticuatro horas de su iniciación: previamente se habrá suscrito el acta de replanteo en las condiciones establecidas en el Artículo 1.21.

El adjudicatario comenzará las obras dentro del plazo de 15 días desde la fecha de adjudicación. Dará cuenta al Ingeniero Director, mediante oficio, del día en que propone iniciar los trabajos, debiendo éste dar acuse de recibo.

Las obras quedarán terminadas dentro del plazo de seis meses.

El Contratista está obligado al cumplimiento de todo cuanto se dispone en la Reglamentación Oficial del Trabajo.

Artículo 24. Condiciones generales de ejecución de los trabajos.

El Contratista, como es natural, debe emplear los materiales y mano de obra que cumplan las condiciones exigidas en las Condiciones Generales de índole Técnica y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva de la obra, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en estos puedan existir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales y equipos empleados o colocados, sin que pueda servirle de excusa ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que el Ingeniero Director o sus subalternos no le han llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valorados en las certificaciones parciales de la obra que siempre se supone que se extienden y abandonan a buena cuenta.

Artículo 25. Facilidades para otros contratistas

De acuerdo con lo que requiera la Dirección Facultativa, el Contratista General deberá dar todas las facilidades razonables para la realización de los trabajos que les sean delegados a los demás contratistas que intervengan en la obra. En caso de recurso, ambos contratistas estarán a los que resuelva la Dirección Facultativa.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Artículo 26. Ampliación y prórroga del proyecto por causas imprevistas

Por un imprevisto o accidente y sea necesaria la ampliación del proyecto, no se suspenderán los trabajos, continuándose según las instrucciones dadas por el Director de la obra.

Artículo 27. Ampliación y prórroga del proyecto por fuerza mayor

Si por causa mayor o independiente de la voluntad del Constructor, éste no pudiese comenzar la ejecución del Proyecto, o tuviese que suspenderla, o no le fuera posible terminarla en los plazos prefijados, se otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

Artículo 28. Responsabilidad de la dirección del retraso de la obra

El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos estipulados, alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la Dirección Facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito no se lo hubiesen proporcionado.

Artículo 29. Trabajos defectuosos

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Ingeniero Director o su representante en la obra adviertan vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales o equipos empleados o colocados no reúnan las condiciones perpetuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o finalizados estos y antes de verificarse la recepción definitiva de la instalación, podrán disponer que los sistemas defectuosos sean eliminados y sustituidos de acuerdo con lo contratado, y todo ello a expensas de la contrata. Si esta no estimase justa la resolución y se negase la modificación de la instalación, se procederá de acuerdo con lo establecido en el artículo 31.

Artículo 30. Obras y vicios ocultos

Si el Director de obra tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos en el establecimiento de las instalaciones, ordenará efectuar en cualquier tiempo y antes de la recepción definitiva, las sustituciones que crea necesarias para reconocer los equipos que suponga defectuosos.

Artículo 31. Materiales y equipos no utilizables o defectuosos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y de los aparatos y máquinas sin que antes sean examinados y aceptados por el Director de obra, en los términos que prescriben los Pliegos de Condiciones, depositando al efecto el Contratista, las muestras y modelos necesarios, previamente contraseñados, para efectuar con ellos las comprobaciones preceptuadas en el Pliego de Condiciones.

Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas, etc., antes indicados serán a cargo del Contratista.

Cuando los materiales o aparatos no fueran de la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, el Director de obra dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas en los Pliegos o, a falta de estos, a las órdenes del Director.

Artículo 32. Medios auxiliares

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y de los aparatos y máquinas auxiliares sin que antes sean examinados y aceptados por el Ingeniero Directo, en los términos que prescriben los Pliegos de Condiciones, depositando al efecto el Contratista, las muestras y modelos necesarios, previamente contraseñados, para efectuar con ellos comprobaciones, ensayos o pruebas preceptuadas en el Pliego de Condiciones, vigente en la obra.

Los gastos que ocasionen los ensayos, análisis, pruebas, etc., antes indicados serán a cargo del Contratista.

Cuando los materiales o aparatos no fueran de la calidad requerida o no estuviesen perfectamente preparados, el Director de obra dará orden al Contratista para que los reemplace por otros que se ajusten a las condiciones requeridas en los Pliegos o, a falta de estos, a las órdenes del Director.

2.4. Recepción y liquidación de la obra

Artículo 33. Recepciones provisionales

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Para proceder a la recepción provisional de las instalaciones será necesaria la asistencia del Propietario, del Ingeniero Director de la obra y del Contratista o su representante debidamente autorizado.

Si las obras se encuentran en buen estado y han sido ejecutadas las instalaciones con arreglo a las condiciones establecidas, se darán por percibidas provisionalmente comenzando a correr en dicha fecha el plazo de garantía, que se considerará de dos meses.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas se hará constar en el actas y se especificarán en la misma las precisas y detalladas las instrucciones que el Ingeniero Director debe señalar al Contratista para remediar los defectos observados, fijándose un plazo para subsanarlos, expirado el cual, se efectuará un nuevo reconocimiento en idénticas condiciones, a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Después de realizar un escrupuloso reconocimiento y si la instalación estuviese conforme con las condiciones de este pliego, se levantará un acta por duplicado, a la que acompañarán los documentos justificantes de la liquidación final. Una de las actas quedará en poder de la propiedad y la otra se entregará al Contratista.

Artículo 34. Plazo de garantía

Desde la fecha en la que la recepción provisional quede hecha, comienza a contarse el plazo de garantía que será de seis meses. Durante este período, el Contratista se hará cargo de todas aquellas reparaciones de desperfectos imputables y vicios ocultos.

Artículo 35. Documentación final de obra

El Directo de obra facilitará a la Propiedad la documentación final de la obra, con las distinciones y contenido dispuesto por la legislación vigente.

Artículo 36. Conservación de las obras recibidas provisionalmente

Los gastos de conservación durante el plazo de garantía comprendido entre la recepción provisional y definitiva, correrán a cargo del Contratista.

Artículo 37. Conservación de los trabajos recibidos provisionalmente

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Si el Contratista, siendo su obligación, no atiende a la conservación de la obra durante el plazo de garantía, en el caso de las instalaciones no hayan sido utilizadas por el Propietario, procederá a disponer todo lo que se precise para que se atienda a la guardería, limpieza y todo lo que fuere menester para su buena conservación, abandonándose todo aquello por cuenta de la contrata.

Al abandonar el Contratista las instalaciones, tanto por buena terminación de la obra, como por rescisión del contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que el Ingeniero Directo fije.

Después de la recepción provisional de la instalación y en el caso de que la conservación de la misma corra a cargo de Contratista, no deberá haber en ella más herramientas, útiles, materiales, máquinas, etc., que los indispensables para su guardería y limpieza y para los trabajos que fuere preciso realizar.

En todo caso, ocupadas o no las instalaciones, está obligado el Contratista a revisar y reparar la obra durante el plazo expresado, procediendo en la forma prevista en el presente Pliego de Condiciones Económicas.

El Contratista se obliga a destinar a su costa a un vigilante de la obra que prestará su servicio de acuerdo con las órdenes recibidas de la Dirección Facultativa.

Artículo 38. Recepción definitiva

Terminado el plazo de garantía, se verificará la recepción definitiva con las mismas condiciones que la provisional, y si las instalaciones están bien conservadas y en perfectas condiciones, el Contratista quedará relevado de toda responsabilidad económica; en caso contrario se retrasará la recepción definitiva hasta que, a juicio del Ingeniero Directo de obra, y dentro del plazo que se marque, queden las obras del modo y la forma que se determinan en este Pliego.

Si el nuevo reconocimiento resultase que el Contratista no hubiese cumplido, se declarará descendida la contrata con pérdidas de la fianza, a no ser que la propiedad crea conveniente conceder un nuevo plazo.

Artículo 39. Liquidación final

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Terminadas las obras, se procederá a la liquidación fijada que incluirá el importe de las unidades de obra realizadas y las que constituyen modificaciones del Proyecto, siempre y cuando hayan sido previamente aprobadas por la Dirección Técnica con sus precios. De ninguna manera tendrá derecho el Contratista a formular reclamaciones por aumentos de trabajos que no estuviesen autorizados por escrito a la Entidad propietaria con el visto bueno del Ingeniero Directo.

Artículo 40. Liquidación en caso de rescisión

En este caso la liquidación se hará mediante un contrato liquidatorio, que se redactará de acuerdo por ambas partes. Incluirá el importe de las unidades de obra realizadas hasta la fecha de rescisión.

3. PLIEGO DE CONDICIONES ECONÓMICAS

3.1. Base fundamental

Artículo 41. Base fundamental

Como base fundamental de estas Condiciones Generales de Índole Económica, se establece el principio de que el Contratista debe recibir el importe de todos los trabajos ejecutados, siempre que éstos se hayan realizado con arreglo y sujeción al Proyecto y Condiciones Generales y Particulares que rijan la instalación de los equipos.

3.2. Garantías de cumplimiento y fianzas

Artículo 42. Garantías de cumplimiento

El Ingeniero Director podrá exigir al Contratista la presentación de referencias bancarias o de otras entidades o personas, al objeto de cerciorarse de si éste reúne todas las condiciones requeridas para el exacto cumplimiento del Contrato; dichas referencias, si le son pedidas, las presentará el Contratista antes de la firma del contrato.

Artículo 43. Fianza

Se podrá exigir al Contratista para que responda del cumplimiento de lo contratado, una fianza del 10% del presupuesto de la obra adjudicada.

Artículo 44. Ejecución de los trabajos con cargo a la fianza

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para utilizar la obra en las condiciones contratadas, el Ingeniero Director, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercer, o directamente por administración, abandonando su importe con la fianza depositadas, sin perjuicio de las acciones legales a que tenga derecho el propietario en el caso de que el importe de la fianza no baste para abonar el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fueran de recibo.

Artículo 45. Devolución de la fianza

La fianza depositada será devuelta al Contratista en un plazo que no excederá de 8 días, una vez firmada el acta de recepción definitiva de la obra, siempre que el Contratista haya acreditado, por medio de certificado de la Junta de Castilla y León del Distrito Municipal en cuyas propiedades se emplaza la instalación contratada, que no existe reclamación alguna contra ella por los daños y perjuicios que sean de su cuenta o por deudas de los jornales o materiales, ni por indemnizaciones derivadas de accidentes ocurridos en el trabajo.

3.3. Precios y revisiones

Artículo 46. Composición de precios unitarios

El cálculo de los precios de las distintas unidades de obra es el resultado de sumar los costes directos, indirectos, gastos generales y beneficio industrial.

Se considerarán Costes Directos:

- a) La mano de obra, con sus pluses y cargas y seguros sociales, que interviene directamente en el establecimiento de las instalaciones.
- b) Los materiales, a precios resultantes, que queden integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.
- c) Los equipos y sistemas técnicos de seguridad e higiene para la prevención y protección de accidentes y enfermedades provisionales.
- d) Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas para la realización de los trabajos.
- e) Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalaciones, sistemas y equipos efectuados.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Se considerarán Coste Indirectos:

- a) Los gastos de instalación de oficina a pie de obra, comunicaciones, casetas auxiliares, etc.
- b) Los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos.
- c) Todos estos gastos, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos.

Se consideran Gastos Generales los gastos generales de empresa, gastos financieros, cargas fiscales y tasas de la Administración, legalmente establecidos, se cifrarán con un porcentaje de la suma de los costes directos e indirectos entre 13 – 17% por ser Administración pública.

El Beneficio Industrial del Contratista se establece en el 6% sobre la suma de las anteriores partidas.

Se denomina Precio de Ejecución material al resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos a excepción de Beneficio Industrial.

El Precio de la Contrata es la suma de los Costes Directos, Indirectos, el Beneficio Industrial y los Gastos Generales.

Artículo 47. Precios contradictorios

Si ocurriese algún caso de virtud del cual fuese necesario fijar un nuevo precio, se procederá a estudiarlo y convenirlo contradictoriamente de la siguiente forma:

El Adjudicatario formulará por escrito y bajo su firma el precio que, a su juicio, debe aplicarse a la nueva unidad.

La Dirección Técnica estudiará el que, según su criterio, debe utilizarse.

Si ambos son coincidentes, se formulará por la Dirección Técnica el Acta de Avenencia, igual que si cualquier pequeña diferencia o error fuesen salvados por simple exposición y convicción de una de las partes, quedando así formalizado el precio contradictorio.

Si no fuera posible conciliar por simple discusión los resultados, el Sr. Director propondrá a la propiedad que adopte la resolución que estime conveniente, que podrá ser aprobatorio

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

del precio exigido por el Adjudicatario o, en otro caso, la segregación de la instalación nueva, para ser ejecutada por administración o por otro adjudicatario distinto.

La fijación del precio contradictorio habrá de proceder necesariamente al comienzo de la nueva unidad, puesto que, si por cualquier motivo ya se hubiese comenzado, el Adjudicatario estará obligado a aceptar el que buenamente quiera fijarse el Sr. Director y a concluir a satisfacción de este.

Artículo 48. Reclamaciones de aumento de precios

Si el Contratista, antes de la firma del contrato, no hubiese hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error y omisión, reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirve de base para la ejecución de la instalación.

Tampoco se le admitirá reclamación de ninguna especie fundada en las indicaciones que, sobre las instalaciones, se hagan en la Memoria, por no servir este documento de base a la Contrata. Las equivocaciones materiales o errores aritméticos en las unidades de obra o en su importe, se corregirán en cualquier época que se observen, pero no se tendrán en cuenta a los efectos de la rescisión del contratado, señalados en

los documentos relativos a las Condiciones Generales o Particulares de Índole Facultativa, sino en el caso de que el Ingeniero Directo o el Contratista los hubieran hecho notar dentro del plazo de dos meses desde la fecha de adjudicación. Las equivocaciones materiales no alterarán la baja proporcional hecha por la Contrata, respecto del importe del presupuesto que ha de servir de base a la misma, pues esta baja se fijará siempre por la relación entre las cifras de dicho presupuesto, antes de las correcciones y la cantidad ofrecida.

Artículo 49. Revisión de precios

Contratándose las obras a riesgo y ventura, es natural por ello, que no se deba admitir la revisión de los precios contratados. No obstante y dada la variabilidad continua de los precios de los jornales y sus cargas sociales, así como la de los materiales y transportes, que es característica de determinadas épocas anormales, se admite, durante ellas, la revisión de los precios contratados, bien en alza o en baja y en anomalía con las oscilaciones de los precios en el mercado.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Por ello y en los casos de revisión en alza, el Contratista puede solicitarla del Propietario, en cuanto se produzca cualquier alteración de precio, que repercuta, aumentando los contratos. Ambas partes convendrán el nuevo precio unitario antes de comenzar o de continuar la ejecución de la unidad de obra en que intervenga el elemento cuyo precio en el mercado, y por causa justificada, especificándose y acordándose, también, previamente, la fecha a partir de la cual se aplicará el precio revisado y elevado, para lo cual se tendrá en cuenta y cuando sí proceda, el acopio de materiales de obra, en el caso de que estuviesen total o parcialmente abandonados por el propietario.

Si el propietario o el Ingeniero Director, en su representación, no tuviese conforme con los nuevos precios de los materiales, transportes, etc., que el Contratista desee percibir como normales en el mercado, aquel tiene la facultad proponer al Contratista, y éste la obligación de aceptarlos, los materiales transportes, etc., a precios inferiores a los pedidos por el Contratista, en cuyo caso lógico y natural, se tendrán en cuenta para la revisión, los precios de los materiales, transportes, etc., adquiridos por el Contratista merced a la información del propietario.

Cuando el propietario o el Ingeniero Director, en su representación, no estuviese conforme con los nuevos precios de los materiales, transportes, etc., concertará entre las dos partes la baja a realizar en los precios unitarios vigentes en la obra, en equidad por la experimentada por cualquiera de los elementos constitutivos de la unidad de obra y la fecha en que empezarán a regir los precios revisados.

Cuando, entre los documentos aprobados por ambas partes, figurase el relativo a los precios unitarios contratados descompuestos, se seguirá un procedimiento similar al preceptuado en los casos de revisión por alza de los precios.

Artículo 50. Elementos comprendidos en el presupuesto

Al fijar los precios de las diferentes unidades de obra en el presupuesto, se ha tenido en cuenta el importe de transporte, elevación y fijación del material, es decir, todos los correspondientes medios auxiliares de la construcción, así como toda suerte de indemnizaciones, impuestos, multas o pagos que tengan que hacerse por cualquier concepto, con los que se hallen gravados o se graven los materiales o los equipos por el Estado, Provincia o Municipio.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Por esta razón no se abonará al Contratista cantidad alguna por dichos conceptos.

En el precio de cada unidad también se comprenden los materiales y operaciones accesorios para dejar el proyecto completamente terminado y en disposición de recibirse.

3.4. Valoración y abono de los trabajos

Artículo 51. Valoración de la obra

La medición de la obra concluida se hará por el tipo de unidad fijada en el presente documento de Presupuesto.

La valoración deberá obtenerse aplicando a las diversas unidades de obra el precio que tuviese asignado en el Presupuesto, elidiendo a este importe el de los porcentajes que correspondan al beneficio industrial y descontando el porcentaje que corresponda a la baja en la subasta hecha por el Contratista.

Artículo 52. Mediciones parciales y finales

Las mediciones parciales se verificarán en presencia del Contratista, de cuyo acto se levantará un acto por duplicado, que será firmada por ambas partes. La medición final se hará después de terminadas las obras con precisa asistencia del Contratista.

En el acta que se extienda, de haberse verificado la medición en los documentos que le acompañan, deberá aparecer la conformidad del Contratista o de su representación legal. En caso de no haber conformidad lo expondrá sumariamente y a reserva de ampliar las razones que a ello obliga.

Artículo 53. Equivocaciones en el presupuesto

Se supone que el Contratista ha hecho un detenido estudio de los documentos que componen el presente Proyecto, y por tanto al no haber hecho ninguna observación sobre posibles errores o equivocaciones en el mismo, se entiende que no hay lugar a disposición alguna en cuanto afecta a medidas o precios de tal suerte, que la obra ejecutado con arreglo al Proyecto contiene mayor número de unidades de las previstas, no tiene derecho a reclamación alguna.

Si por el contrario, el número de unidades fuera inferior, se descontará del presupuesto.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Artículo 54. Valoración de obras incompletas

Cuando por consecuencia de rescisión u otras causas, fuera preciso valorar las obras incompletas, se aplicarán los precios del Presupuesto, sin que pueda pretenderse hacer la valoración de la unidad de obra fraccionándola en forma distinta a la establecida en dicho documento.

Artículo 55. Carácter provisional de las liquidaciones parciales

Las liquidaciones parciales tienen carácter de documentos provisionales a buena cuenta, sujetos a certificaciones y variaciones que resulten de la liquidación final. No suponiendo tampoco dichas certificaciones ni aprobación ni recepción de las obras que comprenden la propiedad, se reserva en todo momento y especialmente al hacer efectivas las liquidaciones parciales, el derecho de comprobar que el Contratista ha cumplido los compromisos referentes al pago de jornales y materiales invertidos en la ejecución de la instalación, a cuyo efecto deberá presentar el contratista los comprobantes que se exijan.

Artículo 56. Pagos

Los pagos se efectuarán por el Propietario en los plazos previamente establecidos y su importe corresponderá, precisamente, al de las certificaciones de instalación expedidos por el Ingeniero Director, en virtud de las cuales se verifican estos.

Artículo 57. Suspensión por retraso de pagos

En ningún caso podrá el Contratista, aleando retraso en los pagos, suspender trabajos ni ejecutarlo a menor ritmo del que les corresponda, con arreglo al plazo en que deben terminarse.

Artículo 58. Indemnización por retraso de los trabajos

El importe de la indemnización que debe abonar el Contratista por causas de retraso no justificado, en el plazo de finalización de la instalación contratada, será el importe de la suma de perjuicios materiales causados por imposibilidad de ocupación de la planta, debidamente justificados.

Artículo 59. Indemnización por daños de causa mayor al Contratista

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

El Contratista no tendrá derecho a indemnización por causas de pérdidas, averías o perjuicio ocasionados en las obras, sino en casos de fuerza mayor. Para los efectos de este Artículo, se considerarán como tales casos únicamente los siguientes:

- a) Los incendios causados por electricidad atmosférica, tormenta eléctrica.
- b) Los daños producidos por terremotos y/o maremotos.
- c) Los producidos por vientos huracanados, mareas y crecidas de ríos superiores a las que sean previsibles en el país, y siempre que existe constancia inequívoca de que el Contratista tomó las medidas posibles, dentro de sus medios, para evitar o atenuar los daños.
- d) Los que provengan de movimientos del terrenos en que estén establecidas las instalaciones.
- e) Los destrozos ocasionados violentamente, a manos armada, en tiempo de guerra, movimientos sediciosos populares o robos tumultuosos.

La indemnización se referirá, exclusivamente, al abono de las unidades de obra e instalación ya ejecutadas o materiales y equipos acopiados en la zona; en ningún caso comprenderá medios auxiliares, maquinaria o instalaciones, etc., propiedad de la Contrata.

3.5. Varios

Artículo 60. Mejora de las instalaciones

No se admitirán mejora en la disposición de la nueva instalación más que en el caso de que el Ingeniero Director haya ordenado por escrito la ejecución de esos nuevos trabajos o que mejore significativamente la calidad de los contratados, así como la de los materiales, aparatos, equipos y máquinas previstos en el Contrato. Tampoco se admitirán aumento de instalación en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del presente Proyecto, a menos que el Ingeniero Director ordene, también por escrito, la ampliación de las contratadas.

Artículo 61. Seguro de los trabajos

El Contratista está obligado a asegurar la obra contratada, durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva; la cuantía del seguro coincidirá, en todo momento, con el valor que tengan, por Contrata los objetos asegurados. El importe

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

abonado por la Sociedad Aseguradora, en caso de siniestro, se ingresará a su cuenta, a nombre el Propietario para que, con cargo a ella, se abone a la obra que se instale y a medida que éste se vaya realizando. El reintegro de dicha cantidad al Contratista se efectuará por certificaciones, como el resto de los trabajos de la instalación. En ningún caso, salvo conformidad expresa del Contratista, hecha en documento público, el Propietario podrá disponer de dicho importe para menesteres ajenos a los de la construcción de la parte siniestrada. La infracción de lo anteriormente expuesto será motivo suficiente para que el Contratista pueda rescindir de la contrata, con devolución de la fianza, abono completo de gastos, materiales acopiados, etc., y una indemnización equivalente al importe de los daños causados al Contratista por el siniestro y que no le hubiesen abonado, pero solo en proporción equivalente a los que suponga la indemnización abonada por la Compañía Aseguradora, respecto al importe de los daños causados por el siniestro, que serán tasados a estos efectos por el Ingeniero Director.

Los riesgos asegurados y las condiciones que figuran en la póliza de seguros, los pondrá el Contratista antes de contratarlos en conocimiento del presente Proyecto, al objeto de recabar de éste su previa conformidad o reparos.

4. PLIEGO DE CONDICIONES DE ÍNDOLE LEGAL

Artículo 62. Disposiciones a tener en cuenta

Ley 13/1995, de Contratos de las Administraciones Públicas, de 18 de Mayo.

Reglamento General de Contratación para aplicación de dicha Ley, aprobado por Decreto 3410/1974, de 25 de Noviembre.

Resolución de 14 de Junio de 2001, de la Secretaría General del Medio Ambiente, por la que se dispone la publicación del Acuerdo de Consejo de Ministros, 1 de Junio de 2001, por el que se aprueba el Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas residuales 2001 – 2006

Ley de Aguas 1/2001, de 20 de Julio sobre el uso racional del agua, lucha contra la contaminación, valores máximos y canon de vertido.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Real Decreto 1620/2007, de 7 de Diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

Reglamento Electrotécnico de Alta y Baja Presión y Normas MIBT complementarias.

Artículo 63. Jurisdicción

Para cuantas cuestiones, litigios o diferencias pudieran surgir durante o después de los trabajos, las partes se someterán a juicio de amigables componedores nombrados en número igual por ellas y presidido por la Dirección de la Obra, en último término, a los Tribunales de Justicia del lugar en que radique la propiedad, con expresa renuncia del fuero domiciliario. El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el Contrato y en los documentos que compone el Proyecto. El Contratista se obliga a lo establecido en la ley de Contratos de Trabajo y además a lo dispuesto por la de Accidentes de Trabajo, Subsidio Familiar y Seguros Sociales. Serán de cargo y cuenta del Contratista el vallado y la policía del solar, cuidando de la conservación de sus líneas del lindero y vigilando que, por los poseedores de las fincas contiguas, si las hubiese, no se realicen durante las obras actos que mermen o modifiquen la propiedad. Toda observación referente a este punto será puesta inmediatamente en conocimiento de la Dirección de la Obra. El Contratista es responsable de toda falta relativa a la política Urbana y a las Ordenanzas Municipales a estos aspectos vigentes en la localidad en que la edificación está emplazada.

Artículo 64. Accidente de trabajo y daños a terceros.

En casos de accidentes ocurridos con motivo y en el ejercicio de los trabajos para la ejecución de las obras, el Contratista se atenderá a lo dispuesto a estos respectos en la legislación vigente, y siendo, en todo caso, único responsable de su cumplimiento y sin que por ningún concepto, pueda quedar afectada la Propiedad por responsabilidades.

El Contratista está obligado a adoptar todas las medidas de seguridad que las disposiciones vigentes preceptúan para evitar, en lo posible, accidentes a los obreros o viandantes, no sólo en los andamio, sino en todos los lugares peligrosos de la obra.

De los accidentes o perjuicios de todo género que, no cumplir el Contratista lo legislado sobre la materia, pudieran acaecer o sobrevenir, será éste el único responsable, o sus representantes en la obra, ya que se considera que en los precios contratados están

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

incluidos todos los gastos precisos para cumplimentar debidamente dichas disposiciones legales. El Contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las contiguas. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiera lugar, de todos los daños y perjuicios que puedan causarse en las operaciones de ejecución de las obras.

El Contratista cumplirá los requisitos que prescriben las disposiciones vigentes sobre la materia, debiendo exhibir, cuando ello fuera requerido, el justificante de tal cumplimiento.

Artículo 65. Pago de arbitrarios

El pago de impuestos y arbitrios en general, municipales o de otro origen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse durante el tiempo de ejecución de las obras por concepto inherente a los propios trabajos que se realizan correrá a cargo de la Contrata, siempre que en las condiciones particulares del Proyecto no se estipule lo contrario. No obstante, el Contratista deberá ser reintegrado del importe de todos aquellos conceptos que la Dirección de Obra considere justo hacerlo.

Artículo 66. Causas de rescisión del contrato

Se considerarán causas suficientes de rescisión las que a continuación se señalan:

- a) La muerte o incapacidad del Contratista.
- b) La quiebra del Contratista.
- c) En los casos anteriores, si los herederos o síndicos ofrecieran de llevar a cabo las obras, bajo las mismas condiciones estipuladas en el Contrato, el Propietario puede admitir o rechazar el ofrecimiento, sin que en este último caso tengan aquellos derecho a indemnización alguna.
- d) Las alteraciones del Contrato por las causas siguientes:
- e) La modificación del Proyecto en forma tal que presente alteraciones fundamentales del mismo, a juicio de la Dirección de Obra y, en cualquier caso siempre que la variación del presupuesto de ejecución, como consecuencia de estas modificaciones, represente, en más o menos del 40 %, como mínimo, de algunas unidades del Proyecto modificadas.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

- f) La modificación de unidades de obra, siempre que estas modificaciones representen variaciones en más o menos, del 40 %, como mínimo de las unidades del Proyecto modificadas.
- g) La suspensión de la obra comenzada y, en todo caso, siempre que, por causas ajenas a la Contrata, no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses, a partir de la adjudicación, en este caso, la devolución de la fianza será automática.
- h) La suspensión de la obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido un año.
- i) El no dar comienzo la Contrata a los trabajos dentro del plazo señalado en las condiciones particulares del Proyecto.
- j) El incumplimiento de las condiciones del Contrato, cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de la obra.
- k) La terminación del plazo de ejecución de la obra, sin haberse llegado a ésta.
- l) El abandono de la obra sin causa justificada.
- m) La mala fe en la ejecución de los trabajos.

5. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

Artículo 67. Especificaciones particulares de los equipos

Los equipos y sistemas que serán instalados han sido discutidos y decididos en los Anejos correspondientes, especificando en cada uno de ellos el origen de su posesión, compra en el mercado o fabricación propia, y sus características técnicas.

Los equipos deben entregarse con las pruebas de correcta operación que correspondan realizadas de forma satisfactoria y su instalación solo será decepcionada cuando se demuestre que todos los equipos de la línea de proceso y dispositivos de control del mismo funcionen perfectamente.

Las especificaciones de los equipos serán de origen propio del presente Proyecto, presentes en los Anejos correspondientes, o de la casa de compra

Artículo 68. Materiales para los equipos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Los materiales empleados para la fabricación de equipos o para su adquisición, vienen especificados en sus respectivos anejos, destacando el uso polietileno blanco, PVC y acero de carbono así como acero inoxidable para la mayoría de los equipos adquiridos en el mercado. Estos materiales estarán sujetos a las normas correspondientes para cada uno de ellos, siendo de mayor importancia y seguridad las siguientes:

UNE 10240/1998: Recubrimientos de protección internos y/o externos para tubos de acero. Especificaciones para recubrimientos galvanizados en caliente aplicados en plantas automáticas.

UNE-CEN/TR 15729:2014 IN: Sistemas de canalización en materiales plásticos. Plásticos termoestables reforzados con fibra de vidrio basados en resinas de poliéster insaturado. Informe sobre la determinación de la abrasión media tras un número definido de ciclos del ensayo.

UNE-EN 13121/2004: Tanques y depósitos aéreos de plástico reforzados con fibra de vidrio. Modificaciones de 2009 + A1/2010 y AC/2012. Modificaciones de 2005 + AC/2007.

UNE-EN 14364:2015: Sistemas de canalización en materiales plásticos para evacuación y saneamiento con o sin presión. Plásticos termoendurecibles reforzados con vidrio (PRFV) a base de resina de poliéster insaturado (UP). Especificaciones para tuberías, accesorios y uniones.

UNE-EN ISO 10062:2009 Ensayos de corrosión en atmósferas artificiales con muy bajas concentraciones de gases contaminantes.

UNE-EN ISO 1461:2010: Recubrimientos galvanizados en caliente sobre productos acabados de hierro y acero. Especificaciones y métodos de ensayo.

UNE-EN ISO 1463:2005: Recubrimientos metálicos y capas de óxido. Medida del espesor. Método de corte micrográfico.

UNE-EN ISO 21787:2007: Válvulas industriales. Válvulas de globo de materiales termoplásticos.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

UNE-EN ISO 7441:1996: Corrosión de los metales y aleaciones. Ensayos de corrosión bimetalica mediante ensayos de corrosión en medio exterior.

Artículo 69. Aparatos y maquinaria

Las normas a las que se encuentran sujetos todos los aparatos y la maquinaria se encuentran en el catálogo de Normas UNE de 1992.

Artículo 70. Condiciones de ejecución

Las condiciones de ejecución, condiciones funcionales de los materiales y equipos industriales, control de la ejecución, seguridad en el trabajo e instalación, medición, valoración y mantenimiento serán establecidos en las Normas NBE y NTE, así como las correspondientes, si procede, a equipos, materiales o maquinaria

.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

5. MEDICIONES

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

ÍNDICE ESTADO DE MEDICIONES

1. ESTADO DE MEDICIONES.	1
1.1 Partida 1: Conducciones y válvulas.	2
1.2 Partida 2: Equipos.	2
1.3 Partida 3: Adecuación del terreno.	3
1.4 Partida 4: Seguridad y salud.	3
1.5 Partida 5: Gestión de residuos de obra.	3
1.6 Partida 6: Pruebas de funcionamiento.	4
1.7 Partida 7: Licencias.	4

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

1. ESTADO DE MEDICIONES.

El presente documento servirá de punto de partida para la elaboración del presupuesto final del proyecto. Se determinarán tanto las partidas como las unidades que componen cada una de estas.

Las partidas que componen el presente proyecto son 7 en total:

- Conducciones y válvulas.
- Equipos.
- Adecuación del terreno y obra civil.
- Seguridad y Salud.
- Gestión de residuos de obra.
- Pruebas de funcionamiento.
- Licencias.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

1.1 Partida 1: Conducciones y válvulas.

Tabla ME.1. Estado de mediciones. Partida 1.

Elemento	Unidad	Cantidad
Tubería PE $\varnothing_{ext} = 65$ mm	m	10
Codo 90° STD de PE $\varnothing_{ext} = 65$ mm	ud	2
Tubería PE $\varnothing_{ext} = 315$ mm	m	6,5
Codo 90° STD de PE $\varnothing_{ext} = 315$ mm	ud	1
Válvula bola de latón de 3 vías con actuador eléctrico, de D = 65 mm	ud	1
Válvula de compuerta para lodos de hierro D = 315 mm	ud	1

1.2 Partida 2: Equipos.

Tabla EM.2. Estado de mediciones. Partida 2.

Elemento	Unidad	Cantidad
Agitador vertical 1,5 KW	ud	1,00
Soporte del agitador	m ²	2,60
Escalera para el depósito anóxico	m l	6,50
Sistema tramex de acero galvanizado	m ²	42,25

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

1.3 Partida 3: Adecuación del terreno.

Tabla EM.3. Estado de mediciones. Partida 3.

Elemento	Unidad	Cantidad
Desbroce y limpieza del terreno (m ²)	m ²	42,25
Excavación (m ³)	m ³	360,38
Compactaciones (m ²)	m ²	42,25
Transporte de tierras	m ³	360,38
Depósito anóxico de hormigón armado	m ³	79,76
Tela sintética opaca permeable	ud	1,00

1.4 Partida 4: Seguridad y salud.

El porcentaje se aplica sobre el coste de la obra civil.

Tabla EM.4. Estado de mediciones. Partida 4.

Elemento	Unidad	Cantidad
Seguridad y salud	%	2,50

1.5 Partida 5: Gestión de residuos de obra.

El porcentaje se aplica sobre el coste de la obra civil.

Tabla EM.5. Estado de mediciones. Partida 5.

Elemento	Unidad	Cantidad
Gestión de residuos	%	3,00

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

1.6 Partida 6: Pruebas de funcionamiento.

El porcentaje se aplica sobre el coste de los equipos.

Tabla EM.6. Estado de mediciones. Partida 6.

Elemento	Unidad	Cantidad
Prueba de funcionamiento	%	1,00

1.7 Partida 7: Licencias.

El porcentaje se aplica sobre el coste total de la obra civil, incluyendo las partidas 4,5 y 6.

Tabla EM.7. Estado de mediciones. Partida 7.

Elemento	Unidad	Cantidad
Licencias	%	12,00

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

6. PRESUPUESTO

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

ÍNDICE PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL.....	1
1.1 Presupuesto tanque anóxico en la planta piloto.	2
1.2. Presupuesto tanque anóxico a escala real.....	3
2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.	5
2.1 PEC Parcial.	5
2.2. PEC.....	5
3. PRESUPUESTO TOTAL.	5

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN DE MATERIAL.

El presupuesto de ejecución de material es el presupuesto de construcción del proyecto como tal. El presente proyecto, se divide en dos presupuestos, el primero hace referencia a la implantación del tanque anóxico a escala piloto y el segundo a escala real.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

1.1 Presupuesto tanque anóxico en la planta piloto.

Tabla P.1. Presupuesto del tanque anóxico de la planta piloto. Fuente: elaboración propia.

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario €	importe €
Depósito de mezcla de aguas residuales de polietileno de alta densidad (PEAD/HDPE), de 1500 litros	1,00	ud	1.616,02	1.616,02
Válvula bola de latón de 3 vías con actuador eléctrico, de 3/4"	1,00	ud	440,7	440,70
Agitador vertical de 0.09 KW	1,00	ud	1.154,52	1.154,52
Tubo de polietileno reticulado (PE-Xa), serie 5, de 16 mm de diámetro exterior, PN=6 atm y 1,8 mm de espesor	5,00	m	1,76	8,80
Subtotal materiales:				3.220,04 €
Excavación a cielo abierto, en suelo de arcilla blanda, con medios manuales, y carga manual a camión. Llevas a cabo por un peón ordinario de construcción	1,28	h	17,67	22,67
Transporte de tierras con dumper de los productos procedentes de la excavación de cualquier tipo de terreno dentro de la obra	0,39	h	5,25	2,07
Conjunto de pruebas y ensayos, realizados por un laboratorio acreditado en el área técnica correspondiente, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente.	1,00	ud	675,00	675,00
Oficial 1ª fontanero para la realización de los trabajos y disposición de los materiales	3,65	h	19,42	70,88
Ayudante de fontanero	3,65	h	17,86	65,19
Subtotal mano de obra:				835,81 €
Costes directos complementarios	2,00	%	4055,85	81,12
Costes directos:				4.136,97 €
IVA	21,00	%	4136,97	868,76
Coste total:				5.005,73 €

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos

Así pues, el coste de implantar un tanque anóxico de 1.5 m³ para tratar un caudal influente de 0.8 m³/d en la planta piloto, asciende a 5005,73 €.

1.2. Presupuesto tanque anóxico a escala real

A continuación, se detallan los gastos de obra civil requeridos, incluyendo los costes de construcción del depósito, los costes de materiales y la mano de obra. Así mismo, también se tienen en cuenta los siguientes presupuestos: seguridad y salud, considerando un 2.5% de la obra civil; gestión de residuos, 3% de la obra civil; pruebas de funcionamiento, 1% sobre el coste de equipos y licencias, con un 12% sobre el coste total de la obra.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos

Tabla P.2. Presupuesto (PEM) tanque anóxico obra civil. Fuente: elaboración propia.

Descripción	Cantidad	Unidad	Precio unitario €	importe €
Desbroce y limpieza del terreno (m ²)	42,25	m ²	1,70	71,83
Excavación (m ³)	360,38	m ³	4,75	1.711,81
Compactaciones (m ²)	42,25	m ²	1,59	67,18
Transporte de tierras	360,38	m ³	2,19	789,23
Depósito anóxico de hormigón armado	79,76	m ³	228,83	18.250,62
Válvula bola de latón de 3 vías con actuador eléctrico, de D = 65 mm	1,00	ud	1.638,00	1.638,00
Tubería PE D = 65 mm	10,00	m	18,24	182,40
Codo 90° STD de PE D = 65 mm	2,00	m	12,36	24,72
Tubería PE D = 315mm	6,50	m	91,20	592,80
Codo 90° STD de PE D = 315 mm	1,00	m	83,17	83,17
Agitador vertical 1,5 KW	1,00	ud	6.700,00	6.700,00
Escalera para el depósito anóxico	6,50	m.l	250,00	1.625,00
Soporte del agitador	2,60	m ²	400,00	1.040,00
Tela sintética opaca permeable	1,00	ud	1.050,00	1.050,00
Sistema tramex de acero galvanizado	42,25	m ²	64,38	2.720,06
Válvula de compuerta para lodos de hierro D = 315 mm	1,00	ud	6.500,00	6.500,00
Peón ordinario construcción	24,74	h	17,67	437,10
Oficial 1ª encofrador	119,63	h	19,67	2.353,17
ayudante encofrador	159,51	h	18,63	2.971,67
Oficial 1ª ferrallista	12,76	h	19,67	251,00
ayudante ferrallista	19,14	h	18,63	356,60
Oficial 1ª estructurista, en trabajos de puesta en obra de hormigón	19,94	h	19,67	392,20
Ayudante de estructurista	39,88	h	18,63	742,92
Subtotal materiales y mano de obra:				50.551,47
Costes directos complementarios	2,00	%	50.551,47	1.011,03
Costes directos:				51.562,50
Seguridad y salud	2,50	%	51.562,50	1.289,06
Gestión de residuos	3,00	%	51.562,50	1.546,87
Prueba de funcionamiento	1,00	%	14.838,00	148,38
Licencias	12,00	%	54.546,81	6.545,62
Coste total:				61.092,43€

2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA.

2.1 PEC Parcial.

El Presupuesto de Ejecución por Contrata parcial se halla teniendo en cuenta el PEM, los Gastos generales (13%) y el beneficio industrial (6%).

Tabla P.3. Tabla resumen del PEC parcial.

PEM	Presupuesto de Ejecución Material	61.092,43 €
GG	Gastos Generales	7.942,02 €
B Industrial	Beneficio industrial	3.665,55 €
	PEC parcial	72.699,99 €

2.2. PEC

El Presupuesto de Ejecución por Contrata es el PEC parcial más el 21% de IVA.

Tabla P.4. Tabla resumen del PEC.

PEC parcial	72.699,99 €
21% IVA	15.267,00 €
PEC	87.966,99 €

3. PRESUPUESTO TOTAL.

El presupuesto total (inversión inicial) del proyecto Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas mediante Microalgas y Fangos Activos asciende a: 87.966,99 €.

Diseño y estudio de un sistema híbrido de depuración de aguas residuales urbanas
mediante Microalgas y Fangos Activos