



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Título: Proyecto de instalación de una EDAR para
tratamiento de digestato líquido para HTN Biogás
(Caparroso, Navarra)

Title: Installation of a WWTP for treatment of liquid
digestate for HTN Biogás Project (Caparroso,
Navarra)

Autor/es

Guillermo Castellano Martínez

Director/es

Luis Carlos Martínez Fraile

Ponente

Pilar Brufau García

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2022

Resumen

Hoy en día, la generación de residuos domésticos derivada de la actividad humana e industrial es un tema de gran preocupación a nivel mundial. Los expertos consideran que el incremento de estos residuos, exponencialmente creciente, puede tener repercusiones muy negativas no sólo a nivel ambiental, sino también a nivel social, económico y sanitario.

La depuración de las aguas es un tema principal en la Agenda 2030, dada la naturaleza semiárida o árida de gran parte de nuestro territorio y el creciente problema de desertificación, contribuyendo de forma directa al ODS 6 (Agua limpia y saneamiento) y al ODS 13 de lucha contra el cambio climático. El agua es una realidad económica y un recurso imprescindible en el mantenimiento de los ecosistemas, pero sobre todo es un derecho esencial para la vida y la dignidad de los seres humanos.

Una de las formas de tratar de revertir la situación actual es a través de la reutilización, el reciclado o la valorización energética. La valorización energética se refiere al conjunto de operaciones de alta eficiencia cuyo objetivo consiste en extraer energía de los residuos, sin utilizar métodos que puedan perjudicar el medio ambiente. En España se usan diferentes tecnologías de valorización de residuos en función de sus características físicas, químicas y biológicas. En este trabajo nos vamos a centrar en el cálculo de parámetros de uno de estos tratamientos.

La biometanización o digestión anaerobia es un proceso de degradación biológica de residuos orgánicos llevada a cabo gracias a la acción de varios grupos de microorganismos. Se desarrolla en reactores cerrados (digestores), en ausencia de oxígeno, y genera como productos el biogás (cuyo componente principal es el metano) y el digestato. El primero se emplea como combustible similar al gas natural y el segundo como fertilizante, debido a su elevado contenido en nutrientes.

El objetivo principal de este TFG es llevar a cabo un análisis técnico para conseguir reducir los parámetros reales del digestato producido en una planta de Navarra, a los autorizados por parte de la Confederación Hidrográfica del Ebro y la Dirección General del Medio Ambiente de Navarra, trabajo que ha sido encargado a la empresa AEMA en la que el autor de este trabajo se encuentra realizando prácticas. Finalmente, a partir de los parámetros finales de digestato, se conseguirá recuperar parte para agua de riego y otra parte para fertilizante, gracias a la deshidratación de los fangos.

Abstract

Nowadays, the generation of domestic waste derived from human and industrial activity is a matter of great concern worldwide. Experts consider that the exponentially growing of this waste, may have very negative repercussions not only at an environmental level, but also at a social, economic and health level.

Water purification is a main issue in the 2030 Agenda, due in part to the semi-arid or arid nature of our territory and the growing problem of desertification, contributing directly to SDG 6 (Clean water and sanitation) directly related with SDG 13 to combat climate change. Water is an economic reality and an essential resource in the maintenance of ecosystems, but above all it is an essential right for the life and dignity of human beings.

One possibility to reverse the current situation is through reuse, recycling or energy recovery. Energy recovery refers to the set of highly efficient operations whose objective is to extract energy from waste, without using methods that could harm the environment. In Spain, different waste recovery technologies are used depending on their physical, chemical and biological characteristics. In this work we are going to focus on the calculation of parameters of one of these treatments.

Biomethanization or anaerobic digestion is a process of biological degradation of organic waste carried out thanks to the action of various groups of microorganisms. It develops in closed reactors (digesters), in the absence of oxygen, and generates biogas (whose main component is methane) and digestate as products. The former is used as a fuel similar to natural gas and the latter as a fertilizer, due to its high nutrient content.

The main objective of this TFG is to carry out a technical analysis to reduce the real parameters of the digestate produced in a plant in Navarra, to those authorized by the Ebro Hydrographic Confederation and the Environment General Direction of Navarra. It forms part of the requested work in AEMA company in which the author is doing an internship. Finally, based on the final digestate parameters, it will be possible to recover part for irrigation water and another part for fertilizer, thanks to the dehydration of the sludge.

Índice

Resumen.....	2
Abstract	3
1. Introducción	9
2. Antecedentes.....	13
2.1. Datos de partida	14
3. Instalación de la EDAR	14
3.1. Eliminación de sólidos en suspensión (SST).....	15
3.1.1. Homogeneizador	15
3.1.2. Tratamiento físico-químico GEM.....	17
3.2. Eliminación del nitrógeno amoniacal.....	19
3.2.1. Depósito intermedio.....	19
3.2.2. Filtro de anillas.....	20
3.2.3. Intercambiadores de calor.....	21
3.2.4. <i>Stripping</i>	21
3.3. Tratamiento biológico.....	23
3.4. Sistema de ultrafiltración MBR	26
3.5. Secado de fangos del GEM mediante tornillo DSM	27
3.6. Dosificaciones	29
3.7. Sistema de gestión SCADA.....	30
4. Conclusiones.....	31
Bibliografía.....	33
Glosario	37
Anexo I. Descripción detallada de la instalación.....	40
1. Datos de partida	40
2. Eliminación de sólidos en suspensión (SST).....	43
2.1. El sistema GEM y sus ventajas	43
2.2. Pretratamiento de aguas residuales industriales.....	49
2.2.1. Homogeneización	49
3. Eliminación del nitrógeno amoniacal.....	53
3.1. Depósito intermedio.....	53
3.2. Filtro de anillas.....	54

3.3.	Intercambiadores de calor.....	54
3.4.	<i>Stripping</i>	55
4.	Tratamiento biológico.....	57
4.1.	Eliminación del nitrógeno orgánico	58
4.2.	Reactor anóxico	59
4.3.	Reactor Aerobio.....	59
5.	Sistema de ultrafiltración MBR	60
6.	Secado de fangos del GEM	63
7.	Sistema de gestión SCADA.....	67
Anexo II. Cálculos detallados de la instalación.....		70
1.	Cálculos previos	70
1.1.	Cálculo de caudales	70
1.2.	Cálculo de concentraciones y/o cargas.....	73
2.	Cálculo de equipos de la instalación	74
2.1.	Bombeo de cabecera.....	74
2.2.	Sistema de flotación GEM.....	75
2.3.	Depósito del homogeneizador.....	76
2.4.	Sistema de recirculación y aireación del homogeneizador.....	77
2.4.1.	Sistema de aireación AEMJET	78
2.4.2.	Soplante.....	80
2.4.3.	Bombeo de recirculación	80
2.5.	Bombeo de regulación a depósito intermedio	81
2.6.	Depósito intermedio.....	82
2.7.	Sistema de recirculación y aireación del depósito intermedio	82
2.7.1.	Sistema de aireación AEMJET	83
2.7.2.	Soplante.....	84
2.7.3.	Bombeo de recirculación	84
2.8.	Filtro de anillas.....	84
2.9.	Drenajes al pozo de cabecera	85
2.10.	Intercambiadores de precalentamiento y calentamiento	85
2.11.	Desgasificación y absorción del amoniaco.....	87
2.12.	Bombeo hacia <i>Stripping</i>	88
2.13.	Bombeo bypass <i>Stripping</i>	89

2.14.	Bombeo de <i>Stripping</i> a reactor anóxico.....	90
2.15.	Reactor concéntrico anóxico y aerobio	90
2.15.1.	Parámetros de diseño.....	91
2.15.2.	Nitrificación-desnitrificación.....	93
2.15.3.	Recirculación depósitos concéntricos.....	96
2.15.4.	Sistema de recirculación y aireación del reactor aerobio	96
2.15.4.1.	Necesidad de aire	96
2.15.4.2.	Sistema de aireación AEMJET	101
2.15.4.3.	Soplantes	102
2.15.4.4.	Bombeo de recirculación.....	102
2.15.5.	Agitadores.....	103
2.16.	Sistema de ultrafiltración MBR	103
2.16.1.	Soplantes	104
2.17.	Tanque CIP.....	105
2.18.	Deshidratación de fangos con tornillo DSM	106
2.19.	Bombeo de escurridos.....	107
2.20.	Cálculo de dosificaciones.....	107
Anexo III.	Cálculo de pérdidas de carga en tuberías	110
Anexo IV.	Cálculo de diámetros en tuberías de agua.....	112
Anexo V.	Ficha técnica bomba RN 301-305	113
Anexo VI.	Pilotaje y planteamiento EDAR	114
Anexo VII.	Diagrama de Moody	115
Anexo VIII.	Línea de proceso EDAR para HTN Biogás.....	116

1. Introducción

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo. En 2015, todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 objetivos como parte de la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, en la cual se establece un plan para alcanzar los objetivos en 15 años. ([ONU](#))

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible es un ambicioso plan que busca alcanzar una prosperidad respetuosa con el planeta y sus habitantes y es una continuación de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (2000-2015) de la ONU, los cuales fueron en su día la primera confluencia internacional para afrontar problemas globales como la erradicación de la pobreza extrema y el hambre o la mejora en el acceso a la educación. ([Iberdrola](#))

Una de las contribuciones para alcanzar estos objetivos es la eliminación de los procesos clásicos de degradación de la materia orgánica, a través de los cuales se producían emisiones no controladas de gases de efecto invernadero (metano y dióxido de carbono) a la atmósfera.

Una planta de biometanización trata la basura generando biogás (para generar energía eléctrica) y compost (material beneficioso para el suelo por ser rico en nutrientes y capaz de reducir la erosión y de mejorar la vida vegetal) usando el proceso de biometanización.

La biometanización consiste en la degradación de la materia orgánica por medio de una fermentación bacteriana en un recinto cerrado, caliente y en ausencia de oxígeno (proceso anaeróbico). Se puede alimentar de:

- La fracción orgánica de nuestros residuos.
- Lodos deshidratados procedentes de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR).
- Otros residuos valorizables como purines, sueros lácteos o aceites vegetales.

Como consecuencia de este proceso se obtienen tres productos:

- Biogás. Contiene una alta concentración de gas metano, por lo que es un elemento combustible. Por tanto, se puede utilizar para obtener electricidad (energía renovable).
- Digestato. Es el producto sólido resultante de la biometanización. Es centrifugado para eliminar el agua y podría ser aprovechado para elaborar compost.
- Calor. La energía térmica que transmite el motor a los circuitos de agua que lo refrigeran se utilizan para mantener el digestor a 37 °C, de manera que se produce un ahorro de gasoil.

El proceso de biometanización comienza con un pre-tratamiento del material procedente de la planta de clasificación (fracción orgánica de residuos domésticos); ya que las

tecnologías de biometanización exigen que los residuos tengan unas condiciones determinadas de tamaño y pureza en materia orgánica. El siguiente paso consiste en la humidificación y la homogeneización de esta materia orgánica antes de introducirse en los digestores. El proceso de biometanización es vía seca (entre un 25 % y un 40 % de materia seca), en una sola etapa (mono-etapa), de la manera más continua posible y en condiciones termofílicas (entre 55 y 60 °C). El biogás extraído de los digestores se introduce en los motogeneradores, donde se genera conjuntamente energía eléctrica y térmica. Con ella se autoabastece la planta y el excedente es exportado a la red. Por su parte, el digesto extraído es sometido a deshidratación, dando lugar a una torta deshidratada y a un líquido excedente del proceso (lixiviado) que son llevados al vertedero y a una depuradora externa respectivamente.

Las plantas de biometanización están en auge en Europa. A pesar de que es una energía con un coste mayor (el gas natural tiene un precio de mercado de 20€/MWh PCI y el del biometano es de 70-80 €/MWh PCI) se necesita una energía renovable que sustituya a la eólica cuando no haya viento, o solar cuando no haya sol, por ejemplo. La energía encargada de esto actualmente es la energía hidráulica, pero la energía producida por biomasa sería una buena alternativa. En 2018 se registraron un total de 483 plantas de biometano en Europa, mientras que, en 2020, es de 729, siendo Alemania la principal promotora, con 232 plantas, seguida por Francia, mientras que España estaría en el puesto número 13, con dos plantas y dos en construcción (datos 2020) (Figura 1). Sorprende este puesto tan bajo, un país rico en ganadería y agricultura, principales productores de esta materia prima.

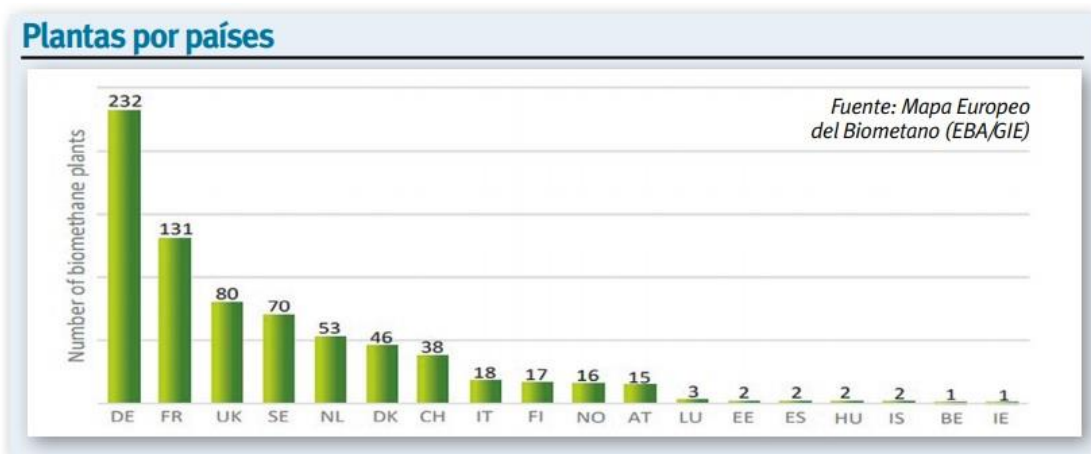


Figura 1. Plantas de biometano en Europa. [\(Energías-renovables\)](#)

La planta propuesta por AEMA consiste en cinco partes diferenciadas: la eliminación de sólidos en suspensión (SST), la eliminación del nitrógeno amoniacal, el tratamiento biológico, el sistema de ultrafiltración con MBR y la parte de deshidratación de los fangos.

- **La eliminación de sólidos.** Después de pasar por el decantador centrífugo y el tamiz existente pasará al depósito Buffer 1, desde donde se bombeará al homogeneizador y, posteriormente, al tratamiento-físico químico GEM desde donde irá por gravedad al pozo de regulación.

- **La eliminación del nitrógeno amoniacal.** Desde el pozo de regulación se bombeará hasta el depósito intermedio y posteriormente al filtro de anillas (o en caso de considerarse necesario, al tratamiento biológico directamente mediante el bombeo en bypass). Después de este, el agua se calentará con dos intercambiadores y llegará a las torres de *Stripping*. Este proceso se realiza para disminuir el nitrógeno total previo al tratamiento biológico.
- **El tratamiento biológico.** Desde el *Stripping* (o en caso de considerarlo necesario, desde el depósito intermedio) se bombeará al reactor anóxico. Este reactor será concéntrico con el reactor aerobio y entre estos se recirculará agua para producir el proceso de nitrificación-desnitrificación.
- **Sistema de ultrafiltración MBR.** Este sistema sirve para terminar de filtrar los sólidos más pequeños, gracias a estas membranas de ultrafiltración y desde aquí pasará a un tanque CIP, o bien, para el posterior suministro a agua de riego o para recuperación para los preparadores de polielectrolito, o bien para realizar el tratamiento de *Stripping*.
- **Deshidratación de fangos con tornillo DSM.** Para reducir el agua de los lodos y así producir escurridos que vayan a un pozo para después bombearlos de nuevo al Buffer 1 o para producir la torta, que se bombeará hasta un contenedor para su almacenamiento en la nave de compostaje existente en HTN.

Es importante decir, que el cliente HTN Biogás ya tiene una planta existente, en la que aprovechan el digestato como fertilizante, pero le encarga a la empresa AEMA el estudio de esta EDAR para mejorar el aprovechamiento de éste mediante la recuperación del sulfato amónico al 40% para su posterior venta. Por tanto, de dicha planta, se aprovechará el decantador centrífugo, el tamiz rotativo y el depósito Buffer 1.

El biogás es el principal producto obtenido en la biometanización. Está compuesto por un 60% de metano (CH_4), un 38% de dióxido de carbono (CO_2) aproximadamente, y trazas de otros gases. La composición o riqueza del biogás depende del sustrato digerido y del funcionamiento del proceso. Sus aplicaciones más importantes son la producción de calor y de energía eléctrica para motores de combustión interna, estufas, etc. Las plantas de biometanización siguen el siguiente esquema (Figura 2), variando como se considere necesario en función de las concentraciones de la materia prima de entrada.

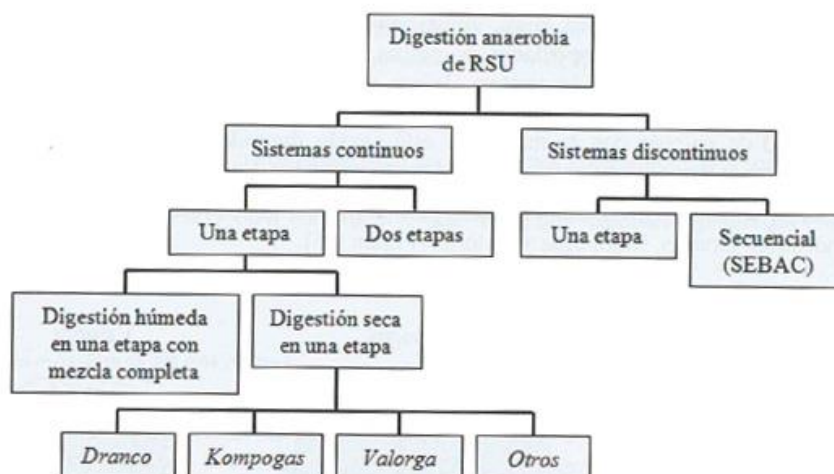


Figura 2. Digestión anaerobia de residuos urbanos. [\(CTR Mediterráneo\)](#)

Se distinguen distintos tipos de sistemas de digestión anaerobia:

- Sistema de una etapa. Supone el 90% de las plantas en Europa y se dividen, aproximadamente, en partes iguales entre sistemas húmedo y seco.
- Sistemas de dos etapas. Se fundamentan en que las reacciones bioquímicas que conducen a la conversión del biorresiduo en biogás no comparten necesariamente las mismas condiciones ambientales óptimas. Las reacciones se optimizan en distintos reactores para mejorar el proceso en conjunto y la producción de biogás. La primera etapa acoge las reacciones de licuefacción y acidificación, mientras que en la segunda transcurre la metanogénesis. Este sistema tiene una ventaja respecto al sistema de una etapa, y es una mayor seguridad frente a los residuos que causan inestabilidades.
- Sistemas discontinuos o por lotes. Los digestores se cargan una vez con el residuo fresco y se le hace pasar por las fases de degradación secuencialmente en un régimen seco. No han tenido un éxito comercial significativo, pero sus características, tales como su sencillez de diseño y control del proceso, su robustez frente a gruesos y contaminantes y sus bajos costes de inversión, los hacen atractivos especialmente en zonas poco desarrolladas. [\(CTR Mediterráneo\)](#)

La instalación actual del cliente HTN Biogás cuenta con un proceso similar al que se muestra en el siguiente esquema (Figura 3).

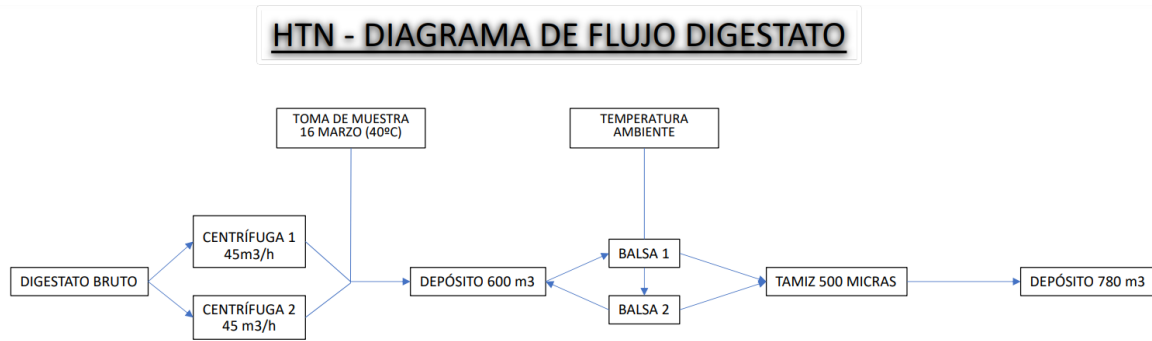


Figura 3. Diagrama de flujo de digestato HTN. (Fuente: AEMA)

Como se ha comentado antes, HTN Biogás se pone en contacto con la empresa AEMA para el aumento de la planta y el mejor aprovechamiento del digestato. Este TFG está basado en el diseño de la EDAR, desde la elección de equipos mediante los cálculos necesarios, comparativas y contacto con fabricantes; hasta el desarrollo de planos de implantación para su posterior instalación; y en el que he colaborado bajo la supervisión del director técnico, en la realización del proyecto, en calidad de contratado.

2. Antecedentes

HTN es una empresa situada en Caparroso (Navarra) dedicada a la promoción, construcción y explotación de plantas de biometanización. Cuenta con una planta de co-digestión agroindustrial de alta capacidad para el tratamiento y valorización energética de residuos orgánicos ganaderos y agroindustriales mediante la digestión anaerobia. El biogás generado servirá como combustible de motores de cogeneración vertiéndose la electricidad generada a la red eléctrica. A su vez, se obtiene un subproducto denominado digestato empleado como fertilizante orgánico en cultivos agrícolas y del que partiremos para el diseño de la instalación de recuperación de agua.

El digestato bruto es enviado a dos decantadores centrífugos que lo separan en dos fases: líquida y sólida. Estas dos fracciones se aplican actualmente en campos de cultivo. La composición del digestato líquido (un 98% agua) hace su gestión agrícola menos eficiente.

Actualmente, su línea de proceso es la siguiente: el digestato bruto a 40°C (como se muestra en la Figura 3) se envía a unas bombas centrífugas en las que normalmente trabaja una de ellas, aunque a veces pueden trabajar las dos simultáneamente cuando el caudal de digestato aumenta. La fracción líquida se bombea a un depósito de 600 m³, y desde ahí a dos balsas de almacenamiento de 75000 m³. De las balsas, podría volver, ya a temperatura ambiente, al depósito de 600 m³ o se puede pasar por el tamiz de 500 micras para posteriormente ir a otro depósito de 780 m³, desde donde saldría la instalación de agua adaptada para riego (ver Figura 4).

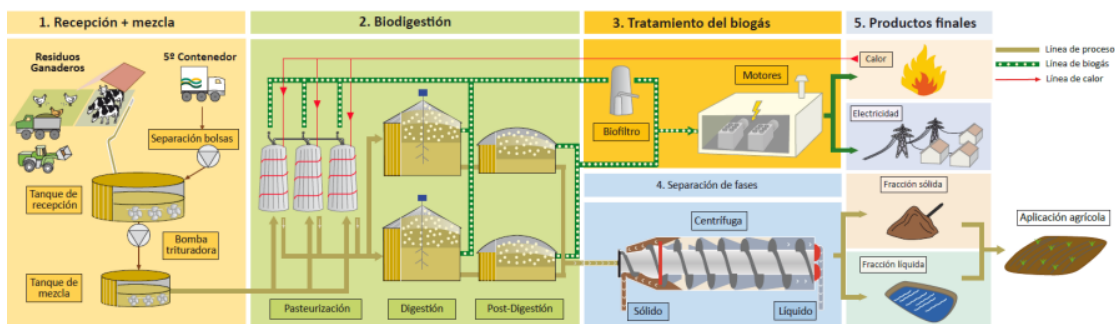


Figura 4. Digestión anaerobia existente en HTN (Rubén Rodríguez. Fundación Naturgy)

La empresa HTN Biogás, prevé un aumento de recepción de purines próximamente, por lo que aumentaría el digestato líquido, de forma que se pone en contacto con la empresa AEMA, especializada en el diseño, instalación y gestión de plantas depuradoras y tratamiento de aguas, en la que se enmarca el desarrollo de este TFG, para el diseño de una EDAR y así poder aprovechar la instalación para riego, cumpliendo los parámetros de vertido autorizados por la Confederación Hidrográfica del Ebro y las directrices de la Dirección General de Medio Ambiente de Navarra (ver Tabla 1).

2.1. Datos de partida

La Tabla 1 muestra los valores iniciales del digestato líquido, frente a los autorizados según la Confederación Hidrográfica del Ebro y/o la Dirección General del Medio Ambiente de Navarra.

Digestato			
Parámetro	Valores iniciales	Valores autorizados	Unidades
Caudal	1.000	-	m ³ /día
DQO	54.000	<250	mg/l
SST	50.000	<35	mg/l
NTK	4.500	<100	mg/l
P _T	400	<10	mg/l

Tabla 1. Parámetros iniciales y autorizados.

3. Instalación de la EDAR

Previamente, hay que recordar que se aprovecha parte de una instalación existente en la empresa HTN Biogás. El digestato líquido entra a un decantador centrífugo, desde donde pasa a un tamiz rotativo de paso 500 µm y posteriormente a un depósito enterrado, al que denominamos Buffer 1. Es a partir de aquí donde empieza la instalación propuesta por AEMA, ya que únicamente la centrífuga, el tamiz y este depósito existen ya. Los valores de salida del decantador centrífugo se muestran a continuación en la Tabla 2.

Digestato líquido de la centrífuga		
Parámetro	Valor	Unidades
Caudal	1.000	m ³ /día
DQO	42.000	mg/l
SST	30.000	mg/l
NTK	4.500	mg/l
P _T	300	mg/l
Ácidos y Grasas	2.000	mg/l
Conductividad	13.000	μS/cm
pH	8	upH

Tabla 2. Parámetros del digestato líquido en Buffer 1.

A continuación, se va a proceder a explicar más profundamente cada una de las cinco partes de las que consta la instalación de la EDAR.

3.1. Eliminación de sólidos en suspensión (SST)

Esta parte de la instalación, compuesta por el tratamiento físico-químico GEM y el homogeneizador, tiene la función de eliminar el máximo posible de sólidos en suspensión del agua residual para el correcto funcionamiento de las etapas posteriores.

Desde el depósito Buffer 1 se bombeará un caudal de 1400 m³/día o bien al homogeneizador, o al tratamiento físico-químico GEM, gobernado por unas válvulas todo/nada (cuando por una de ellas esté abierta pasará todo el caudal y la otra se mantendrá totalmente cerrada). A este último, sólo se bombeará cuando se considere necesario (por una avería en el homogeneizador, por ejemplo). Este caudal es debido a los 1000 m³/día de digestato, 300 m³/día de escurridos del DSM y 100 m³/día del drenaje procedente del filtro de anillas.

Las bombas elegidas para este bombeo (1+1) para el caudal inicial de 1400 m³/día y unas pérdidas de carga totales de 14 m, serán las bombas sumergidas modelo ARS 100-26V/7.5/45V del fabricante "IDEAL" de 5.5 kW de potencia. Además, se usará una tubería de DN150.

Se deberá instalar además unas boyas que midan el nivel del pozo.

3.1.1. Homogeneizador

El homogeneizador, es un pretratamiento de aguas residuales. Un pretratamiento es el proceso de eliminación de los constituyentes de las aguas residuales cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares.

Este homogeneizador se considera necesario, debido a las variaciones de caudal y pH que se pueden producir en el afluente de la EDAR. Así, se conseguirá aumentar el rendimiento de los procesos de tratamiento aguas abajo. Sirve para amortiguar por laminación las variaciones de caudal, debido al flujo inconstante de los efluentes de las distintas etapas, así se conseguirá un caudal más uniforme. Además, actuará como depósito tampón regulador y neutralizador de pH, para lo cual se instalará un equipo de control de pH.

El volumen útil con el que contará este homogeneizador será de 2940 m³, teniendo en cuenta que el tiempo de retención en este depósito es de un día y el caudal de entrada al homogeneizador es de 1400 m³/día. El fabricante “PAVER prefabricados S.A.” ofrece un depósito de diámetro 22.37 m y 8 m de altura. Este depósito se propone como semienterrado, en el que 5 m serán vistos.

Para la aireación y agitación (también llamado *Korting*) de este reactor se propone un sistema de toberas AEMJET. En estos AEMJET se produce el efecto “Venturi”, creando un intenso contacto líquido-aire y mezclando las dos corrientes, mientras se forman burbujas de tamaño micrométrico. El flujo mezclado sale de las boquillas a altas velocidades que permiten un movimiento continuo dentro del tanque.

Se pueden distinguir dos tipos de sistemas de toberas AEMJET, el AEMJET-I y el AEMJET-O. La diferencia entre estas simplemente es su distribución de las toberas, en las que la primera es una distribución alargada (en forma de brazo), lo que conlleva que tengan un mayor número de toberas; y el segundo tiene una forma circular (denominado vulgarmente como “piña” por su forma) y menor número de toberas.

En este caso se utilizará un sistema de toberas AEMJET-I, con 22 toberas de aire y agua, estas deben tener el mismo número, ya que no sería lógico que una de las dos tuviera más toberas que la otra.

Para el correcto funcionamiento de estos brazos *Korting* y que se produzca el efecto “Venturi”, es necesario una bomba de recirculación de agua y una soplante que proporcione aire. La tubería de menor diámetro será la que suministre aire, que será aproximadamente la mitad que la de recirculación de agua. El caudal de agua debe ser aproximadamente la mitad que el caudal de aire. En este caso, el caudal de aire es de 2205 m³/h y el de agua de 1176 m³/h, por lo que se cumple esta relación aproximadamente.

Se pide oferta al fabricante “AERZEN” para la soplante y se decide entre las ofertadas que la que mejor cumple es la soplante D36S, que soporta un caudal de 2083 m³/h.

Para las bombas de recirculación, teniendo en cuenta este caudal aproximado de 1200 m³/h y unas pérdidas de 3 m, se busca en el catálogo de “IDEAL” y se considera que la más adecuada es la bomba RN 450-400 PF, capaz de impulsar este caudal con unas pérdidas de 10 m y una potencia de 55 kW.

Se considera además que la tubería de aire será de DN200 y la de agua de DN400.

En este homogeneizador se instalará una sonda de pH para regular este parámetro mediante la dosificación de sosa al 50%; y una sonda de sólidos para conocer la concentración existente. La dosificación de sosa estará almacenada en un depósito de doble pared calorifugado que cumple la normativa [APQ6](#).

Se contará también con una sonda Redox, en la que se medirá el estado oxidativo del sistema acuoso y se dosificará antiespumante al homogeneizador para evitar la creación de espumas en la superficie de este, además de contar con los medidores de nivel que deben tener todos los depósitos y pozos, bien sea en boya o embridado al depósito.

El depósito de antiespumante no está representado en la línea de proceso debido a sus pequeñas dimensiones.

Se pasará al tratamiento físico-químico GEM mediante gravedad, a partir del homogeneizador, regulado mediante una válvula de mariposa neumática.

3.1.2. Tratamiento físico-químico GEM

El tratamiento físico-químico de flotación avanzada sirve para reducir la concentración de sólidos en suspensión y aceites y grasas presentes en el vertido mediante la adición de químicos y la introducción de aire disuelto, haciendo que se produzca la flotación de los mismos.

Para esta EDAR, se ha elegido el sistema GEM de flotación. Este sistema GEM tiene unos cabezales LSGM que ofrecen la flexibilidad para cambiar la energía de mezcla a las características específicas de las aguas residuales y condiciones cambiantes.

El sistema GEM satura el 100% de la corriente de agua con aire disuelto y al dejar libre la corriente de agua en la cámara de descompresión, el aire se expande formando millones de nano-burbujas desde el interior de los flóculos, haciendo que los mismos floten muy rápido. Es por esto, que el tanque de flotación en el sistema GEM es menor que en el sistema de flotación convencional.

Además, con el sistema GEM se consigue un fango con mayor sequedad que con otras tecnologías de flotación. Este lodo podrá ser llevado a un tanque de almacenamiento con una válvula de purga para sacar el agua libre, ya que el fango en reposo seguirá expulsando agua.

El sistema GEM airea y trata el 100% del agua residual bajo presión. Esto concede la capacidad de disolver rápidamente el aire en el agua residual antes de la adición de los productos químicos, lo que a su vez permite la incorporación de aire dentro de la estructura de flóculo y elimina la necesidad de sistemas de recirculación de agua por su aireación, esto hace que se reduzcan las obstrucciones en la recirculación.

El crecimiento del sistema GEM sólo está limitado por el tamaño de los cabezales LSGM. Para variar el caudal de agua simplemente, se variará el número de orificios abiertos en los cartuchos del interior de los cabezales. Esto permite una rápida adaptabilidad.

El sistema GEM tiene incorporado un sistema de rasquetas para la recogida de lodos y los lleva hacia la tolva provisional de fangos.

A la entrada al GEM se instalarán un caudalímetro para medir el caudal de entrada al sistema de flotación, y un transmisor de presión para verificar que el agua entra a la presión adecuada.

La dosificación de coagulante y floculante se produce en los cabezales LSGM. Mediante la dosificación de coagulante se consigue agrupar partículas muy pequeñas cargadas eléctricamente (coloides) y se neutralizan las cargas eléctricas que mantienen separadas a las partículas coloidales (coagulación), se agrupan aumentando su tamaño y rompiendo el equilibrio. La adición de floculante hace que estas partículas aumenten de tamaño para eliminarlas con mayor facilidad.

El reactivo coagulante que se dosifica, se almacenará en un depósito cilíndrico vertical de doble pared calorifugado que cumple con la normativa [APQ6](#) de almacenamiento de líquidos corrosivos. El floculante será dosificado desde un equipo automático preparador de polielectrolito diluido.

Una vez realizada la coagulación-floculación en los cabezales LSGM, el agua pasará a un tanque de flotación, desde el cual, el agua clarificada pasará al pozo de regulación.

Los fangos son conducidos por gravedad para que no se rompa el flóculo hasta una instalación de secado de fangos con tornillo deshidratador DSM. Se instalará un bombeo (1+1) con bombas helicoidales en bypass por si fuera necesaria la ayuda de un bombeo.

En la Tabla 3 se muestra la cantidad de fango espesado procedente del GEM, así como su sequedad.

Salida de fango espesado		
Parámetro	Valor	Unidades
Cantidad	450	Tn/día
Sequedad	7	%

Tabla 3. Parámetros de salida del GEM.

El sistema GEM elegido es el GEM 150/300 XXL, a partir de una concentración de sólidos de 30000 mg/l y un caudal de 70-72 m³/h. Primeramente se había propuesto el sistema GEM 150/300, que es el mismo que el primero, pero con un tanque de flotación menor, ya que para esta concentración de sólidos anterior sería suficiente, pero al ser un caudal tan alto, se necesita un modelo que tenga un tanque mayor, por eso se opta por el modelo XXL.

Como se ha comentado antes, la salida del GEM al DSM irá por gravedad, para evitar que se rompa el flóculo, pero se plantean dos bombas helicoidales (1+1) por si fuera necesario el bombeo. Estas bombas son el modelo MONO Z36KC11RMA para un caudal de 30000 l/h

según el fabricante “ALBOSA” capaces de impulsar un caudal de 30 m³/h con una altura manométrica máxima de 20 mca y potencia 5.5 kW.

3.2. Eliminación del nitrógeno amoniacal

Este proceso se compone de la parte del depósito intermedio, un filtro de anillas para la retención de sólidos, los intercambiadores de precalentamiento y calentamiento y la zona del *Stripping*.

3.2.1. Depósito intermedio

Previo al depósito intermedio existe un pozo de regulación, desde donde se bombeará agua residual al depósito posterior con un bombeo (1+1). Se necesita impulsar un caudal de 65 m³/h (1535 m³/día) con unas pérdidas de 12 m, por tanto, se propone un bombeo sumergido con bombas ARS 100-30V/15/45 del fabricante “IDEAL” capaz de impulsar un caudal de 70 m³/h con unas pérdidas de 12 m y tiene una potencia de 75 kW. La tubería de impulsión será de DN150. En este pozo se contará con unas boyas medidoras de nivel.

El depósito intermedio sirve como regulación de pH previamente a la eliminación del nitrógeno amoniacal y tiene un volumen útil de 310 m³ proporcionado por el fabricante “PAVER prefabricados S.A.”. Este depósito tiene un diámetro de 8.42 m y 6 m de altura.

Además, está aireado mediante un sistema de aireación mediante toberas AEMJET-O, que lo alimenta por la parte del aire una soplante, y una bomba de recirculación por la parte del agua. El sistema de toberas AEMJET-O se compone de 3 toberas.

El caudal de aireación es de 375 m³/h y el de recirculación de agua de 225 m³/h, por lo que, aproximadamente se cumple la proporción entre caudal de aire y agua. Para la aireación, se utiliza una soplante GM7L del fabricante “AERZEN”, capaz de soportar un caudal de 381 m³/h.

Para la recirculación de agua, teniendo en cuenta el caudal de recirculación anterior se elige una bomba centrífuga modelo GNI 125-20/15 del fabricante “IDEAL” que, para este valor de caudal, puede impulsar unas pérdidas de hasta 8 m. La tubería de aire será de DN100 y la de agua de DN200.

Los valores de entrada al depósito intermedio son los mismos que los que salen del GEM hasta el bombeo de regulación intermedio y que se muestran en la Tabla 4.

Salida GEM		
Parámetro	Valor	Unidades
Caudal	1.535	m ³ /día
DQO	7.000	kg/día
SST	500	kg/día
NTK	2.500	kg/día
pH	8	upH

Tabla 4. Parámetros de vertido de salida del GEM.

A este depósito se le dosificará sosa para aumentar el pH del vertido, ya que se necesitará un aumento del pH para el posterior proceso de *Stripping*. La sosa estará almacenada en un depósito de doble pared calorifugado que cumple con la normativa [APQ6](#). Es importante que tanto el depósito como las tuberías de dosificación de sosa al 50%, estén calorifugados, ya que se cristaliza a unas temperaturas no muy bajas.

Se contará con una sonda de pH y una boya o controlador de nivel.

También habrá una dosificación de antiespumante para evitar la formación de espumas en la superficie.

El vertido es bombeado (1+1) hasta un filtro de anillas que ayudará a la retención de sólidos en suspensión antes de pasar al proceso de desgasificación del amoniaco. Estas bombas de impulsión centrífugas serán el modelo GNI 80-40/40 del fabricante “IDEAL” capaz de impulsar un caudal de 70 m³/día con unas pérdidas hidráulicas de 55 m.

Se propone además otro bombeo en bypass (1+1) directamente al tratamiento biológico (este caso sólo se dará si el *Stripping* deja de funcionar correctamente y/o el vertido que llega al depósito intermedio tiene los valores adecuados de nitrógeno para que se produzca la nitrificación-desnitrificación en el tratamiento biológico). Las bombas centrífugas que impulsan el agua al reactor anóxico en bypass son el modelo GNI 65-20/5.5 del fabricante “IDEAL” capaz de impulsar un caudal de 70 m³/h a una altura de 13 m.

Se deberá instalar un caudalímetro para cada una de las salidas de agua.

3.2.2. Filtro de anillas

Pasar el vertido por un filtro de anillas es importante para el correcto funcionamiento del *Stripping* posterior, ya que el fabricante de este último exige una cantidad máxima de sólidos en suspensión a la entrada de este proceso de 150 kg/día.

El modelo elegido es el FT 212 AA del fabricante “AZUD”, con un caudal máximo admisible de 210 m³/h. Este filtro de anillas tiene 100 micras de paso y se compone de 12 filtros.

El filtro propuesto por “AZUD” permite la limpieza secuencial a baja presión de cada filtro en sentido inverso al de filtración, utilizando una mezcla de agua filtrada y aire

comprimido almacenada en un tanque auxiliar, mientras continúa el suministro de agua filtrada aguas abajo. El lavado se lleva a cabo con muy poco volumen de agua.

Se propone además un drenaje de este filtro de anillas de unos 100 m³/día, el cual se llevará por gravedad hasta el depósito Buffer 1, para que vuelva a pasar por el GEM y eliminar estos sólidos.

3.2.3. Intercambiadores de calor

Se proponen dos intercambiadores de calor: uno de precalentamiento y otro de calentamiento. Con esto, se pretende aumentar la temperatura hasta una temperatura superior a 60 °C, que es la necesaria para el correcto funcionamiento del *Stripping*.

Para el intercambiador de calor de precalentamiento, el agua de entrada es de 25 °C y el fabricante nos asegura que la de salida será de 45 °C para el conducto de agua fría. Para el conducto de agua caliente, se tendrá una temperatura de 65 °C de entrada procedente de la salida del *Stripping*, y una temperatura de salida de 45 °C.

Para el intercambiador de calor de calentamiento, la temperatura de entrada es de 45 °C y la de salida nos asegura el fabricante que llegará a ser de 65 °C para el conducto del agua fría, y para el conducto de agua caliente, se contará con un agua de fábrica de entrada a 95 °C y de salida de 75 °C. Esta agua de fábrica procederá de un proceso de cogeneración a partir del biogás procedente de la digestión anaerobia.

Como se muestra en el Anexo II, el caudal másico es de 65 kg/h y se decide que el modelo para ambos intercambiadores es el T8 MFM del fabricante “ALFA LAVAL”, con brida de entrada y salida DN80.

Se cuenta además con un depósito CIP de 2 m³ que sirve para la limpieza de los intercambiadores mediante dosificaciones de ácido e hipoclorito, necesario para disminuir tanto el ensuciamiento por cal provocada por la dosificación de sosa propuesta a la entrada de estos intercambiadores como la materia orgánica incrustada procedente del digestato.

3.2.4. *Stripping*

El *Stripping* o etapa de desgasado, es un proceso de desorción, por el cual la mayor parte del nitrógeno amoniacal del agua residual pasa a una corriente de aire. Esto supone el transvase de la contaminación de un medio (líquido) a otro (gas). A la entrada del proceso de desgasado del amoníaco se obtienen los parámetros mostrados en la Tabla 5.

El fabricante “TECNIUM” nos proporciona que la concentración máxima de sólidos para el correcto funcionamiento de las torres de *Stripping* es de 150 mg/l, por lo que deberemos conseguir esa concentración como valor límite.

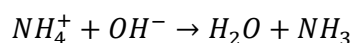
Entrada a <i>Stripping</i>		
Parámetro	Valor	Unidades
Caudal	1.435	m ³ /día
DQO	7.000	kg/día
SST	150	mg/l
NTK	2.500	kg/día
pH	10	upH

Tabla 5. Parámetros a la entrada de *Stripping*.

El agua desciende por un relleno adecuado (se maximiza la superficie de contacto entre líquido y gas) y el gas circula en sentido contrario en la torre *Stripper*. La columna opera a contracorriente entre la fase líquida y el flujo de aire de arrastre que se introduce por la parte inferior de la columna. Este aire asciende mediante un efecto mecánico y arrastra el amoníaco contenido en el agua. El agua limpia de amoníaco se drena por el fondo de la columna, y el aire, conteniendo el amoníaco desorbido, sale por la parte superior de la columna hacia la torre *Scrubber*, en la que se eliminan los contaminantes en el aire. Primeramente, se había propuesto la vuelta del amoníaco desorbido hacia el homogeneizador, pero para ello, el homogeneizador debe ser cerrado y no es así.

El reparto de líquido de relleno se realiza con pulverizadores de cono lleno, que generan un espectro de gotas suficientemente pequeño para favorecer e incrementar el contacto entre las dos fases.

El amoníaco es una base débil que reacciona con el agua (ácido débil) para formar hidróxido de amonio. Para la extracción del amonio se ha añadido sosa, y así aumentar el pH hasta 10 para conseguir la conversión de los iones de amonio en amoníaco gaseoso, según la siguiente reacción:



La torre *Scrubber* tiene la principal finalidad de no emitir el amoníaco a la atmósfera. Esta etapa es denominada de absorción y, necesariamente, se requiere un pH bajo, por lo que se dosifica ácido sulfúrico en la recirculación de agua de esta torre.

El gas amoníaco se convertirá en sulfato amónico, y se almacenará en un depósito aparte para que la empresa pueda utilizarlo como abono posteriormente o venderlo.

Para la elección de este equipo, se contacta con el fabricante "TECNIUM" proporcionando el caudal de entrada a la torre *Stripper* y la concentración inicial de nitrógeno total. El caudal de entrada es de 60 m³/h y la concentración de nitrógeno a la entrada es de 1742 mg/l. El fabricante nos proporciona que este equipo conseguirá que a la salida del *Stripping* se tenga una concentración de nitrógeno de 100 mg/l, lo que es equivalente a una carga de 144 kg/día.

En el bombeo de recirculación de agua acidificada de la torre *Scrubber*, se dosifica ácido sulfúrico al 98%. Este ácido está almacenado en dos depósitos de doble pared que cumplen la normativa [APQ6](#) para el almacenamiento de líquidos corrosivos en recipientes fijos.

En este caso, se ha decidido un almacenamiento en dos depósitos de 25 m³ por seguridad, ya que almacenar el ácido sulfúrico en uno sólo de 50 m³ podría resultar peligroso por ser una gran cantidad.

En cada torre se colocarán boyas de nivel en la zona de almacenamiento de agua.

Para finalizar, hay un bombeo de impulsión de agua residual desde el *Stripping* hasta el reactor anóxico (previo paso por el lado caliente del intercambiador de precalentamiento para reducir la temperatura del agua de salida del *Stripping*). Este bombeo propuesto está compuesto por dos bombas centrífugas (1+1) del modelo GNI 65-32/10 del fabricante "IDEAL" capaz de impulsar este caudal de 60 m³/h a una altura de 19 m y tiene una potencia de 75 kW.

3.3. Tratamiento biológico

Para el tratamiento biológico se proponen dos reactores concéntricos, el interior será el anóxico y el exterior será el reactor aerobio. El reactor anóxico tiene un volumen útil de 2480 m³ y una lámina de agua de 9.6 m. El reactor aerobio es de volumen útil 7250 m³ y lámina de agua también de 9.6 m. Estos reactores se proponen concéntricos por el simple hecho de aprovechamiento del espacio.

Se plantean dos depósitos semienterrados, donde el panel del reactor aerobio es de 8 m, de los cuales 3 m estarán enterrados, por tanto, habrá 5 m vistos. Además, debido a la pendiente, se tienen en cuenta 2 m enterrados más.

Mediante un bombeo (1+1) desde la salida de la torre *Stripper* se conduce el agua al reactor anóxico, pero antes de ello se deberá volver a reducir el pH, ya que previo al *Stripping* se había aumentado hasta 10, por lo que deberemos dosificar ácido y se hará directamente en la tubería de impulsión del bombeo al reactor anóxico. Las bombas de impulsión serán reguladas mediante un caudalímetro instalado en la tubería de impulsión y se medirá el pH mediante un controlador, para saber el pH conseguido después de la dosificación de ácido.

Es recomendable comprobar que se cumple la regla 100/5/1 de nutrientes, que corresponde a DQO/N/P, antes de proceder al tratamiento biológico. En base a esta regla, y sabiendo que la DQO tiene un valor de 7000 kg/día, se deben tener unos valores máximos de carga de 350 kg/día de nitrógeno total y 70 kg/día de fósforo a la entrada al tratamiento biológico. Como se muestra en el Anexo II, se tiene en cuenta un valor mayor a estos 350 kg/día, por lo que se debe favorecer el proceso de nitrificación-desnitrificación.

Los parámetros a la entrada al tratamiento biológico son los mostrados en la Tabla 6.

Entrada al tratamiento biológico		
Parámetro	Valor	Unidades
Caudal	1.435	m ³ /día
DQO	7.000	kg/día
SST	150	mg/l
pH	7	upH
CE	13.000	μs/cm

Tabla 6. Parámetros de entrada al tratamiento biológico.

El nitrógeno es un contaminante de las aguas residuales que hay que eliminar por ser perjudicial por diferentes razones: reduce el oxígeno disuelto en las aguas superficiales, es tóxico para el ecosistema acuático, es un riesgo para la salud pública y junto al fósforo (P) son responsables del crecimiento desmesurado de organismos fotosintéticos (eutrofización).

La eliminación de nitrógeno se realiza con un proceso de nitrificación y desnitrificación. La nitrificación consiste en la conversión aerobia del nitrógeno amoniacal a nitrato, y la desnitrificación es la conversión anóxica de nitratos en nitrógeno gas.

En la nitrificación, se reduce la demanda de oxígeno del amoníaco mediante su conversión a nitrato. Para eliminarlo se realiza el segundo paso, la desnitrificación. El nitrato conseguido en el anterior proceso pasa a ser un producto gaseoso y es eliminado.

La nitrificación se produce en condiciones aerobias, en cambio la desnitrificación se produce en condiciones anóxicas (en ausencia de oxígeno). La desnitrificación, por tanto, se realizará en el reactor anóxico. Este reactor debe tener una recirculación con el reactor aerobio para el correcto funcionamiento del proceso de nitrificación-desnitrificación, instaladas con un pasamuros.

Como se muestra en el Anexo II, se debe favorecer el proceso de nitrificación-desnitrificación. Sabiendo la carga de DQO y el coeficiente C_v , se calcula el volumen mínimo del reactor biológico, que será de aproximadamente 7000 m³. Se contacta con el fabricante "PAVER prefabricados S.A." y nos proporciona una oferta de reactor aerobio de 37.45 m de diámetro y un volumen útil de 7250 m³.

Para el reactor anóxico, sabiendo que el caudal de recirculación de agua entre reactores concéntricos (41615 m³/día), el caudal de entrada de 1435 m³/día y un coeficiente de seguridad de 1.5 se calcula el volumen necesario para este reactor anóxico, que da un valor de 2690 m³. Se contacta con el fabricante "PAVER prefabricados S.A." y oferta un depósito de 18.6 m y un volumen útil de 2480 m³.

Además, se propone la presencia de dos agitadores para favorecer el movimiento de las aguas del reactor anóxico, y así evitar la decantación del fango y, en consecuencia, la anaerobiosis del licor mezcla. Estos agitadores son el modelo AGS 600-3SHG/13, del fabricante "IDEAL" capaces de agitar 2600 m³ y de potencia 10.1 kW.

Calculado previamente el caudal de recirculación interna de agua entre los reactores ($41615 \text{ m}^3/\text{día}$) de $1744 \text{ m}^3/\text{h}$. Se busca en el catálogo del fabricante “GRUNDFOS” las bombas axiales que mejor se adaptan a estas condiciones, estas son las SRG 35.50.257.27.5.1B, con capacidad para impulsar un caudal de $1204 \text{ m}^3/\text{h}$ con unas pérdidas de 10 m y una potencia nominal de 3,5 kW.

Para el reactor aerobio se propone la presencia de cuatro brazos *Korting* compuesto por dos líneas de agua y una de aire cada brazo. Estos brazos *Korting* tienen una distribución de toberas modelo AEMJET-I.

Como se muestra en el Anexo II, el número de toberas para cada brazo *Korting* será de 16, con una tubería de aire de DN200 y dos tuberías de DN250 para el agua.

Este reactor necesita de una buena aireación del licor mezcla que aporte el oxígeno necesario para que los microorganismos aerobios puedan realizar su ciclo vital, consumiendo la materia orgánica y oxidando el amonio en nitratos, y así conseguir la eliminación de la materia orgánica y la oxidación del amonio en nitratos.

Para los brazos *Korting* se proponen dos grupos de soplantes (2+1) que aporten el oxígeno necesario y cuatro bombeos de recirculación de agua con dos bombas centrífugas que alimentan cada brazo.

Las soplantes elegidas son del fabricante “AERZEN” y serán el modelo D30S, capaces de circular 2048 kg/h de aire, impulsa un caudal de aire de $1762 \text{ m}^3/\text{h}$ y tiene una potencia nominal de 55 kW. Estas soplantes serán accionadas mediante un variador de frecuencia, para realizar el ajuste automático de la velocidad de trabajo en función de las necesidades del proceso.

Para la recirculación de agua en los brazos *Korting* se eligen unas bombas centrífugas RNI 250-40 que pueden impulsar este caudal de recirculación ($500 \text{ m}^3/\text{h}$) hasta una altura de 13 m y una potencia de 30 kW.

Los grupos soplantes y bombas son controlados por una sonda de O_2 y una sonda Redox. La primera, se instala con el fin de garantizar el aporte de oxígeno preciso (se aportará únicamente el oxígeno que sea necesario). La sonda Redox servirá para medir el estado de oxidación del vertido, lo que nos dará información del proceso de nitrificación, y se instalará en ambos reactores. Además, también se instalará una sonda de sólidos para realizar una purga de fangos en el momento que sea necesario y una sonda de pH para controlar el pH del agua en el tratamiento biológico, además de los controladores o boyas de nivel.

Por último, se añadirá una dosificación de antiespumante en el reactor aerobio para evitar la formación de espumas en la superficie.

3.4. Sistema de ultrafiltración MBR

Una vez finalizado el tratamiento biológico anterior, se procederá mediante gravedad a un sistema de ultrafiltración con biorreactores de membrana MBR, para eliminar los sólidos más pequeños todavía existentes en el agua residual.

Para que este sistema funcione de la manera idónea, debe pasar por él un caudal cinco veces mayor que el caudal medio de la EDAR. Para controlarlo, se dispondrá de una válvula de tajadera automática (4-20 mA) controlada por un caudalímetro. El agua discurrirá a través de un filtro de malla en Y, para evitar el paso de partículas sólidas de más de 5 mm.

El tanque del MBR está fabricado en acero inoxidable, con una capacidad para 3 cassettes y un compartimento para los fangos. En el interior del tanque se van a disponer 2 cassettes de 52 módulos de membrana cada uno, con una superficie de filtración por módulo de 40 m².

Como se ha calculado en el Anexo I, se obtiene una superficie total de filtración de 4160 m², un caudal que debe pasar por el MBR de 250 m³/día y un flujo de permeado (flux) de 13 l/(m²·h).

Las membranas necesitan realizar limpiezas de mantenimiento y de recuperación para que se encuentren en perfecto estado. Estas labores de limpieza se llevan a cabo a través de la dosificación de ácido cítrico e hipoclorito. Además, se realizan retro lavados de limpieza enviando agua tratada desde el tanque CIP de 200 m³ al interior de la fibra, mediante unas bombas lobulares que permiten la dirección del flujo de agua en ambos sentidos (permeado y retro lavado), a la vez que el aire de las dos soplantes agita las membranas.

Estas bombas lobulares para el retrolavado son el modelo VX186-130Q del fabricante "VOGELSANG" capaces de impulsar un caudal de 50-150 m³/h con una potencia de 15 kW cada una de ellas.

El agua limpia usada para el permeado y almacenada en el tanque CIP, es la extraída del licor mezcla a través de las membranas.

Este sistema de ultrafiltración MBR es muy eficaz, ya que tiene la capacidad de retener un alto porcentaje de virus, bacterias o componentes orgánicos e inorgánicos que frecuentemente son encontrados en los efluentes de los tratamientos biológicos convencionales.

Para la elección del número de membranas del MBR, sabiendo el flujo de permeado calculado en el Anexo I (12 l/h·m²) se consigue una superficie de membrana mayor a las existentes, por tanto, se deberá aumentar el flujo de permeado hasta 13 l/h·m².

Con este valor de flux ya conseguiremos una superficie de membrana existente como se calcula en el Anexo II. Por tanto, se escogerá el único modelo que cumple estas restricciones, que es el mayor: Cassette LEAP de membranas ZW500D, RX12, 52/52 en

316L, SS. Este modelo de cassette lo componen 52 membranas. Se elige comprar dos cassettes, ya que, con 96 módulos sería suficiente, pero, por si dejara de funcionar algún módulo de membrana, se deciden instalar dos cassettes de 52 módulos, lo que conlleva 104 módulos. Estos 104 módulos soportan un caudal de 1297,92 m³/día, por tanto, se cumple, ya que el caudal a tratar será de 1190 m³/día.

El cálculo del flujo de aire necesario para el MBR (Anexo II) da un resultado de 365 m³/h de aire para cada cassette. Por tanto, al haber dos cassettes, se colocarán dos soplantes del fabricante “AERZEN” modelo GM7L.

El tanque CIP al que es bombeada esta agua es de PRFV (Poliéster Reforzado de Fibra de Vidrio) de 200 m³ del fabricante “ROBLEPOL S.L.” y también contará con un controlador de nivel. A partir de aquí podría tomar tres caminos marcados, todos ellos gobernados mediante un caudalímetro:

- Un caudal de 1000 m³/día irá por gravedad a un depósito existente de 780 m³ para ser utilizada como agua de riego.
- Un bombeo 1+1 para recuperación de agua para los preparadores de polielectrolito con el modelo GNI 32-16/0,75 del fabricante “IDEAL”, capaz de bombear un caudal de 10 m³/h con unas pérdidas de 5 m y una potencia de 0.55 kW.
- Por bombeo (1+1), de nuevo al intercambiador de precalentamiento del proceso de *Stripping* para darle versatilidad a la planta. Las bombas elegidas corresponden al modelo GNI 65-26/7.5 del fabricante “IDEAL”, capaces de transmitir un caudal de 70 m³/h.

3.5. Secado de fangos del GEM mediante tornillo DSM

Según el pilotaje realizado en una planta similar, se producen diariamente 24 toneladas de materia seca al día, con una sequedad del caudal de entrada del 7%. Este fango producido por el GEM es el obtenido para un caudal punta, por tanto, no son datos característicos, ya que, rara vez funcionará en estas condiciones, y normalmente, se hará con un caudal medio.

Para la deshidratación de los fangos, se propone un tornillo DSM que satisface estas necesidades anteriores expuestas, pero como he comentado antes, el cliente nos facilita que no se producirá habitualmente este caudal punta, por lo que deciden poner un tornillo más pequeño, con capacidad nominal de 360 kg MS/h pudiendo alcanzar 600 kg MS/h en función del lodo a tratar, ya que pueden regular su caudal. Este tornillo deshidratador es el modelo DSM 702 D del fabricante “Clean Water Technology”.

Los lodos provenientes del sistema GEM se conducen al tubox por gravedad para que no se rompa el flóculo, donde se acondiciona el fango con el polímero diluido.

El interior de la estructura del Sistema DSM está compuesto por placas de anillos separadores cilíndricos móviles. El movimiento rotacional con el tornillo de paso variable proporciona un proceso continuo de deshidratación. Su diseño hace que se eliminen las posibles obstrucciones.

Es un sistema completamente automatizado, por lo que hace falta una atención mínima del operario. Además, es especialmente útil en la deshidratación de lodos urbanos con bajo contenido de sólidos y en las industrias que generan lodos con un alto contenido en aceites y grasas.

Se distinguen tres zonas dentro del sistema: la zona de espesamiento (donde el lodo se hace más denso), la zona de deshidratación (donde se elimina el agua del lodo por la presión generada por el anillo estático y los anillos móviles) y la zona de escurridos (donde un plato estático aumenta la presión y se produce la torta deseada).

Algunas de las ventajas del tornillo deshidratador de fangos son las siguientes:

- Proceso contra lavado ajustable en frecuencia y tiempo, y el sistema de anillos anti-obstrucción para mantener el sistema limpio.
- Capacidad de tratar un efluente de recirculación con un contenido en sólidos muy bajo.
- Reducido tamaño.
- Fácil de operar y mantener.
- Bajo consumo energético.

El proceso de deshidratación de fangos mediante el Sistema DSM es el siguiente:

1. Por gravedad (si no es posible se usará el bombeo), para evitar romper el flóculo, el fango producido por el GEM se conduce desde la tolva de fangos al tubox.
2. En el tubox se acondicionará con el floculante producido por el sistema de preparador de polielectrolito.
3. En la zona de deshidratación, el espacio entre anillos móviles y fijos es menor. Gracias a esto, el lodo sale en forma de torta.
4. Se descarga esta torta deshidratada mediante una bomba helicoidal (1+1) hasta un contenedor.
5. Los escurridos y el vaciado se conducen a un pozo de bombeo de escurridos que posteriormente se bombeará al depósito Buffer 1 o al depósito intermedio para volver a tratar esta agua residual (dependerá de su turbidez).

Como se explica en el Anexo I, se eligen dos bombas helicoidales (1+1) capaces de impulsar $6 \text{ m}^3/\text{h}$ cada una a la salida del tornillo deshidratador DSM hasta un contenedor donde se enviará la torta. Estas bombas son el modelo MONO W18BC11RPA del fabricante "ALBOSA" con capacidad para impulsar este caudal y una potencia de 11 kW. La tubería será de DN125.

Se obtienen unos parámetros de escurrido del DSM mostrados en la Tabla 7 y unos parámetros del fango deshidratado mostrados en la Tabla 8.

Ecurrido DSM (retorno)		
Parámetro	Valor	Unidades
Caudal	300	m ³ /día
DQO	7.000	mg/l
SST	500	mg/l
NTK	2.500	mg/l
P _T	40	mg/l
AyG	200	mg/l
pH	8	upH

Tabla 7. Parámetros del escurrido del tornillo deshidratador DSM.

Fango deshidratado DSM		
Parámetro	Valor	Unidades
Cantidad	150	Tn/día
Sequedad	25	%

Tabla 8. Parámetros del fango deshidratado del DSM.

El bombeo sumergible (1+1) desde el pozo de escurridos hasta el depósito Buffer 1 o al depósito intermedio, se realizará con unas bombas del fabricante “IDEAL” modelo ARS 100-26/7.5E/45, capaz de impulsar un caudal de 20 m³/h a una altura de 18.7 m y tienen una potencia de 5.5 kW. Se dispondrá de unas válvulas automáticas todo/nada para enviar los escurridos del DSM por el camino que se considere necesario según los parámetros de grasas, sólidos en suspensión, etc. medidos mediante una sonda de turbidez. Este pozo también contará con una boya medidora de nivel.

3.6. Dosificaciones

Las bombas dosificadoras serán las PRIUS D, del fabricante “DOSIM” para todas las dosificaciones. Será un total de 20 bombas dosificadoras en las que dos de ellas serán para la dosificación de coagulante al sistema de flotación GEM; seis de ellas para la dosificación de sosa al homogeneizador, al depósito intermedio y al *Stripping*; dos de ellas para la dosificación de ácido en la tubería de impulsión desde el *Stripping* al reactor anóxico y para el agua acidificada de la torre *Scrubber*; y dos de ellas para la dosificación de antiespumante del tratamiento biológico. Además, se usarán cuatro más para la dosificación de ácido (dos para la limpieza de los intercambiadores y dos para la de MBR) y otras cuatro para la dosificación de hipoclorito (para la limpieza de intercambiadores y del MBR). Cada pareja de bombas, se almacenarán en un armario de dosificación distinto.

Para las dosificaciones de polielectrolito del sistema de flotación GEM se calcula el caudal de floculante en el Anexo II según el *Jar-test* realizado por “Clean Water Technology”. Este caudal es de 5805 l/h, por lo que, sabiendo este, buscaremos en el catálogo del fabricante “ALBOSA” y se elegirá el modelo de dos bombas helicoidales modelo C23KC11RMA, con

capacidad para impulsar un caudal de hasta 2500 l/h cada una, de pérdidas de hasta 20 m y con una potencia de 0.75 kW. Además, deberemos elegir también el equipo preparador de polielectrolito. Calculado el caudal anterior de dosificación de floculante se elige que el equipo adecuado es el modelo POLIBASIC AP 80 del fabricante “POLITECH” que proporciona un caudal de hasta 8000 l/h.

En el caso del tornillo deshidratador DSM, el caudal de polímero preparado necesario será de 4200 l/h, con una concentración del 0.25%. El porcentaje de disolución que trabaja AEMA varía desde el 0.25% hasta el 0.5%. En este caso, se decide aumentar la concentración al 0.3%, lo que provocará un menor caudal de dosificación, cuyo valor es de 3500 l/h. Basándonos en estos datos, se elegirá el modelo POLIBASIC AP40 capaz de impulsar un caudal de hasta 4000 l/h. Para el bombeo de polielectrolito del DSM se usan dos bombas helicoidales del fabricante “ALBOSA” modelo C1XKC11RMA, capaces de impulsar un caudal de 3400 l/h cada una para unas pérdidas de 20 m y con una potencia de 1.1 kW.

Todos los depósitos de dosificación deben cumplir la normativa [APQ6](#) para químicos corrosivos. Todos estos, serán pedidos al fabricante “PROFEPLAS” y cada uno de ellos tendrá sus propios medidores de nivel.

El depósito de coagulante (policloruro de aluminio) y el de sosa 50% se proponen como calorifugados, ya que los puntos de congelación de estos son de 0°C y 12°C respectivamente. Así pues, para evitar la congelación de estos químicos y que cristalicen, se propone este sistema de recubrimiento.

Estos depósitos, salvo el de antiespumante y el de ácido, serán de capacidad de 50 m³. Para el ácido sulfúrico serán dos depósitos de 25 m³ por motivos de seguridad para no acumular una gran cantidad de ácido en un mismo depósito. Para el antiespumante, es suficiente un depósito pequeño de aproximadamente 5 m³.

3.7. Sistema de gestión SCADA

Por último, hablaré del sistema de gestión SCADA. SCADA es un método de gestión y control que permite la supervisión del proceso. Este sistema permite el manejo automático de procesos que, mediante la introducción de una consigna, actuarán de manera autónoma, siendo vigiladas y registradas todas sus acciones en el histórico de datos y alarmas que incluye el sistema.

Permite la visualización del proceso y acciones individuales que se han llevado a cabo o se están llevando a cabo, pudiendo cambiar a manual o no cada equipo.

SCADA cuenta con un sistema de alarmas donde se pueden visualizar las anomalías ocurridas en la planta, controlarlas y gestionarlas; además de una pantalla de mantenimiento de equipos.

También se pueden visualizar y modificar todas las consignas de funcionamiento de la planta o por medio de gráficas en tiempo real, se pueden visualizar las variables que se consideren necesarias, para así conocer los estados y rendimientos de la planta.

4. Conclusiones

Para este TFG se ha contado con la ayuda de la empresa AEMA, y con la que he colaborado en calidad de contratado para su correcta elaboración, desde el cálculo del prediseño, hasta el desarrollo de planos de implantación y de PID para montadores previos a la instalación.

Se ha implementado la instalación de una EDAR para el mejor aprovechamiento del digestato líquido procedente de una planta de digestión anaerobia del cliente HTN Biogás. El digestato se caracteriza sobre todo por tener una gran cantidad de nitrógeno. Por ello, se necesita hacer una instalación diferente a otras más básicas, el gran cambio respecto a otras es la zona del *Stripping*.

Además, también es importante reducir en gran cantidad los sólidos en suspensión, aceites y grasas, y el fósforo, por lo que se propone un tratamiento físico-químico muy eficaz como es el GEM y los filtros de anillas para disminuirlos previo a la zona de desgasificación del amoníaco.

Se han realizado todos los cálculos técnicos y dimensionamiento de tuberías, válvulas y bombas; buscando los fabricantes y seleccionando los elementos óptimos para la instalación, respetando las instalaciones que ya existen.

Finalmente, mediante las cinco fases que hemos definido previamente (eliminación de sólidos en suspensión, eliminación del nitrógeno amoniacal, tratamiento biológico, sistema de ultrafiltración MBR y deshidratación de fangos), los datos permiten concluir que se alcanza el objetivo fijado al principio de este trabajo: conseguir un vertido que cumple los parámetros exigidos por la Confederación Hidrográfica del Ebro y/o la Dirección General del Medio Ambiente de Navarra.

Bibliografía

Apuntes Ingeniería térmica. Grado Ingeniería Mecánica. Tema 4: Intercambiadores de calor.

Apuntes Mecánica de Fluidos. Grado Ingeniería Mecánica. Tema 7: Flujo en conductos.

Apuntes Mecánica de Fluidos. Grado Ingeniería Mecánica. Tema 8: Flujo en canales.

CEDEX, TOMO III, DIMENSIONAMIENTO DE UNA EDAR (página 45).

Trabajo Fin de Máster: Tratamiento físico-químico y Jar-test. J.Mascarós Vicedo. 2013.

METCALF, página 1424.

Documentación propia de la empresa AEMA.

Ofertas recibidas por parte de fabricantes de los distintos equipos.

[Tamiz Rotativo - GEDAR - Tratamiento de Aguas](#)

[Tamizado - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)

[Sistema GEM - Tecnología de Flotación Avanzada, para el tratamiento de aguas residuales en la industria de Gestión de Residuos Peligrosos en España](#)

[Estudio piloto de la tecnología de floculación-flotación avanzada "Sistema GEM®" aplicado en aguas residuales industriales del sector avícola](#)

[Instalación del Sistema GEM® en dos plantas del mayor procesador de cítricos de Sudáfrica \(aguasresiduales.info\)](#)

[Sistema DAF para tratamiento de aguas residuales \(sigmadafclarifiers.com\)](#)

[Coagulacion-Floculacion \(elaguapotable.com\)](#)

[Microsoft PowerPoint - C3 Tema 06 COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN \[Modo de compatibilidad\] \(upct.es\)](#)

[Sistema de aireación AEMJET, eficiencia energética con mínimo mantenimiento - Aguas Industriales](#)

[Filtros de anillas | Lama](#)

[Desgasado de Lixiviados - Tecnum](#)

[ficha9.pdf \(arc-cat.net\)](#)

[model matematic \(upc.es\)](#)

[Nitrificación-desnitrificación de la fracción líquida de purines en re - Artículos - 3tres3, la página del Cerdo](#)

[El biorreactor de membrana MBR | Formación de ingenieros \(tecpa.es\)](#)

[Biorreactor MBR: Descripción, funciones y aplicación | Bluegold](#)

[Finalizada EDARi de Queserías Entrepinares \(blogdelagua.com\)](#)

[MBR Introduction \(lenntech.com\)](#)

[Microsoft Word - FT-BIO-010-MBR A20151104.docx \(wateractionplan.com\)](#)

[Deshidratación de fangos EDAR con tornillos deshidratadores - Aguas Industriales](#)

[Tornillo deshidratador de fangos IEA PRESS - Serproagua](#)

[Filtro prensa ""MURANO"" hidráulico para la deshidratación de lodos. - Estruagua](#)

[Recurso: Entendiendo el Digestato | HRS Heat Exchangers \(hrs-heatexchangers.com\)](#)

[6.-ruben-rodriguez.pdf \(fundacionnaturgy.org\)](#)

[Decantador Centrifugo - Cbb Decanter s.r.l.](#)

[Microsoft Word - ITCMIEAPQ6.doc \(apici.es\)](#)

[Efecto Venturi - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)

[Definición de Calorifugar o Aislar | Glosario de Surdry S.L.](#)

[Eutrofización: Causas, consecuencias y soluciones | iAgua](#)

[Conductividad \(electrolítica\) - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)

[Microsoft Word - 3.1.4.0 FI pH.doc \(ca.gov\)](#)

[Bulking filamentoso, ¿amigo o enemigo? – Físicoquímicos EDAR \(fqedar.com\)](#)

[anaerobiosis - Definición - WordReference.com](#)

[Nitrógeno total Kjeldahl - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)

[NORMATIVA - Portal CHEbro](#)

[Principio de Bernoulli - Wikipedia, la enciclopedia libre](#)

[www.sensoratech.com - SN-EF. Control de la Edad del Fango / Sludge age control unit](#)

[Lodos activados – parámetros de control | Cropaia](#)

[BOE.es - DOUE-L-2013-80011 Directiva 2012/49/UE de la Comisión, de 10 de diciembre 2012, que modifica el anexo II de la Directiva 2006/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se establecen las prescripciones técnicas de las embarcaciones de la navegación interior.](#)

[Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030 - Agenda 2030 \(mdsocialesa2030.gob.es\)](#)

[La Agenda para el Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible \(un.org\)](#)

[¿Qué es la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible? - Iberdrola](#)

[*https://unstats.un.org/sdqs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020_Spanish.pdf*](#)

[Bioenergía - Plantas de biometano en España, con los dedos de una mano - Energías Renovables, el periodismo de las energías limpias. \(energias-renovables.com\)](#)

[La biometanización como alternativa para los RSU, residuos sólidos urbanos - CTR Mediterráneo \(ctrmediterraneo.com\)](#)

Glosario

- **EDAR.** Estación Depuradora de Aguas Residuales. (Fuente: AEMA)
- **Efluente.** Líquido residual que fluye de una instalación. (Fuente: AEMA)
- **DBO.** Demanda Bioquímica de Oxígeno. Test que se realiza a lo largo de 5 días a temperatura constante (20°C) para medir la cantidad de oxígeno que se consume para degradar biológicamente un compuesto orgánico. (Fuente: AEMA)
- **DQO.** Demanda Química de Oxígeno. Test estandarizado para medir la cantidad de oxígeno consumido para oxidar químicamente un compuesto químico. (Fuente: AEMA)
- **SST.** Sólidos Suspendidos Totales. Sólidos totales en suspensión en el agua. (Fuente: AEMA)
- **SSV.** Sólidos Suspendidos Volátiles. Sólidos volátiles que representan la masa activa en el tanque de aireación. (Fuente: AEMA)
- **SS.** Sólidos sedimentables en 30 minutos en una probeta de 1000 ml. (Fuente: AEMA)
- **IVF.** Índice Volumétrico de Fangos. Volumen ocupado por un gramo de materia seca después de sedimentar durante 30 minutos. (Fuente: AEMA)
- **OD.** Oxígeno Disuelto en el reactor de aireación. Se recomienda mantener una concentración en el reactor de 2 mg/l o identificar el potencial redox más apropiado para no poner en riesgo el equilibrio biológico. (Fuente: AEMA)
- **Bulking.** Mala sedimentación de los flóculos del fango activo que afecta negativamente a las plantas de tratamiento de aguas residuales. ([Fgedar](#))
- **Redox.** Medida del potencial eléctrico. (Fuente: AEMA)
- **NTK.** Nitrógeno total Kjeldahl. Es un indicador utilizado en química analítica cuantitativa que determina la suma del nitrógeno orgánico y el nitrógeno amoniacal (ion NH_4^+). ([Wikipedia](#))
- **E.** Edad del fango. Es el tiempo promedio que el fango permanece en el sistema. (Fuente: AEMA)
- **Cm.** Relación entre el alimento ingresado y la masa de microorganismos en el sistema. (Fuente: AEMA)
- **CE.** Conductividad. Medida de su capacidad para conducir electricidad. ([Wikipedia](#))
- **pH.** Medida que indica la acidez o la alcalinidad del agua. Concentración de iones de hidrógeno en el agua. ([Waterboards](#))
- **Sistema de flotación DAF.** Sistema que se encarga de separar las partículas en suspensión mediante microburbujas de aire, en una solución sobresaturada. (Fuente: AEMA)
- **Desbaste.** Operación de separación de los sólidos que arrastran las aguas residuales (trapos, botes, maderas, hojas, etc.). El objetivo de esta operación es la protección mecánica de las bombas, reteniendo sólidos de tamaño superior al paso efectivo de las bombas y evitar obstrucciones en tuberías, válvulas, etc. (Fuente: AEMA)
- **Sólidos gruesos.** Tamaño de partícula superior a 30 mm. (Fuente: AEMA)
- **Sólidos medios:** Tamaño de partícula de 5 a 30 mm. (Fuente: AEMA)
- **Sólidos finos:** Tamaño de partícula inferior a 5 mm. (Fuente: AEMA)

- **Tamizado.** Método mecánico para separar dos sólidos formados por partículas de tamaños diferentes. (Fuente: AEMA)
- **Desarenado.** Operación de separación de partículas pesadas en suspensión (arenas, arcillas, etc.) que lleva el agua residual y que perjudican el tratamiento posterior generando sobrecargas en fangos, depósitos, en conducciones... (Fuente: AEMA)
- **Homogeneización.** Operación para laminar las puntas de caudal y contaminación para disponer, en las operaciones y procesos unitarios emplazados aguas abajo en la línea de tratamiento, de un efluente con un caudal constante y una calidad lo más uniforme posible. (Fuente: AEMA)
- **Desengrasado.** Instalación de equipos o depósitos con un compartimento o zona central donde el agua queda remansada y se produce la flotación natural de las materias ligeras, entre ellas las grasas. (Fuente: AEMA)
- **Efecto "Venturi".** Fenómeno en el que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión cuando aumenta la velocidad al pasar por una zona de sección menor. ([Wikipedia](#))
- **Calorifugar.** Proceso de protección aislante que se aplica sobre las superficies externas de un recipiente con objeto de disminuir las pérdidas térmicas. ([Surdry](#))
- **Condiciones aerobias.** En presencia de O_2 , que actúa como aceptor de electrones. (Fuente: AEMA)
- **Condiciones anóxicas.** En ausencia de O_2 , NO_3^- , SO_4^- como aceptor de electrones. (Fuente: AEMA)
- **Condiciones anaerobias.** En ausencia de O_2 . Sin aceptor de electrones. (Fuente: AEMA)
- **Anaerobiosis.** Capacidad que poseen algunos organismos para vivir en ausencia de oxígeno molecular libre. ([Wordreference](#))
- **Flux.** Flujo de permeado neto. ([Lenntech](#))
- **Edad del fango.** Relación entre la masa de fangos existentes en la cuba de aireación y la masa de fangos purgados por unidad de tiempo, días normalmente. Según la edad del fango se tendrá un cultivo más o menos estable con mayor o menor capacidad para degradar la DBO. ([Sesnsaratech](#))
- **TRC (Tiempo de Retención Celular).** Número de días que las bacterias permanecen en el tren de tratamiento secundario. ([Cropaia](#))

