



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA QUÍMICA

DISEÑO DE UNA LÍNEA DE FANGOS INCLUYENDO ULTRASONIDOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA (100.000 He)

AUTORA: CRISTINA ABARCA CUENCA

TUTORA: BEATRIZ ELENA CUARTAS URIBE

COTUTOR: AMPARO BES PIÁ

Curso Académico: 2015-16

RESUMEN

El tratamiento de fangos en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) tiene un impacto muy significativo en las condiciones económicas y operativas de cualquier estación depuradora de aguas residuales.

Al comparar la degradación de los fangos secundarios con los primarios mediante digestión anaerobia se ha comprobado una mayor resistencia a la degradación biológica de los fangos secundarios debido a su composición orgánica. Por ello es importante buscar nuevas tecnologías que permitan variar las propiedades del fango a fin de facilitar su biodegradabilidad. Entre las técnicas de pretratamiento destaca el uso de ultrasonidos.

El fundamento de los ultrasonidos se basa en la utilización de la energía provocada por una cavitación controlada con el fin de romper las paredes celulares de los microorganismos presentes en el fango secundario, liberando el material intracelular y en consecuencia incrementando la cantidad de material orgánico disuelto y disponible para ser usado por las bacterias anaerobias presentes en el tratamiento anaerobio posterior. Así pues, mediante esta técnica se incrementa la materia fácilmente biodegradable.

Como consecuencia de ello, se aceleran los procesos de digestión reduciendo el tiempo de permanencia en los reactores, se incrementa el rendimiento de eliminación de materia volátil y aumenta la producción de biogás.

El objetivo de este proyecto es diseñar la línea de fangos de una EDAR de 100.000 habitantes incluyendo un equipo de ultrasonidos que optimice la etapa de digestión.

Palabras clave: Fango, EDAR, ultrasonidos.

RESUM

El tractament de fangs en les estacions depuradores d'aigües residuals (EDARs) té un impacte molt significatiu en les condicions econòmiques i operatives de qualsevol estació depuradora d'aigües residuals.

En comparar la degradació dels fangs secundaris amb els primaris mitjançant la digestió anaeròbia s'ha comprovat una major resistència a la degradació biològica dels fangs secundaris a causa de la seua composició orgànica. Per açò és important cercar noves tecnologies que permeten variar les propietats del fang a fi de facilitar la seua biodegradabilitat. Entre les tècniques de pretractament destaca l'ús d'ultrasons.

El fonament dels ultrasons es basa en la utilització de l'energia provocada per una cavitació controlada amb la finalitat de trencar les parets cel·lulars dels microorganismes presents en el fang secundari, alliberant el material intracel·lular i en conseqüència incrementant la quantitat de material orgànic dissolt i disponible per a ser usat pels bacteris anaerobis presents en el tractament anaerobi posterior. Així, doncs, mitjançant aquesta tècnica s'incrementa la matèria fàcilment biodegradable.

Com a conseqüència d'açò, s'acceleren els processos de digestió reduint el temps de permanència en els reactors, s'incrementa el rendiment d'eliminació de matèria volàtil i augmenta la producció de biogàs.

L'objectiu d'aquest projecte és dissenyar la línia de fangs d'una EDAR de 100.000 habitants incloent un equip d'ultrasons que optimitze l'etapa de digestió.

Paraules clau: Fang, EDAR, ultrasons.

ABSTRACT

The sludge treatment in sewage treatment plants has a significant role in the economic and operating conditions of any industrial water treatment impact.

By comparing the degradation of secondary sludge with primary by anaerobic digestion it has proven more resistant to biological degradation of secondary sludge due to its organic composition. It is therefore important to seek new technologies to vary the properties of the sludge to improve their biodegradability. Among the pretreatment techniques is the use of ultrasound.

The basis of ultrasound is based on the use of the energy caused by a controlled cavitation in order to break the cell walls of the microorganisms present in the secondary sludge. In this way, the intracellular material is released and, in consequence, the quantity of dissolved organic material is increased and it becomes available to be used by the anaerobic bacteria present in the later anaerobic treatment. It means that the use of this technology increases the easily biodegradable matter.

As a result, the process of digestion is accelerated by reducing the residence time in the reactor and therefore, the removal performance of volatile matter and the production of biogas are increased.

The objective of this project is to design the sludge line of a waste water treatment plant for 100,000 inhabitants, including an ultrasound equipment that optimizes the digestion stage.

Keywords: Sludge, WWTP, ultrasound.

DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFG

Documento 1. Memoria y anexo

Documento 2. Plano

Documento 3. Presupuesto

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. Introducción	9
2. Motivación y Justificación	9
3. Antecedentes	10
4. Objetivo.....	11
5. Descripción de una estación depuradora de aguas residuales	11
5.1. Línea de Aguas	12
5.1.1. El pretratamiento	12
5.1.2. El tratamiento primario	15
5.1.3. El tratamiento secundario.....	16
5.1.4. El tratamiento terciario.....	18
5.2. Línea de Fangos.....	19
5.2.1. Concentración.....	20
5.2.2. Estabilización	24
5.2.3. Deshidratación.....	28
5.2.4. Acondicionamiento	31
5.2.5. Tratamiento térmico	32
5.2.6. Evacuación	34
5.3. Línea de gas.....	35
5.3.1. Composición del biogás	35
5.3.2. Producción.....	35
5.3.3. Tratamiento	37
5.3.4. Aplicaciones	38
5.3.5. Almacenamiento del biogás	39
6. Parámetros y metodología para la caracterización de fangos.....	40
6.1. Parámetros para la caracterización de fangos.....	40
6.2. Metodología para la caracterización de los fangos.....	41

6.3. Características de los fangos primarios y secundarios	43
7. Aplicación de ultrasonidos en la Digestión de fangos	44
7.1. Introducción.....	44
7.2. Fundamento de los ultrasonidos	44
7.3. Descripción del equipo de ultrasonidos.....	45
7.4. Los ultrasonidos en el tratamiento de fangos	47
7.5. Estudios realizados	48
7.6. Ventajas e inconvenientes	52
8. Otras alternativas.....	54
8.1. La Hidrólisis Térmica.....	54
8.2. La Electro-deshidratación.....	55
8.3. La ozonización.....	55
9. Descripción de la instalación diseñada.....	56
10. Conclusiones	60
11. Bibliografía	61
12. Índice de figuras y tablas.....	63

ÍNDICE DEL ANEXO

Leyenda	4
Diseño del espesador por gravedad para el fango primario.....	6
Diseño del flotador para el fango secundario	9
Diseño del equipo de ultrasonidos.....	13
Diseño del tanque de mezclado	15
Diseño del digestor anaerobio	17
Diseño del deshidratador	20
Índice de tablas y figuras.....	24

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

Mediciones	3
Presupuesto por capítulos.....	8
Resumen del presupuesto	13

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo de toda industria es obtener el mayor rendimiento al menor coste económico posible, siguiendo la legislación vigente y con la menor contaminación ambiental posible. Para ello se estudian técnicas que permitan mejorar el rendimiento de las instalaciones, o aprovechar los recursos que se obtienen de ellas.

Las aguas residuales son tratadas en Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (en adelante EDAR). De éstas se obtiene el agua depurada que, en función de sus características, será vertida a un cauce receptor o será reutilizada. A su vez, se producen los fangos, que contienen la contaminación que ha sido retirada del agua. Estos fangos, se caracterizan por contener elevadas concentraciones de materia orgánica y por ser muy líquidos. Por este motivo, también han de ser sometidos a un tratamiento específico para su posterior evacuación.

Una de las etapas en el tratamiento de los fangos consiste en digerirlos para eliminar parte de la materia orgánica que contienen. En esta etapa son necesarios grandes digestores y elevados tiempos de residencia. Es por ello que se están desarrollando técnicas que optimicen la etapa de digestión.

Una de estas técnicas consiste en la aplicación de ultrasonidos como etapa previa a la digestión. Los ultrasonidos aumentarían el grado de desintegración del fango, lo que disminuiría el tiempo de residencia en el digestor, además de incrementar la producción de biogás y reducir la cantidad de fango final a evacuar.

2. MOTIVACIÓN Y JUSTIFICACIÓN

Este trabajo se fundamenta en la importancia de mejorar los procesos en el tratamiento de los fangos generados en una depuradora, de forma que puedan modificarse las características de dichos fangos y así obtener unas condiciones tales que optimicen su tratamiento, evacuación y disposición final.

Para ello se utiliza la tecnología de ultrasonidos aplicada al tratamiento de fangos, con el objeto de aumentar el rendimiento de los digestores, y minimizar recursos y costes.

El motivo principal que hace necesario otros métodos que mejoren el tratamiento de fangos se basa en el incremento de la producción de fangos debido al elevado número de depuradoras que existe en España. Este incremento, junto con la aplicación de normativas más exigentes obliga a buscar soluciones que aumenten el rendimiento de las depuradoras, que permitan la evacuación de los fangos con el mínimo impacto para el medio ambiente o que, incluso, pueda contribuir de manera positiva a la preservación y/o recuperación del mismo. Y, si es posible, a su vez, la valorización de las materias que contienen los fangos, con el fin de disminuir los costes asociados a su tratamiento, evacuación y/o eliminación, que suponen un porcentaje importante del coste de depuración.

Este Trabajo Final de Grado pretende validar los conocimientos y competencias adquiridas durante el Grado en Ingeniería Química por medio del planteamiento de mejoras a nivel tecnológico, económico y medioambiental en el tratamiento de fangos en una estación depuradora de aguas residuales.

3. ANTECEDENTES

Existen diversos estudios, investigaciones y publicaciones que abordan el tema de los beneficios obtenidos al aplicar un pretratamiento con ultrasonidos a los fangos en una EDAR.

Algunos estudios investigan el grado de solubilización, y el grado de desintegración del fango constituido por la combinación de fango primario y secundario de una EDAR, aplicando ultrasonidos con diferentes energías específicas. Otras investigaciones analizan la reducción del tiempo de residencia de los fangos en el reactor o el aumento de materia fácilmente biodegradable.

De ellos se extrae que aplicando ultrasonidos como etapa previa a la digestión de fangos se aumenta la producción de biogás [1,2], se disminuye el tamaño de las partículas y aumenta el grado de desintegración del fango [2,3], se evita la adición de químicos para la estabilización del fango [4], se mejora la eliminación biológica de nutrientes [5] y permite tiempos de retención menores en la digestión anaerobia del fango [6]. Con todo ello se acelera el proceso de digestión [7] y como consecuencia, se incrementa el rendimiento del digestor de fangos a la vez que se reduce la producción de fangos digeridos que deben evacuarse del digestor [8], y también su coste por gestión. Estos estudios se analizarán con más detalle en el apartado 7.

Existen ya varias estaciones depuradoras en España que ha implantado la tecnología de los ultrasonidos como etapa previa a la digestión, estas son:

- EDAR Molina del Segura (Murcia).
- EDAR de Vilanova i la Geltrú (Tarragona)
- EDAR de Montornés del Vallés (Barcelona)
- EDAR de Sagunto (Valencia)
- EDAR de Alzira (Valencia)
- EDAR de Cullera (Valencia)

En la Tabla 1 se muestran resultados obtenidos en la EDAR del Molina de Segura (Murcia) [8] y en la EDAR de Vilanova i la Geltrú (Barcelona) [1] tras aplicar ultrasonidos a los fangos secundarios siendo a su vez comparados con datos teóricos [19]. Como se puede observar, la tecnología de ultrasonidos aplicada a los fangos secundarios, previa etapa de digestión, tiene ventajas destacables desde el punto de vista de reducción de sólidos tanto totales como volátiles así como en el aumento en la producción de biogás.

Tabla 1. Resultados en EDARs españolas tras aplicar ultrasonidos (19)

	Rango teórico	EDAR Vilanova i la Geltrú	EDAR Molina de Segura
Incremento de la eliminación de sólidos volátiles	10-20 %	Sin dato	8%
Incremento en la producción de biogás en el digestor	10-20 %	19%	18%
Reducción de contenido de sólidos en el fango	5-10%	8%	10%

4. OBJETIVO

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar una línea de fangos incluyendo una etapa de ultrasonidos para optimizar la digestión anaerobia en una EDAR de 100.000 h.e.

5. DESCRIPCIÓN DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES

El objetivo de una EDAR es tratar las aguas residuales antes de su vertido al cauce receptor, ya sea al mar, otros cauces naturales o al alcantarillado, de forma que se garantice la calidad del agua requerida en cada medio receptor.

Los tratamientos a los que se someten las aguas residuales en una EDAR tienen como finalidad eliminar aceites, grasas, arenas, además de materias decantables (tanto orgánicas como inorgánicas), eliminar la materia orgánica y transformar los residuos en fangos estables. En una depuradora se tiene tres líneas: línea de aguas, línea de fangos y línea de gas.

De la línea de aguas se extrae por un lado el agua depurada y por otro los fangos (también denominados lodos), que pasan a la línea de fangos para ser tratados. En la digestión del fango se produce biogás, que será tratado en la línea de gas. La Figura 1 muestra un esquema general de los diferentes procesos que tienen lugar en una estación de aguas residuales (EDAR).

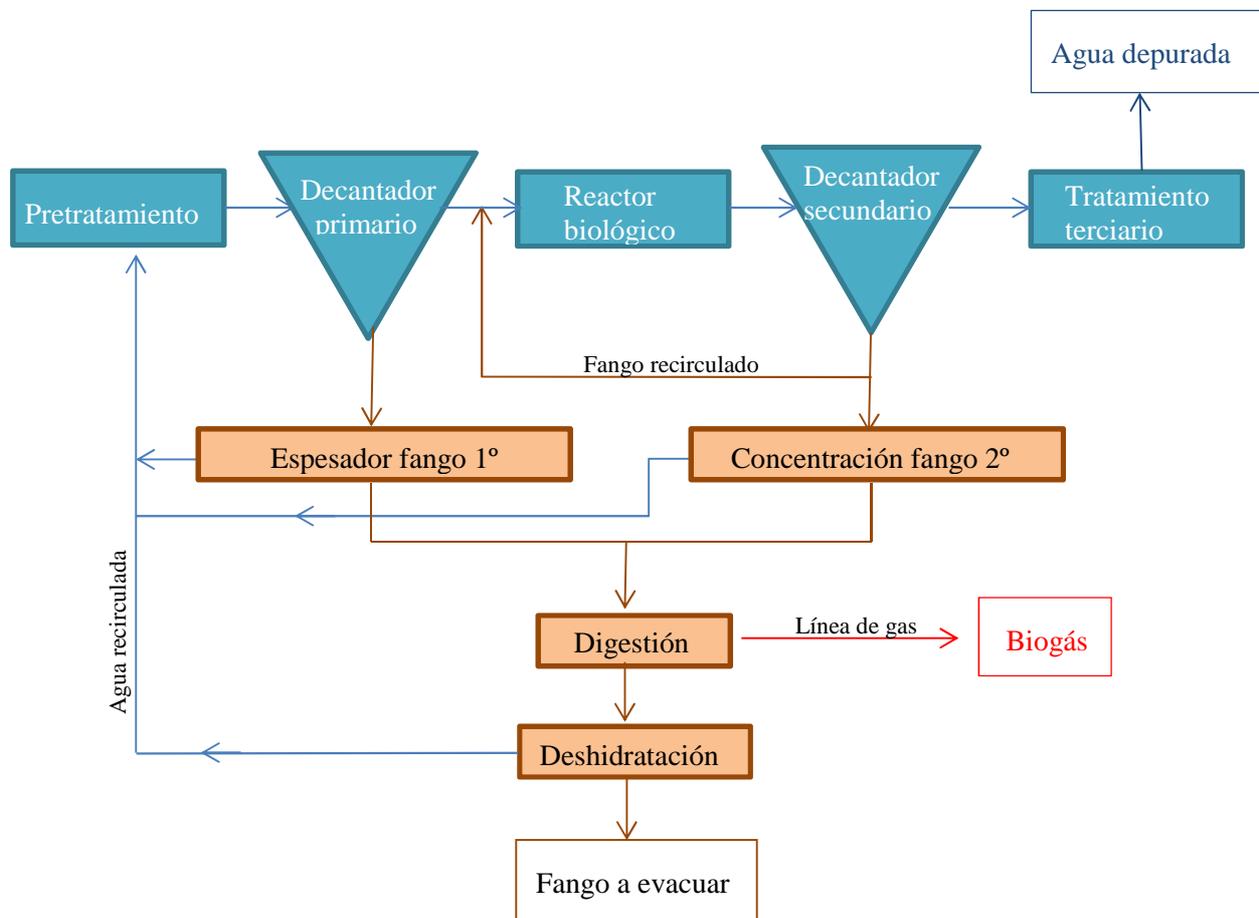


Figura 1. Esquema general del tratamiento de una EDAR

5.1. Línea de Aguas

Para la depuración del agua se siguen una serie de etapas: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario. Adicionalmente, también puede aplicarse un tratamiento terciario que incluya la desinfección del agua (Figura 2).

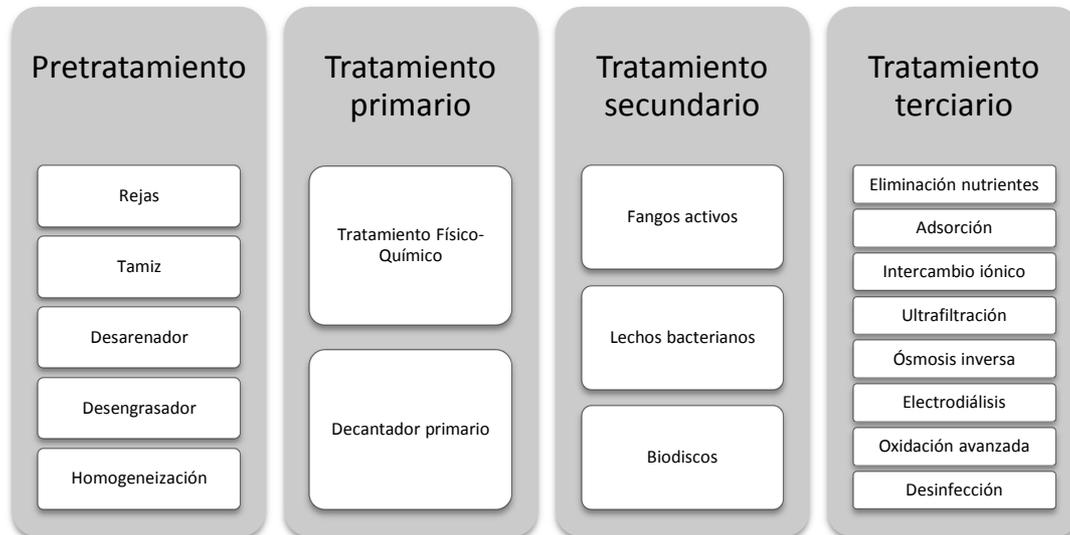


Figura 2. Etapas de la línea de aguas en una EDAR

5.1.1. El pretratamiento

El objetivo fundamental es eliminar, por medio de tratamientos físicos, sólidos de gran tamaño, como plásticos, piedras o trapos, que podrían generar obstrucciones o abrasiones. Así como eliminar la arena, grasas y aceites que puedan contener las aguas residuales. Para ello cuenta con:

- *Rejas:* Tienen como misión retener y separar los cuerpos voluminosos flotantes y en suspensión que contiene el agua residual. Están constituidas por rejillas de acero, pueden ser tanto verticales, horizontales, inclinadas o curvas. Se clasifican en rejas gruesas, medias o finas. En primer lugar se colocan las gruesas, con una abertura entre 5 y 15 cm, y a continuación las rejillas de separación media, cuya separación oscila entre 1,5 y 5 cm. Finalmente, se consideran rejillas finas aquellas en la que la separación entre las barras es inferior a 1,5 cm [9]. La limpieza del material retenido en las rejas puede ser manual o automática. En instalaciones grandes se emplea la limpieza automática, programada a intervalos fijos o en función del grado de obstrucción de la rejilla. (Figura 3)



Figura 3. Rejas (<http://www.directindustry.com>)

- *Tamices*: Su función es afinar el proceso de eliminación de residuos sólidos. Generalmente se emplean tamices con una separación libre entre las barras de 1 mm, aunque puede llegar hasta los 0,2 mm. Pueden ser estáticos o rotatorios, provistos de una malla fina de acero inoxidable o de un material no férreo [10]. (Figura 4)



Figura 4. Tamiz (<http://www.totagua.com>)

- *Desarenador*: Su objetivo es extraer del agua los elementos pesados, tales como arenas, arcillas, limos, gravas, cenizas y otras partículas minerales no putrescibles. Un desarenador básico consiste en un ensanchamiento del canal, de forma que ante un mismo caudal, si aumenta el área, disminuye la velocidad del agua. Para eliminar las arenas se alcanza una velocidad de 0,3 m/s, por debajo del límite de sedimentación de las arenas, pero por encima del límite de sedimentación de la materia orgánica [11]. (Figura 5)



Figura 5. Desarenador (<http://alojamientos.us.es/grupotar/master/formacion/edar/>)

- *Desengrasador*: Se encarga de la eliminación del aceite, ya que éste dificulta el paso del aire a través del agua. El proceso de eliminación consiste en la desemulsión de las grasas mediante aireación, permitiendo su ascenso a la superficie y su subsecuente retirada por vertido o rascado. (Figura 6)



Figura 6. Detalle grasas y aceites (<http://alojamientos.us.es/grupotar/master/formacion/edar/>)

- *Depósitos de homogeneización*: Se encargan de homogeneizar el caudal y la carga contaminante. Dicha homogeneización es importante para mejorar la efectividad de los procesos de tratamiento situados a continuación. Consta de sistemas de mezclado (para evitar la deposición de los sólidos) y sistemas de aireado (para evitar que las aguas se vuelvan sépticas por la falta de oxígeno). La homogeneización puede ser en línea, para homogeneizar tanto el caudal como las cargas contaminantes, o en derivación, en la que sólo se hace pasar por el tanque de homogeneización el caudal que excede de un límite prefijado.

5.1.2.El tratamiento primario

Tras la etapa anterior, el agua que queda en el tanque es sometida a un tratamiento primario, en el que por medios físicos o físico-químicos se separan los sólidos en suspensión (en adelante SS) no retenidos en el pretratamiento, junto con parte de materia orgánica que acompaña a estos sólidos.

La decantación es un proceso físico imprescindible en el tratamiento primario. Es en el decantador donde, por acción de la gravedad, los SS cuya velocidad de caída es superior a la velocidad ascensional del agua se depositan en el fondo, de forma que son separados fácilmente del agua residual que queda en la parte superior.

Los decantadores pueden ser estáticos (cuando el caudal es pequeño) o dinámicos, que emplean elementos electromecánicos que conducen el fango decantado a su punto de recogida (Figura 7).

Es tras esta fase de decantación donde se generan los fangos primarios, que están compuestos principalmente por sólidos suspendidos y materia orgánica no degradada, y que serán tratados en la línea de fangos posteriormente.



Figura 7. Decantador primario (<http://alojamientos.us.es/grupotar/master/formacion/edar>)

En ocasiones es necesario, como etapa previa a la sedimentación, un tratamiento físico-químico que incluya la coagulación-floculación para que puedan aglomerarse y sedimentar más fácilmente.

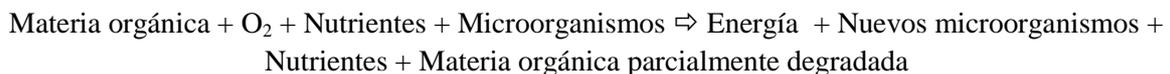
El tratamiento físico-químico consta de dos etapas:

- La coagulación consiste en neutralizar las cargas negativas de las partículas coloidales añadiendo al tanque compuestos catiónicos (coagulantes) tales como el FeCl_3 o AlCl_3 . De esta forma se forman microflóculos, que ya no son tan estables. En esta etapa se han de controlar factores como el tipo y cantidad de coagulante, el pH del agua, el tiempo, la fuerza de agitación y la temperatura.
- La floculación consiste en la adición de un floculante, de naturaleza polimérica que agrupa los microflóculos y forma agregados de mayor tamaño, peso y cohesión. Los agregados formados decantan en un decantador de tipo lamelar.

5.1.3.El tratamiento secundario

El agua procedente del decantador primario, entra en un reactor biológico y, tras un tiempo de residencia en contacto con microorganismos, el licor de mezcla sale del reactor hacia otro decantador, conocido como el decantador secundario. Ambas etapas reciben el nombre de tratamiento secundario. El objetivo fundamental de este tratamiento biológico (o tratamiento secundario) es eliminar la materia orgánica biodegradable (DBO_5) contenida en el agua por medio de microorganismos. La base de la depuración biológica es la capacidad que poseen los microorganismos para degradar, parcial o totalmente, la materia orgánica. El proceso se lleva a cabo en presencia de oxígeno, es decir, de forma aerobia, aunque en algunos casos, puede incluirse una etapa anaerobia previa.

El principio de funcionamiento del proceso aerobio consiste en que los microorganismos, en presencia de oxígeno y nutrientes (nitrógeno, fósforo...) degradan la materia orgánica contenida en el agua residual. Como consecuencia se generan nuevas células, energía y materia orgánica parcialmente degradada. La reacción que tiene lugar es la siguiente:



Existen varios tipos de tratamientos biológicos. El más importante el proceso de fangos activos, seguido de los lechos bacterianos y los biodiscos. En pequeñas poblaciones pueden implantarse sistemas de depuración de bajo coste, como el lagunaje, los filtros verdes o los lechos de turba.

A continuación se comentan los principales procesos de depuración:

- *Fangos Activos*: En este proceso el agua procedente del decantador primario entra en un reactor que contiene el licor de mezcla (microorganismos + agua residual). Al ser un proceso aerobio, debe introducirse aire por medio de difusores o de aireadores mecánicos, que sirven tanto para airear como para homogeneizar el licor de mezcla.

Tras un determinado tiempo de residencia en el reactor, parte del licor de mezcla pasa al decantador secundario, donde se separa el agua depurada de los fangos. Estos fangos denominados secundarios están formados por materia orgánica parcialmente degradada. Para mantener la concentración de microorganismos en el reactor, una parte de los fangos es recirculada, el resto pasa a la línea de fangos (Figura 8).

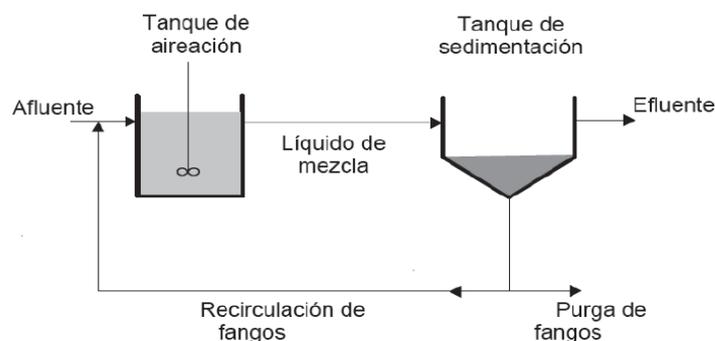


Figura 8. Esquema de fangos activos (27)

- *Lechos Bacterianos*: El agua a tratar se pulveriza sobre un material de polimérico, en el cual están adheridos los microorganismos (Figura 9). De este modo, al entrar en contacto con el agua residual, los microorganismos degradan la materia orgánica. Al tratarse de un proceso aerobio, el lecho también necesita aireación, la cual se efectúa por tiro natural. En este caso no se recirculan los fangos, puesto que los microorganismos están adheridos al lecho.



Figura 9. Lechos bacterianos (www.emasa.es)

- *Biodiscos*: En este proceso de digestión se pasa el agua horizontalmente a través de un tanque compuesto por discos que están alineados y girando sobre un eje (Figura 10). Sobre estos discos están adheridos los microorganismos. Los biodiscos se encuentran parcialmente sumergidos en el agua residual, de forma que al girar sobre el eje alternan el contacto con el agua y con el aire.



Figura 10. Biodiscos (www.egevasa.es)

5.1.4.El tratamiento terciario

El objetivo del tratamiento terciario es eliminar contaminantes específicos del agua tales como, la materia orgánica no biodegradable, o nutrientes. Sólo se emplea cuando el agua va a ser reutilizada o contiene algún componente especialmente peligroso. Entre los tratamientos terciarios destacan:

- *Tratamientos para la eliminación de nutrientes, desnitrificación:* en el caso de que la depuradora vierta su efluente a una zona calificada como sensible, y no pueda contener grandes concentraciones de Nitrógeno o Fósforo.

- *Adsorción,* este proceso elimina la materia orgánica no biodegradable que está disuelta en el agua. La materia orgánica se adsorbe sobre la superficie, compuesta bien por carbón activo, gel de sílice, alúmina, resinas orgánicas, etc.

- *Intercambio iónico:* Las resinas de intercambio iónico se aplican en aguas de cierta calidad, cuando se pretende obtener agua de gran pureza. Pueden ser intercambiadores catiónicos o aniónicos o mixtos.

- *Ultrafiltración y Microfiltración:* Son membranas porosas que separan moléculas de gran tamaño y macromoléculas presentes en el agua, filtrando las partículas según el tamaño del poro.

- *Ósmosis inversa y Nanofiltración:* Permiten desmineralizar el agua. La presión es la fuerza impulsora. Al aplicar un gradiente de presión al alimento, se obtienen dos corrientes, la que pasa a través de la membrana con menor contenido en soluto y la que queda retenida.

- *Electrodialisis:* Sistema de desmineralización donde se le aplica al agua a tratar un potencial eléctrico con el fin de obtener un agua depurada y otra concentrada en iones.

- *Oxidación avanzada:* Se aplica para la eliminación de materia no biodegradable, como por ejemplo fenoles o plaguicidas, que son contaminantes para el cauce receptor del agua. El proceso se basa en el uso de compuestos muy oxidantes capaces de descomponer las moléculas en CO₂ y H₂O o transformarlas en otros compuestos menos peligrosos. Algunos de estos oxidantes son: O₃, H₂O₂ o la combinación de ozono y radiación ultravioleta, entre otros.

- *Desinfección:* Es la eliminación de organismos patógenos del agua, ya sea por filtración o por destrucción de los gérmenes. Para la filtración se emplean los procesos de ultrafiltración y microfiltración, mientras que para destruirlos pueden emplearse compuestos químicos. Se destruyen los gérmenes al aplicar altas temperaturas o radiación ultravioleta. Mientras que los medios químicos de destrucción de gérmenes consisten en la aplicación de ozono o cloro.

Tras aplicar estos tratamientos en la línea de agua, se obtiene agua depurada, de mayor o menor calidad, en función de los procesos aplicados, y que será vertida al cauce receptor. Por otro lado, los contaminantes retenidos y/o eliminados pasan al fango y tendrán que ser tratados para su disposición final.

5.2. Línea de Fangos

Los fangos procedentes de los decantadores primarios y secundarios de la EDAR son fangos muy reactivos debido a la materia orgánica que contienen, y son extremadamente líquidos (el fango primario contiene aproximadamente 1,5% de materia seca, mientras que el secundario sólo el 0,5%) [11]. La materia orgánica que contienen hace que, si no se tratan adecuadamente, entren fácilmente en descomposición generando malos olores.

El objetivo del tratamiento de fangos es por un lado reducir su volumen, y por otro, reducir su poder de fermentación, es decir, disminuir la concentración de materia orgánica para evitar reacciones de descomposición incontroladas. Para ello:

- Se reduce el agua presente para disminuir su volumen y hacerlos más manejables
- Se estabiliza la materia orgánica para evitar problemas de fermentación y putrefacción
- Se consigue la textura adecuada para un fácil manejo y transporte

Finalmente el fango puede ser gestionado como residuo sólido urbano, como fuente de energía (incineración), o bien ser reutilizado como abono en la agricultura o llevado a un vertedero controlado si se clasifica como residuo no apto para la agricultura.

Existen varias alternativas en cuanto a los procesos a los que se pueden someter los fangos, que irán en función de su composición, del tipo de agua residual del que proviene, del coste que supone y del destino final del fango.

Los procesos que se pueden emplear en el tratamiento y gestión de fangos en una EDAR son (Figura 11):

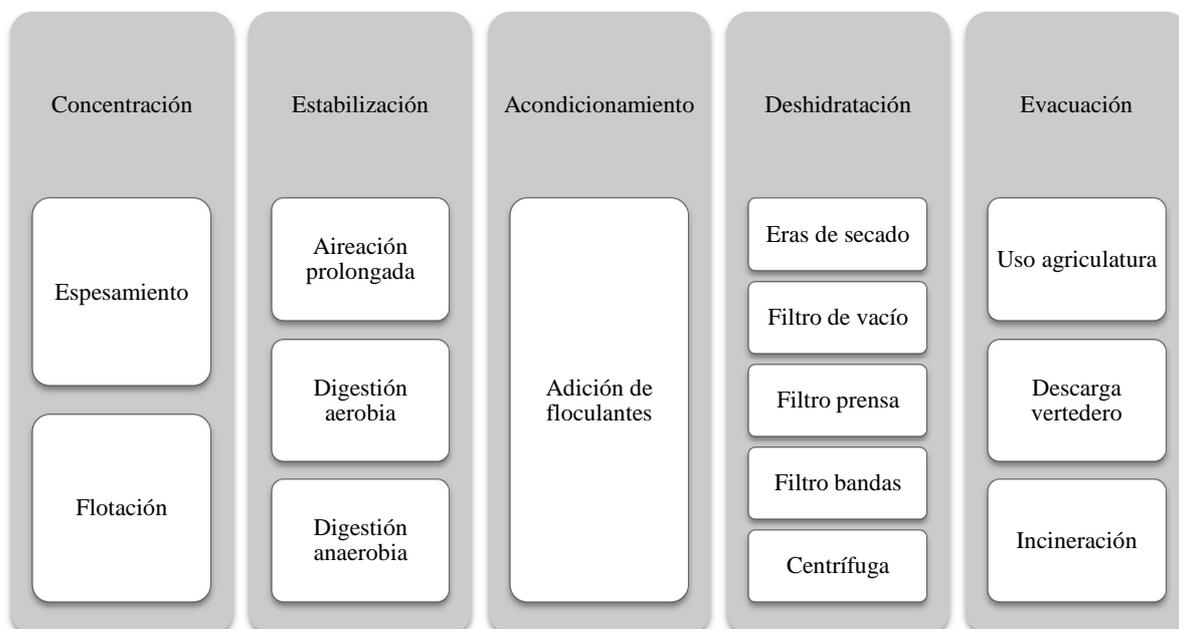


Figura 11. Etapas de la línea de fangos

5.2.1. Concentración

La **concentración** del fango sirve para eliminar parte de la fracción líquida, aumentando así la proporción de sólidos y reduciendo el volumen del fango.

La reducción del volumen de fango resulta beneficiosa para las siguientes etapas del tratamiento desde los siguientes puntos de vista:

- Se puede disminuir la capacidad de tanques y equipos necesarios.
- Se necesita menor cantidad de reactivos químicos para el acondicionamiento del fango.
- La cantidad de calor necesario para los digestores y la cantidad de combustible auxiliar necesario para el secado o incineración también disminuye.

Los métodos principales para la concentración de fangos son el espesamiento y la flotación:

- *Espesador por gravedad.*

El fango se introduce en un espesador por gravedad, que es un sedimentador en el que, con un tiempo de residencia de 1 ó 2 días, se concentra el fango en la parte inferior debido a que su densidad es mayor que la del agua.

Tal y como se muestra en la figura 12, el espesador es una cuba cilíndrica, normalmente cubierta para evitar la proliferación de malos olores, con fondo cónico. Dispone de unas rasquetas que van empujando los fangos sedimentados hacia la zona central para su posterior evacuación (Figura 13).

Este tipo de espesador se emplea, en las grandes depuradoras, para los fangos primarios, de forma que pueden pasar de una concentración del 1.5% hasta el 5-6% tras esta etapa [12].



Figura 12. Espesador de fangos. (<https://cadcamcae.wordpress.com/tag/espesador-de-fangos/>)

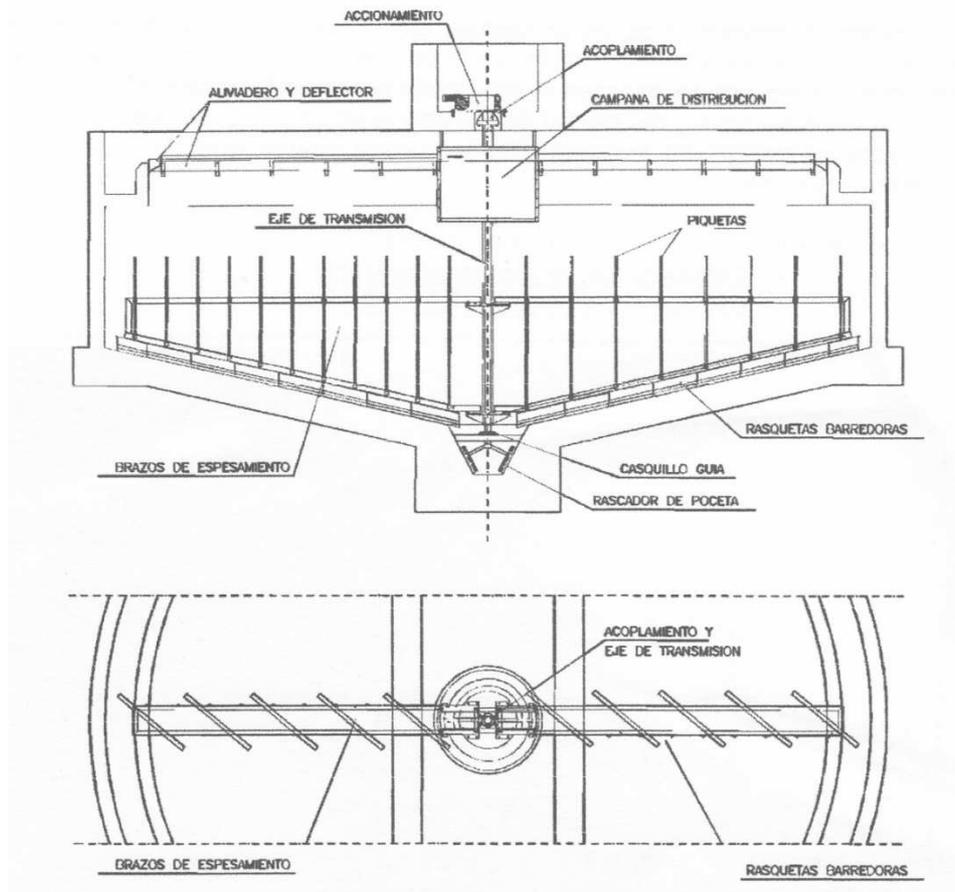


Figura 13. Esquema de un espesador por gravedad

- *Flotador.*

Se emplea en las grandes depuradoras para separar la fase sólida de la líquida y concentrar los fangos en la parte superior del tanque debido a que su densidad es menor que la del agua. El flotador consigue aumentar la concentración de sólidos de un 0,5-1% hasta un 3-5% [12]. La recogida de los fangos concentrados se realiza por la parte superior del flotador.

Se aplica a fangos muy ligeros, generalmente los fangos procedentes del decantador secundario, y está dirigida a la separación de materias insolubles menos densas que el agua (aceite y grasas), materias finas dispersas (emulsiones y pinturas), materias hidrófobas (látex, azufre), materias fibrosas, precipitados de coloidales y fangos secundarios.

La técnica de flotación más adecuada para la concentración de los fangos secundarios es la *flotación por aire disuelto*. Esta técnica se basa en la disminución artificial de la densidad del fango. Consiste en aumentar la solubilidad del aire en el agua aumentando la presión (3-4 atm). De esta forma, cuando se envía el agua al tanque, la presión disminuye hasta la presión atmosférica. El aire, que estaba disuelto, se libera en forma de burbujas, que arrastran los sólidos suspendidos hasta la superficie, donde se van concentrando. Por medio de una rasqueta se barre el manto de fango formado sobre la superficie, tal y como muestra las figuras 14 y 15.



Figura 14. Flotación de fangos. (www.cursosmedioambiente.es)

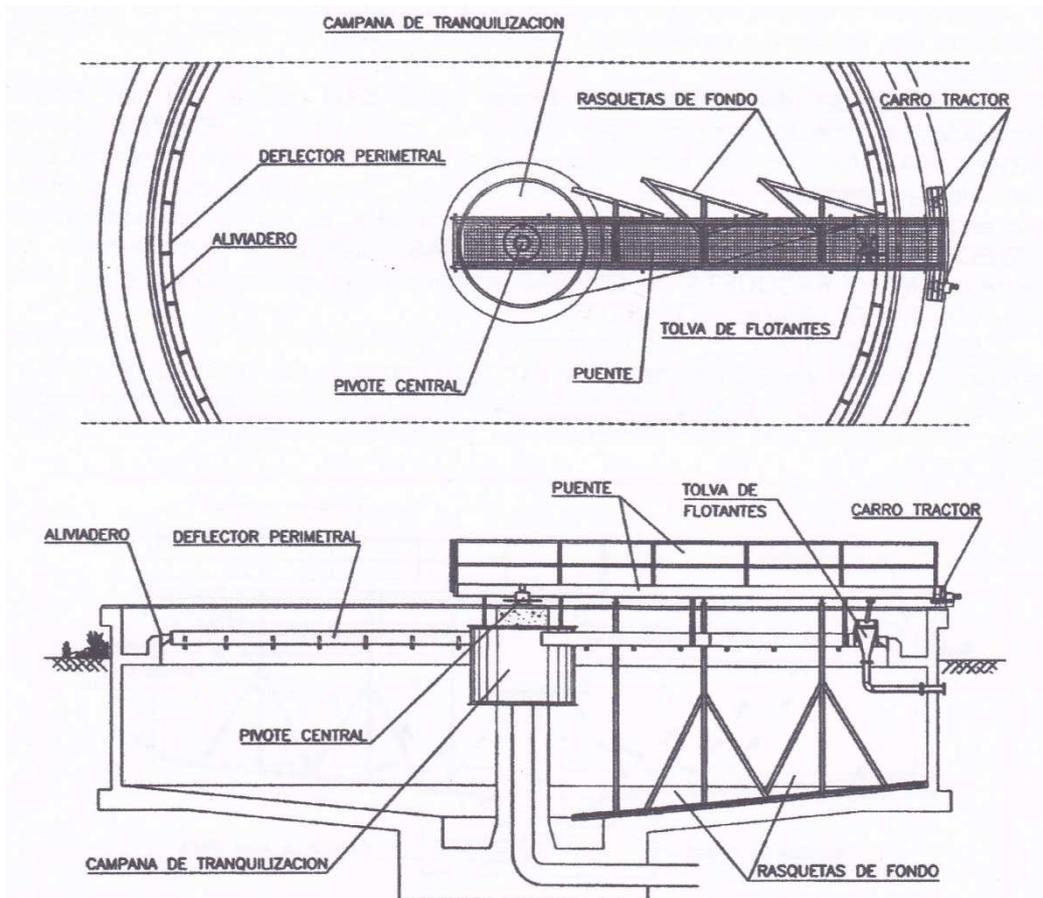


Figura 15. Flotador de fangos circular

Existen dos posibles configuraciones para el flotador. Sistema con recirculación o sin recirculación [9].

- Sistema sin recirculación: Todo el caudal del fango a tratar es bombeado hacia el depósito presurizado donde se disuelve el aire y posteriormente entra en el flotador, de donde se extrae por la parte superior el fango concentrado y por la parte inferior el licor de fango, que será reconducido a la cabecera de la línea de aguas. (Figura 16).

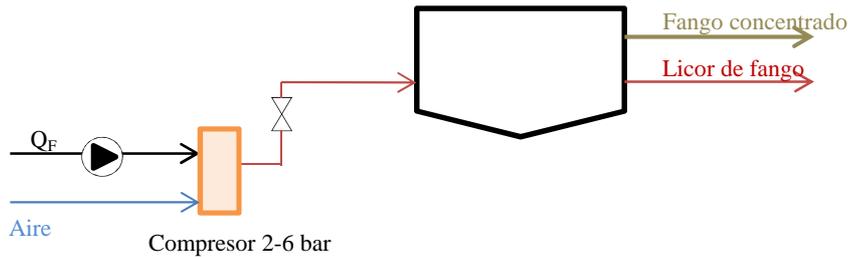


Figura 16. Esquema de un flotador sin recirculación

- Sistema con recirculación: El fango diluido entra en el flotador. Una parte del licor de fango es devuelta a la línea de aguas, mientras que la otra parte se recircula de nuevo al flotador, pasando por el depósito de presurización donde se pone en contacto con el aire inyectado. A continuación pasa por la válvula de expansión y se mezcla con la corriente de fango que entra directamente al flotador. Puesto que la corriente que se somete a presión (licor de fango) tiene menor concentración de sólidos que el fango, esto permite una mayor duración de los elementos del sistema, y de esta forma, además, se evita la rotura de los flóculos formados en el fango, al no estar éstos sometidos a presión (Figura 17).

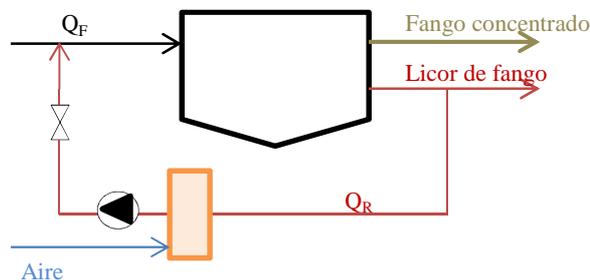


Figura 17. Esquema de flotación con recirculación

Tanto los fangos primarios como los secundarios son bombeados a una cámara de mezcla, donde se agitan hasta quedar completamente mezclados, constituyendo lo que se conoce como fango mixto.

5.2.2. Estabilización

La **estabilización** o digestión es la siguiente etapa en el tratamiento de fangos. Esta etapa es necesaria puesto que los fangos sin estabilizar generan en poco tiempo olores debido a la descomposición de la materia orgánica fresca, lo cual supone un riesgo de proliferación de bacterias infecciosas. Así, los objetivos de la digestión son:

- Eliminar la materia orgánica rápidamente biodegradable contenida en los fangos.
- Reducir patógenos.
- Eliminar olores desagradables.

Los sistemas de estabilización de los fangos son variados, y se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Estabilización química: Consiste en la adición de cal para elevar el pH del fango de forma que los microorganismos no puedan sobrevivir. Esta estabilización es temporal, y no suele emplearse en grandes depuradoras.
- b) Estabilización térmica: Puede ser por medio del secado térmico o por medio de la incineración, que elimina tanto la materia orgánica como toda el agua destruyendo patógenos y dejando únicamente cenizas.
- c) Estabilización biológica: Se lleva a cabo mediante reacciones metabólicas de microorganismos. Esto puede ocurrir en presencia de oxígeno (aerobio) o en ausencia total de O_2 (anaerobio). El tipo de estabilización biológica de los fangos va a depender del tamaño de la depuradora:
 - Plantas con una capacidad inferior a 20.000 habitantes equivalentes (en adelante h.e.) emplean un proceso de aireación prolongada.
 - Entre 20.000-50.000 h.e., la digestión es aerobia.
 - Para poblaciones superiores a 50.000 h.e. tiene lugar la digestión anaerobia.

Con la aireación prolongada del reactor biológico, alargando el tiempo de residencia ($t > 24$ horas) y manteniendo una carga másica muy pequeña (0,05 Kg DBO₅/Kg SSLM·d) se consiguen condiciones de respiración endógenas. Puesto que no hay alimento suficiente para los microorganismos, éstos se alimentan primero de sus propias reservas y posteriormente de otros microorganismos, de forma que el fango es consumido por respiración endógena. Por este motivo, la producción neta de fangos tras el proceso de aireación prolongada es mínima, y no precisan un tratamiento de digestión posterior.

En la digestión aerobia participan bacterias aerobias que consumen la materia orgánica contenida en el fango. Los fangos primarios y secundarios se introducen en un digestor aireado y agitado durante un periodo largo de tiempo, entre 10-20 días. Cuando la aportación de sustrato disponible (alimento) se agota, los microorganismos consumen su propio protoplasma con el fin de obtener la energía necesaria para llevar a cabo las reacciones metabólicas.

Se trata de un proceso exotérmico, de forma que la oxidación del tejido celular genera como productos: agua, anhídrido carbónico y amoníaco, que posteriormente se oxidará a nitrato, además de productos inorgánicos estables.

Es un proceso relativamente sencillo con bajo coste de instalación, pero con un elevado coste energético al mantener el fango continuamente aireado, por eso se limita a poblaciones inferiores a 100.000 h.e.

La digestión anaerobia es uno de los procesos más extendidos y utilizados en la estabilización de fangos. Consiste en la descomposición de la materia orgánica contenida en el fango en ausencia total de O_2 , mediante la acción de microorganismos generando un lodo estabilizado y además, con la producción de biogás.

Es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar, como por la cantidad de bacterias involucradas. Transcurre en varias etapas en las que, las bacterias anaerobias descomponen sustancias de altos pesos moleculares y las transforman en CH_4 y CO_2 .

Las fases de la digestión anaerobia son:

- *Fase de hidrólisis:*

La digestión anaerobia comienza con la hidrólisis de la materia orgánica. En esta fase las enzimas producidas por las bacterias hidrolíticas descomponen las moléculas de alto peso molecular (tales como lípidos, proteínas e hidratos de carbono). Tras esta descomposición se forman compuestos más simples, que estarán disponibles para los microorganismos ya que éstos únicamente pueden utilizar materia orgánica soluble.

La etapa hidrolítica puede ser el proceso limitante de la velocidad global de la digestión, sobre todo cuando se trata de residuos con alto contenido en sólidos. Además, la hidrólisis depende de la temperatura del proceso, del tiempo de retención hidráulico, de la composición del sustrato, del tamaño de partículas, del pH, de la concentración de NH_4^+ y de la concentración de los productos de la hidrólisis.

- *Fase de acidificación:*

En esta etapa, también llamada acidogénesis, las bacterias anaerobias facultativas y las estrictas transforman las moléculas orgánicas solubles (formadas en la primera fase) en compuestos orgánicos de menor peso molecular: alcoholes, H_2 , CO_2 y ácidos grasos de cadena corta (como por ejemplo acético y butírico).

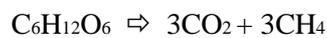
▪ *Fase acetógena o acetogénesis:*

Mientras que algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos (como el H₂ y el ácido acético), otros, como el etanol o los ácidos grasos volátiles deben ser transformados en productos más sencillos.

En esta tercera fase las bacterias acetogénicas convierten los ácidos y alcoholes formados en la fase anterior en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono.

▪ *Fase metanógena:*

Los microorganismos metanogénicos completan el proceso de digestión anaerobia mediante la formación de dióxido de carbono a partir del ácido acético y ácido fórmico, y la formación de metano a partir del H₂ y CO₂. La ecuación simplificada del proceso es:



En la Figura 18 se muestra un esquema de las fases del proceso de digestión anaerobia, así como los productos intermedios generados:

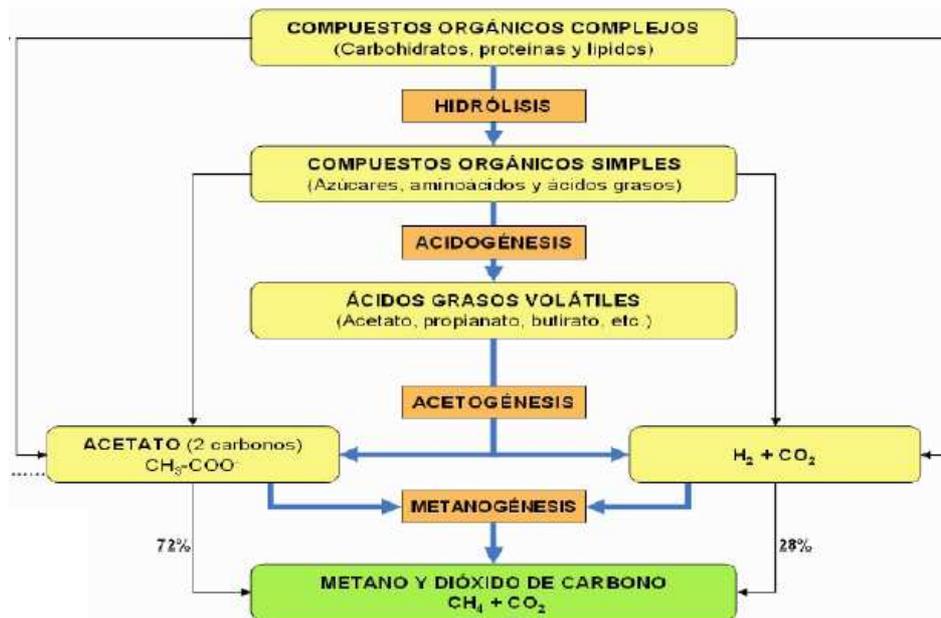


Figura 18. Fases de la digestión anaerobia [13]

La digestión anaerobia puede llevarse a cabo a temperatura ambiente, en poblaciones muy pequeñas (inferiores a 1.000 h.e.). No obstante, lo habitual en las depuradoras de más de 50.000 h.e. es la digestión mesófila, con un rango de temperaturas entre 30–40°C. En estas condiciones, es necesario un tiempo de retención de entre 22-25 días para eliminar el 50% de la materia orgánica, valor que fluctúa dependiendo de las características del fango y las condiciones de operación [1].

Existen determinados parámetros que limitan la digestión anaerobia:

- La temperatura de operación en el digester, está considerada como uno de los principales parámetros de diseño, ya que variaciones bruscas de temperatura en el mismo, pueden provocar desestabilización en el proceso. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión dando lugar a mayor producción de biogás. No obstante, demasiada temperatura conlleva un elevado coste energético.

Se distinguen dos rangos de temperatura, el rango *mesófilo* (entre 25 y 45°C) y *termófilo* (entre 45 y 65°C). El rango mesófilo es el más utilizado a pesar de que cada vez más se está utilizando también el termófilo para conseguir una mayor velocidad del proceso y una mejor eliminación de organismos patógenos. Sin embargo, el rango termófilo suele ser más inestable a cualquier cambio en las condiciones de operación y presenta además mayores problemas de inhibición del proceso por la sensibilidad a algunos compuestos, como el amoníaco [13].

- Ausencia total de Oxígeno. El oxígeno mata a las bacterias anaerobias. Por este motivo, el tanque de digestión debe estar cerrado.
- Se requiere una mínima cantidad de nutrientes como el Nitrógeno o el Fósforo para asegurar el crecimiento de los microorganismos. El carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de alimento de las bacterias formadoras de metano. Por tanto, la relación Carbono/Nitrógeno (C/N) tiene una gran importancia para el proceso fermentativo recomendándose un ratio 20-30 como el óptimo.
- El pH óptimo está comprendido entre 6,8 – 7,5. El valor del pH en el digester no solo determina la producción de biogás, sino también su composición. Un pH inferior a 6 produciría que el biogás generado fuera muy pobre en metano y por tanto con menores cualidades energéticas.
- Ausencia de compuestos tóxicos para las bacterias metanógenas, como son los iones metálicos pesados o los compuestos organoclorados.

El fango estabilizado que se extrae del digester tiene un bajo contenido en materia orgánica y patógena, y no es putrescible. Además del fango estabilizado, se obtiene biogás, constituido aproximadamente por un 70% de metano, 30% de dióxido de carbono y pequeños porcentajes de NH₃, H₂S y CO. Estos porcentajes varían en función de las características del fango a digerir.

Las principales ventajas de la digestión anaerobia de fangos son:

- Reduce entre un 25-40% la materia sólida
- Produce biogás valorizable
- Reduce la cantidad de microorganismos patógenos
- Supone una estabilización de larga duración [14]

5.2.3. Deshidratación

Con la **deshidratación** se reduce el volumen del fango estabilizado, mediante la eliminación del agua tipo “capilar”, que se encuentra ocupando los poros de los flóculos. Existen diversos métodos para deshidratar el fango, pueden ser naturales y mecánicos. Los primeros consisten en un secado por evaporación, que suele emplearse en pequeñas depuradoras, mientras que la deshidratación mecánica consiste fundamentalmente en filtros tipo bandas o tipo prensa, filtros de vacío y centrífugas. Este tipo de agua es más difícil de eliminar, lo que hace necesario un acondicionamiento previo del fango mediante polielectrolitos.

- Las eras de secado

Consisten en un lecho de arena y grava de paredes impermeables y con fondo drenado, sobre el cual se depositan los lodos al aire libre. Véase Figura 19. El agua es eliminada por evaporación y a la vez por drenaje, recirculándose el agua filtrada a la línea de aguas.

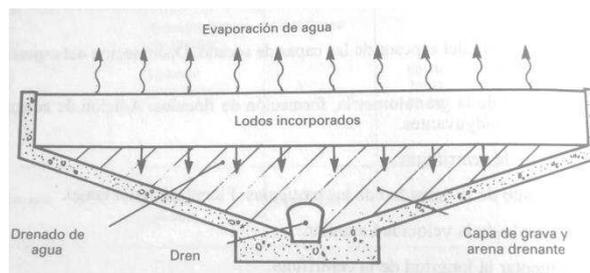


Figura 19. Era de secado (Aurelio Hernández)

De esta manera se extrae un lodo con una concentración de materia seca en torno al 50%, dependiendo de las características del lodo, el contenido inicial de materia seca, las condiciones climáticas, el espesor de la capa de fangos y la naturaleza del material drenante. Se obtiene un fango seco sin olor apreciable, de textura basta, agrietada y de color marrón oscuro, tal como puede apreciarse en la Figura 20. No obstante, este método solo es aplicable para fangos muy estabilizados y en poblaciones de menos de 30.000 habitantes, debido al coste de mano de obra y la inversión de terreno.



Figura 20. Era de secado (<https://chinndelacruz1.wordpress.com/tag/puno/>)

- Los filtros de vacío

El más usado es el filtro rotativo de tambor. La superficie de dicho tambor cilíndrico constituye la superficie de filtración. Suele ser una malla metálica sobre la que se coloca el material filtrante adecuado. El fango llega continuamente al depósito inferior, en el que se sumerge parcialmente el tambor rotatorio (Figura 21). Simultáneamente llega una corriente de aire para mantenerlo en buen estado de agitación y que la disposición de la torta filtrante sea uniforme.

Al generarse el vacío, el líquido es aspirado y la torta de fango queda retenida sobre el filtro. Se obtienen lodos con una humedad en torno al 70%. Se emplea únicamente en estaciones depuradoras de aguas residuales industriales, no urbanas.

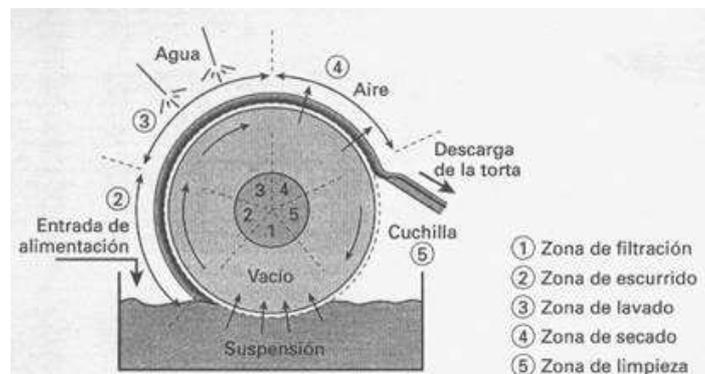


Figura 21. Filtro rotativo de tambor. (<http://procesosbio.wikispaces.com/Filtración>)

- Los filtros prensa

Están formados por una serie de placas dispuestas paralelamente y recubiertas por telas filtrantes, además de una cabeza móvil que ejerce la presión entre las placas, y otras fija por donde se bombea el fango, tal y como se puede apreciar en la figura 22.

Cuando se ejerce presión sobre las placas éstas comprimen de forma que se filtra el agua a través de los orificios de drenaje previstos en el interior de las placas y queda la torta de fango concentrado en el interior de las placas. Se trata de un proceso discontinuo, pues hay que bombear el fango, esperar a que se filtre, eliminar la torta y volver a bombear. Con este método de deshidratación se llega a conseguir un fango con una humedad del 50%, un líquido filtrado muy clarificado y bajo consumo de productos químicos.

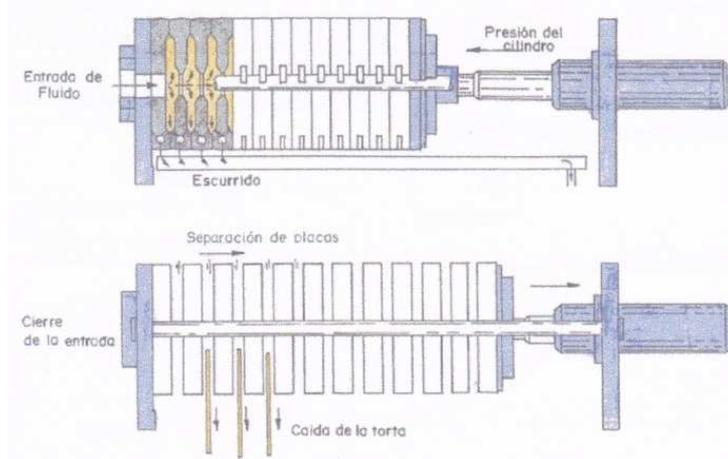


Figura 22. Filtro prensa (<http://hidrometalica.com/filtros-de-prensa/>)

- Los filtros de bandas

Son dispositivos de deshidratación que siguen tres pasos: acondicionamiento químico, drenaje por gravedad y aplicación mecánica de presión. Su funcionamiento se ilustra en la figura 23. En primer lugar se adiciona un floculante (polielectrolito) al fango, posteriormente se introduce en una zona de drenaje por gravedad, donde la deshidratación ocurre únicamente por acción de la gravedad, alcanzando un porcentaje de materia seca, en este punto, entre el 6 y el 10%. A continuación, pasa entre dos cintas de tela sinfín que son conducidas por varios rodillos. El fango es sometido a presiones crecientes debido a la acción de los rodillos, de forma que, el agua que expulsa el fango atraviesa las bandas quedando el fango deshidratado retenido entre ellas. El grado de deshidratación depende de las características del lodo y de las características del equipo, llegándose a obtener fangos con porcentaje de materia seca en torno al 25%. Estos equipos requieren un elevado caudal de agua de lavado para limpiar el fango que queda pegado a las bandas.

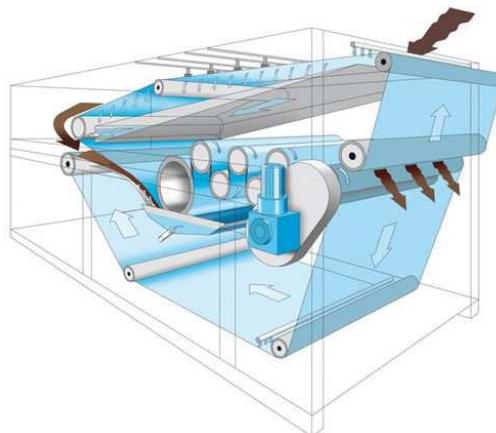


Figura 23. Filtro banda (<http://filtrosbandamuddy.com>)

- La centrifugación

Es el método más eficaz de deshidratación del fango. Se emplea tanto para concentrar como para deshidratar fangos. Si la concentración se realiza en una centrífuga, no hace falta la etapa posterior de deshidratación, siempre y cuando la estabilización se lleve a cabo por medio de la incineración.

Se basa en la acción centrípeta para la separación sólido-líquido por diferencia de densidades. Es un sistema cerrado que consta de un rotor cilíndrico-cónico horizontal con un tornillo sinfín girando en el mismo sentido, pero con velocidad distinta para permitir el arrastre de los fangos hacia el punto de evacuación (en torno a 3.000 rpm).

Debido a la fuerza centrífuga, las partículas de fango son lanzadas a la periferia del rotor quedando el agua en la zona interior. Tal y como ilustra la figura 24, el tornillo sinfín arrastra el fango hasta la zona de evacuación y el agua extraída es reincorporada a la línea de aguas. Si el agua y la torta salen por el mismo extremo de la máquina, se trata de una centrifugación concurrente, en caso contrario, es de tipo contracorriente.

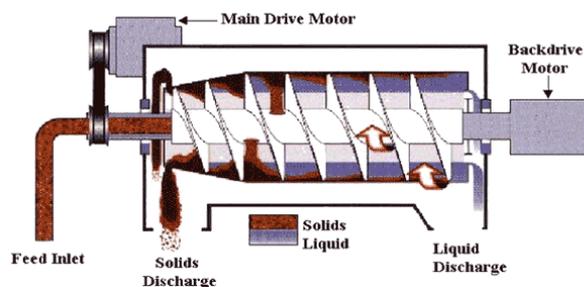


Figura 24. Ejemplo de centrífugadora a contracorriente (<http://www.hutch-hayes.com/>)

Tanto de las operaciones de concentración como deshidratación de fangos, se obtienen las corrientes de agua que han sido separadas del fango, conocidas generalmente como licor de fango o sobrenadantes. Estas corrientes se bombean a la cabeza de la depuradora, aportando una carga adicional a la misma, que hay que tener en cuenta a la hora de analizar y diseñar una EDAR.

5.2.4. Acondicionamiento

El **acondicionamiento** es necesario puesto que los fangos contenidos en las aguas residuales urbanas y de gran parte de las industriales presentan una estructura coloidal que dificulta su filtrado.

El objetivo de esta etapa es favorecer la deshidratación del fango. Normalmente se realiza un acondicionamiento de tipo químico, de forma que se añaden al fango, como paso previo a la deshidratación, polielectrolitos que rompen la estructura coloidal y forman una granular, que facilitará la deshidratación por filtración. Se estima que han de añadirse entre 4 y 5 kg de polielectrolito por cada tonelada de materia seca de fango [12].

5.2.5. Tratamiento térmico

Por último, los **tratamientos térmicos del fango** aumentan la sequedad del fango de forma que se reduce considerablemente su volumen.

Para el secado de fangos se puede recurrir al secado térmico o a la incineración de los mismos, aunque esta última no goza de gran popularidad debido a las emisiones que genera.

- *El Secado Térmico*

El secado térmico se aplica cuando no se puede reducir más la humedad de los fangos por medios mecánicos. Consiste en la aplicación de una fuente de calor para evaporar el agua y así reducir la humedad del fango hasta el 10%.

Por tanto, una de las motivaciones principales del secado térmico es la de la reducción del volumen y peso del fango producido, reduciendo así los costes ligados a los tratamientos posteriores, desde el transporte al vertedero hasta su almacenamiento para cualquier otro destino [15].

Se encuentra en plantas de gran tamaño (a partir de 100.000 habitantes) con una capacidad de evaporación del agua del fango de 1000 L/h.

Existen dos tipos de secadores, de convección y de contacto:

En el secado por **convección**, un gas caliente transmite directamente el calor a la materia a secar, es decir, está en contacto directo con el fango. Se trata de un sistema “directo” de secado (Figura 25).

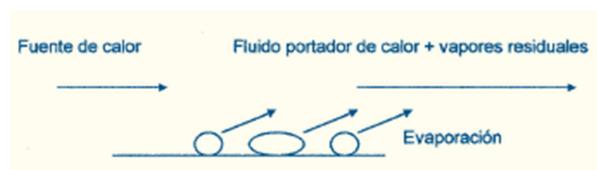


Figura 25. Esquema de funcionamiento del secado por convección [16]

En los secadores por **contacto** el fango es calentado por contacto con una superficie caliente (secado indirecto) calentada a su vez por medio de vapor o aceite térmico (Figura 26).

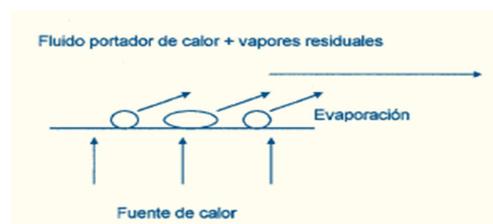


Figura 26. Esquema de funcionamiento del secado por contacto [16]

Algunos ejemplos de secado directo son:

- Secado de tambor rotativo: Se compone de un trómel, un aparato cilíndrico con una ligera inclinación que permite el avance del fango en el interior del tambor rotativo, y la caída progresiva del residuo según se va secando. El aire caliente se introduce dentro del tambor, ya sea en el mismo sentido o en sentido opuesto del material orgánico. La temperatura de secado es variable, los gases pueden alcanzar hasta 730 °C, aunque los fangos adquieren temperaturas entre 250 y 400 °C [16].

- Secado por banda: Se basa en el secado de productos a baja temperatura (55 – 70 °C) en un túnel continuo, por lo que también es conocido como secado a baja temperatura. El fango se introduce previamente en un granulador para aumentar la superficie de intercambio. A continuación se deposita el fango sobre cintas transportadoras y se inyecta una corriente de aire caliente paralela o perpendicular a su sentido de desplazamiento.

- Secado de lecho fluidizado: Permite un mayor intercambio de calor, ya que el fango “flota” en una corriente de aire. Está formado por dos compartimentos separados por una placa de fluidificación, que facilita el flujo del material, y sobre la cual se dispone el fango. El gas caliente se inyecta por la parte baja. La fluidización permite que el producto circule de forma continua a través del lecho y desborde por el otro extremo.

El ejemplo más común de secado indirecto es:

- Secado por discos: Los secadores de discos disponen de un estator cilíndrico horizontal de doble pared y un rotor tubular a lo largo de cual están fijados unos discos huecos. El fluido portador de calor circula a través de la doble pared del estator y del árbol y discos del rotor [15].
 - La incineración

La incineración es el proceso que más disminuye el volumen del fango. Se trata de un proceso de estabilización no biológico (al contrario que la digestión aerobia y anaerobia) que no solo elimina totalmente el agua contenida en los fangos, si no que elimina la materia orgánica, obteniéndose un residuo final estable en forma de ceniza. Es importante remarcar que, dado que el poder calorífico de los fangos es proporcional a la cantidad de materia orgánica que contienen, los fangos que vayan a ser sometidos a una incineración no deberán pasar por la etapa de digestión.

No obstante, este proceso produce una elevada contaminación atmosférica por los gases que genera, de forma que debe contar con un sistema de depuración de los efluentes gaseosos.

Dependiendo del tipo de fango se requiere o no la adición de combustible: los fangos primarios y secundarios sin deshidratar requieren combustible como el fuel o el biogás, sin embargo, los fangos centrifugados son auto-combustibles.

5.2.6. Evacuación

Una vez tratados, el destino final de los lodos puede ser [17]:

- Reciclaje y valorización para su uso en la agricultura:

Los lodos pueden ser aplicados en los suelos agrícolas conforme a lo que establece el Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario.

Los fangos procedentes de una EDAR pueden emplearse en la agricultura como abono orgánico, esto supone la recuperación y reciclaje de los elementos fertilizantes (nitrógeno, potasio, fósforo...), de materia orgánica y de los micronutrientes que contienen dichos fangos.

La utilización de lodos de depuración en el sector agrario se regula con el Registro Nacional de Lodos que incluye la información que deben suministrar las instalaciones depuradoras, las instalaciones de tratamiento de lodos y los gestores que realizan la aplicación agrícola. La actualización de la información contenida en dicho Registro debe hacerse conforme a lo que establece la Orden AAA/1072/2013, de 7 de junio, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario.

- Destrucción térmica, como la incineración, con valorización energética.

Los fangos pueden ser incinerados en instalaciones de incineración de residuos o co-incinerados en cementeras conforme al Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

- Descarga en vertederos.

También pueden ser depositados en vertederos siempre que cumplan las condiciones que se establecen en el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

En la actualidad, según datos del Registro Nacional de Lodos, la mayoría de los fangos tienen como destino final su utilización agrícola (aproximadamente el 80% de los generados). Se ha logrado reducir en gran medida el depósito en vertedero (aproximadamente el 8% actualmente), y los lodos incinerados están en torno al 4%. Otro destino de menor importancia cuantitativa es el uso de los lodos en suelos no agrícolas [17].

5.3. Línea de gas

El biogás es una fuente de energía, cuyo principal componente es el metano. Se genera a partir de la descomposición biológica de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos anaerobios. Se puede obtener por procesos naturales o de forma controlada en un digestor anaerobio.

5.3.1. Composición del biogás

El biogás está constituido principalmente por gases, cuya proporción dependerá del fango digerido. La composición del biogás se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Composición química del biogás (29)

Metano, CH ₄	55-70%	
Dióxido de Carbono, CO ₂	27-45%	
Hidrógeno, H ₂	1- 10%	
Nitrógeno, N ₂	0,5% - 3%	
Ácido sulfhídrico, H ₂ S	< 0,1%	
Siloxanos, hidrocarburos halogenados, partículas y espumas	< 0,1%	

5.3.2. Producción

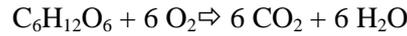
Se obtiene a partir de materias orgánicas o biológicas siempre que éstas puedan ser descompuestas por microorganismos.

La producción total de biogás se determina por la cantidad de alimento consumido por los microorganismos. Generalmente se expresa como la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Se trata de un parámetro conservativo, de modo que:

$$\sum DQO_{\text{entrada}} = DQO_{\text{efluente}} + DQO_{\text{biogás}}$$

Si se considera el biogás formado exclusivamente por CH₄ y CO₂, y teniendo en cuenta que la DQO del CO₂ es nula, la DQO eliminada se corresponde con la DQO obtenida en forma de metano.





$$DQO_{CH_4} = \frac{3 PM_{CH_4}}{6 PM_{O_2}} = \frac{48}{192} = 0,25 \frac{gCH_4}{gO_2}$$

En condiciones normales (1 atm, 0 °C), la producción de metano (en m³ de CH₄ por cada kg de DQO eliminada) se determina del siguiente modo:

Volumen en c.n.:

$$V = \frac{\text{mol}_{CH_4} \cdot R \cdot T}{P} = \frac{1 \text{ mol}_{CH_4} \cdot 0,082 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 273 \text{K}}{1 \text{ atm}} = 22,38 \frac{\text{L}}{\text{mol}_{CH_4}}$$

$$1 \text{ kg DQO} = \frac{0,25 \text{ kg}_{CH_4} \cdot 22,38 \frac{\text{L}}{\text{mol}_{CH_4}} \cdot \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ L}}}{\frac{1 \text{ kg}_{CH_4}}{1000 \text{ g}_{CH_4}} \cdot 16 \frac{\text{g}_{CH_4}}{\text{mol}_{CH_4}}} = 0,35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4$$

Lo cual significa que por cada kilogramo de DQO eliminada durante la digestión anaerobia, se producen 0,35 m³ de CH₄ en condiciones normales [18].

Puesto que el fango de una EDAR presenta una relación DQO/Materia orgánica eliminada entre 1,6 y 1,8, se producen aproximadamente entre 0,55 y 0,65 Nm³ de CH₄/kg MO_{eliminada}. [9]

$$0,35 \text{ m}^3 \text{ CH}_4 \cdot \frac{1,8 \text{ kg DQO}}{\text{kg MO eliminada}} = 0,63 \frac{\text{m}^3 \text{ CH}_4}{\text{kg MO eliminada}}$$

El metano tiene un poder calorífico inferior (PCI) de 8.500 kCal/Nm³. De modo que, un biogás con un contenido medio de 65% en metano, tendrá un PCI de 5.525 kCal/Nm³ ó 6,43 kWh/m³. [19]

$$65 \% \cdot 8500 \frac{\text{kCal}}{\text{m}^3 \text{ CH}_4} = 5525 \frac{\text{kCal}}{\text{m}^3 \text{ biogás}}$$

$$5525 \frac{\text{kCal}}{\text{m}^3 \text{ biogás}} \cdot 859,85 \frac{\text{kCal}}{\text{kWh}} = 6,43 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3 \text{ biogás}}$$

5.3.3. Tratamiento

Para poder emplear el biogás como fuente de energía es necesario depurarlo previamente para eliminar las sustancias de la corriente gaseosa que pueden disminuir su rendimiento o perjudicar su transporte, almacenamiento y aprovechamiento. Los componentes que deben reducirse o eliminarse son [20]:

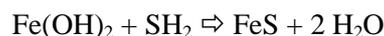
- *Vapor de agua.* El vapor de agua disminuye drásticamente el PCI del biogás, y además facilita la formación de ácidos corrosivos.
- *Hidrocarburos halogenados.* Particularmente aquellos que poseen cloro y flúor ya que favorecen la corrosión de las partes internas de las máquinas.
- *Sulfuro de hidrógeno.* Para prevenir la corrosión y evitar concentraciones tóxicas para el ser humano, así como, para prevenir la formación de óxidos de azufre (SO₂) que posibilitan la formación del ácido sulfuroso (H₂SO₃) que es altamente corrosivo.
- *Siloxanos.* Para evitar la deposición de sílice en las diferentes partes internas de las máquinas, y con ello, eliminar la posibilidad de desgastes de partes y piezas y la pérdida de estabilidad de partes que giran a gran velocidad.
- *Restos de espumas y partículas.* Pueden dañar la instalación.

Con un filtro de grava se separan las partículas sólidas, posibles espumas, suciedad y condensado procedente del digestor. Se pasa el biogás por un lecho de arena de forma que el condensado se extrae por la parte inferior del equipo, las partículas y espumas quedan retenidas en el lecho de grava y el gas sale por la parte superior-lateral del filtro [31]. El filtro cerámico se emplea para eliminar partículas finas entre 150-210 μm.

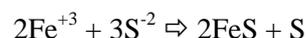
La eliminación del agua se consigue mediante sistemas de condensación por enfriamiento, o mediante sistemas de secado utilizando la adsorción con gel de sílice o cloruro cálcico.

La reducción o eliminación total de SH₂ se puede conseguir por medio de: biofiltros, cloruro de hierro, filtros de lana de hierro, lavado con sosa, precipitación con SO₂, filtros de astillas de madera con cloruro u óxido de hierro.

De entre los métodos para la eliminación del H₂S, el más habitual es el filtrarlo sobre limaduras de hierro, de forma que tienen lugar las siguientes reacciones:



Se favorece la desulfuración añadiendo sales de hierro (FeCl₃) en proporción superior a la estequiométrica, de forma que:



5.3.4. Aplicaciones

El proceso para la producción de biogás se detalla en la Figura 27, donde constan las distintas etapas que tienen lugar en una planta de digestión anaerobia y las distintas aplicaciones que pueden derivarse:

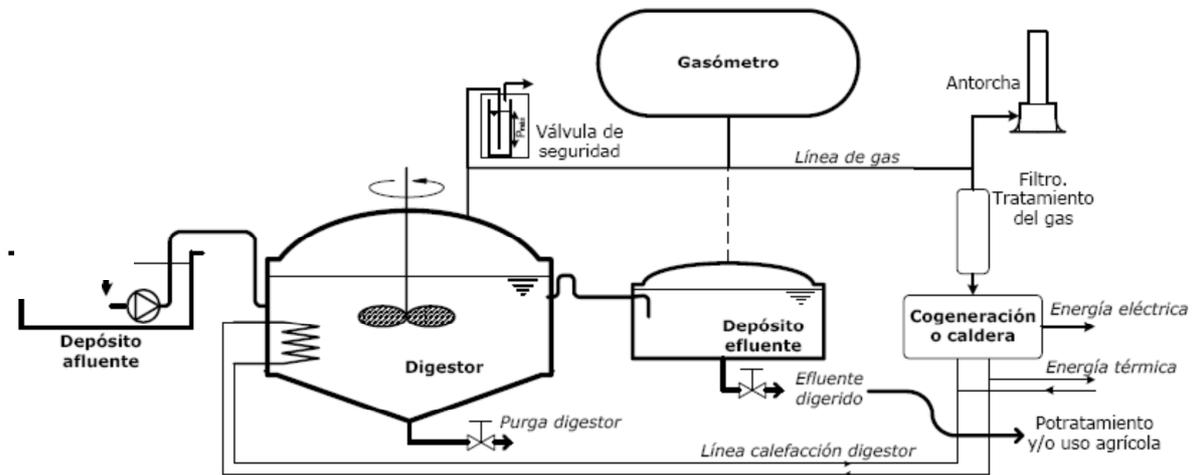


Figura 27. Esquema de funcionamiento del proceso para obtención de biogás [13]

Los usos más comunes que se le dan al biogás son la refrigeración, iluminación, generación de calor o energía eléctrica.

En plantas grandes se puede, y es rentable, reaprovechar esta energía dentro de la propia planta, de forma que se emplea el calor obtenido a partir del biogás para calentar el fango crudo, cubrir las pérdidas por transmisión del digestor o para el secado y desinfección si los hubiera. Además, también se emplea la energía que puede obtenerse del biogás para el bombeo de agua residual, la aireación, recirculación de aguas y fangos, la deshidratación, etc.

El biogás producido en procesos de digestión anaerobia puede tener diferentes usos fuera de la propia EDAR [18]:

- En una caldera de vapor, para generación de calor
- En motores o turbinas a gas, para generar electricidad.
- En pilas de combustible, previa eliminación de H_2S además de otros contaminantes de las membranas.
- En una red de transporte de gas natural, siempre que haya sido purificado y se le hayan añadido los aditivos necesarios.
- Uso como material base para la síntesis de metanol o el gas natural licuado.

5.3.5. Almacenamiento del biogás

El biogás se almacena en gasómetros. Pueden ser de diferentes tipos en función de la presión de trabajo y construcción. Los gasómetros más utilizados para el almacenamiento y distribución del biogás a los diferentes consumidores son los de campana flotante y de doble membrana [31].

El gasómetro de campana flotante (figura 28) consta de dos depósitos, uno está lleno de agua, y el otro se coloca invertido dentro del primero. Lleva unas guías para que a medida que el tambor invertido se va llenando de gas suba ordenadamente [32].

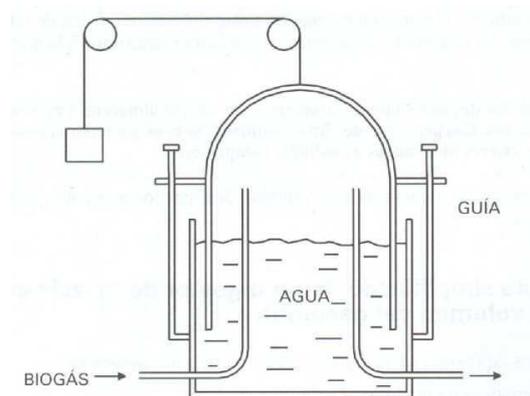


Figura 28. Esquema de un gasómetro de campana flotante (tipos-de-energia.blogspot.com)

En el caso del gasómetro de doble membrana (Figura 29), está formado por una membrana exterior que protege de las condiciones climáticas, una membrana interior, y una de fondo. El biogás se almacena entre la membrana interior y la de fondo. La presión del gas se mantiene constante gracias a un sistema de flujo de aire y una válvula reguladora de la presión.

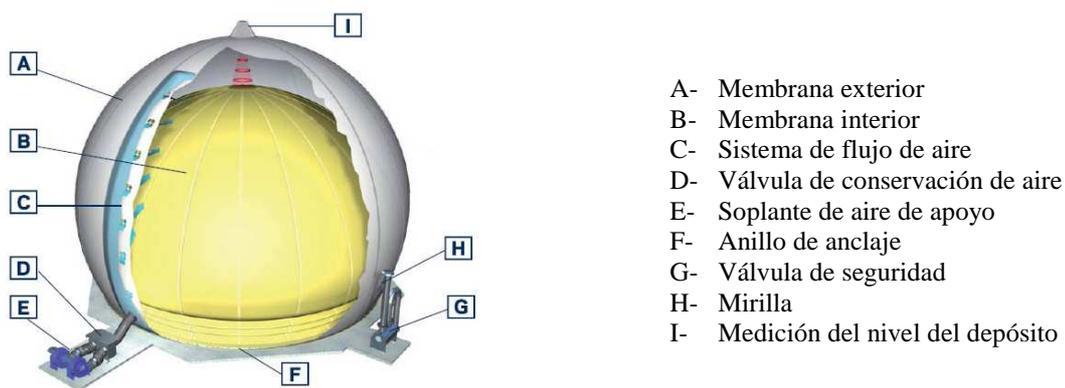


Figura 29. Gasómetro de doble membrana (<http://www.sustpro.com/>)

En cualquier caso, la instalación de gas cuenta con una antorcha para la combustión del gas sobrante. Las antorchas pueden ser clasificadas en dos tipos fundamentales: de llama vista o abierta, en las que el gas se quema en la atmósfera sin ningún tipo de control, o de llama oculta o cerrada, en las que la combustión ocurre en una cámara refractada [31].

6. PARÁMETROS Y METODOLOGÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE FANGOS

La composición típica de un lodo de aguas residuales es de aproximadamente 2/3 de materia orgánica y 1/3 mineral (inerte). Tal y como se muestra en la figura 30, la parte orgánica consta de un 50% de sustancias biodegradables, 40% de sustancias no biodegradables y un 10% de material muy poco biodegradable [5].

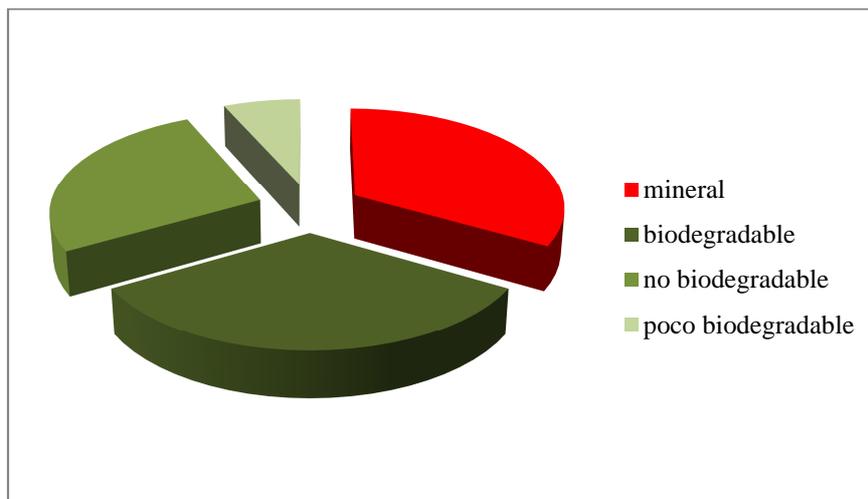


Figura 30. Composición típica de los fangos [5]

Los fangos producidos en una EDAR provienen tanto del decantador primario que elimina principalmente los sólidos en suspensión, como del decantador secundario, cuyo objetivo principal es eliminar la materia orgánica contenida en el agua. Por este motivo, las características de ambos fangos difieren en cuanto a su composición, olor y aspecto.

Los fangos procedentes del decantador primario (fangos primarios) no han sufrido aún un tratamiento biológico, por lo que son altamente inestables y putrescibles. Se vuelven sépticos y desprenden malos olores. Su aspecto es generalmente gris y grasiento, y su consistencia limosa.

Los fangos resultantes de la digestión, o fangos secundarios, poseen materia orgánica parcialmente descompuesta. Son relativamente ligeros, de color marrón oscuro, no desprenden tan malos olores como los primarios y son muy líquidos ya que están compuestos por un 99% de agua.

6.1. Parámetros para la caracterización de fangos

Los parámetros a tener en cuenta, a la hora de caracterizar los fangos son: la cantidad de sólidos suspendidos, la concentración de sólidos volátiles, el pH, fósforo, nitrógeno, carbohidratos, proteínas y grasas.

El contenido en sólidos totales (ST) representa la humedad del lodo. Se definen como toda la materia que queda como residuo después de someter una muestra a un proceso de evaporación a una temperatura de 103-105 °C para la eliminación del agua.

Los sólidos en suspensión (SS) son aquellos que se encuentran en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos, como por ejemplo la filtración. En el caso de sólidos muy finos puede añadirse coagulantes para favorecer la agregación de partículas y aumentar su tamaño.

A su vez, los sólidos en suspensión contenidos en la muestra pueden clasificarse en base a su volatilidad a 550 °C. A esta temperatura, la fracción orgánica (volátil) y algunas sales minerales se oxidarán y serán volatilizadas, quedando la fracción inorgánica en forma de ceniza. Es importante conocer el contenido volátil del fango ya que aporta información sobre el contenido de materia degradable, y se emplea para evaluar la estabilidad del lodo.

6.2. Metodología para la caracterización de los fangos

En primer lugar se ha de calcular la cantidad de sólidos totales. Para ello se introduce un volumen (y por tanto un peso) conocido de fango en una estufa a 105 °C durante 24 horas, para asegurar la completa evacuación del agua contenida en el fango. Una vez transcurrido este tiempo, se pesa de nuevo la muestra. Para el cálculo de los ST se emplea la siguiente ecuación:

$$ST(\%) = \frac{A - B}{C - B} \cdot 100$$

$$ST \text{ (mg/L)} = \frac{A - B}{\text{Volumen del fango inicial}}$$

Donde:

A = Peso del fango tras la evaporación más el peso del crisol (mg)

B = Peso del crisol (mg)

C = Peso del fango inicial más el peso del crisol (mg)

Para determinar los sólidos en suspensión se hace pasar un volumen concreto de fango por un filtro de 0,45 µm. Los sólidos retenidos en dicho filtro son los sólidos en suspensión, y los que lo atraviesan, son los sólidos disueltos. Para determinar la proporción de sólidos en suspensión, se calienta a 103-105°C la materia retenida en el filtro y transcurridas 24 horas se pesa el residuo seco.

$$SS \text{ (mg/L)} = \frac{D - E}{\text{Volumen del fango filtrado}}$$

Donde:

D = Peso del filtro con los sólidos que quedan tras la evaporación (mg).

E = Peso del filtro vacío antes de meterlo en la estufa (mg).

Para calcular la fracción de sólidos en suspensión volátiles se calcina el residuo sólido que ha quedado en el filtro, a una temperatura de 550 °C. Al calentar a esta temperatura, la materia orgánica se descompone en agua y en anhídrido carbónico, que se evaporan. El ascenso de la temperatura debe ser gradual para evitar problemas de combustión espontánea de determinados componentes, por lo que el tiempo óptimo para que se alcance dicha temperatura es de una hora. Se espera otra hora para que se calcine toda la materia orgánica y transcurrido ese tiempo se pesa. El residuo que se obtiene son los sólidos en suspensión no volátiles (SSNV), de modo que, para calcular la cantidad de sólidos volátiles (SSV) se emplea la siguiente fórmula:

$$SSNV \text{ (mg/L)} = \frac{F - E}{\text{Volumen del fango inicial}}$$

Siendo:

F = Peso del filtro más el residuo que queda tras la calcinación

$$SSV(\text{mg/L}) = SST - SSNV$$

$$SSV(\%) = \frac{D - E}{F - E} \cdot 100$$

En la figura 31 se muestra un esquema, sobre los métodos de determinación de sólidos en los fangos.

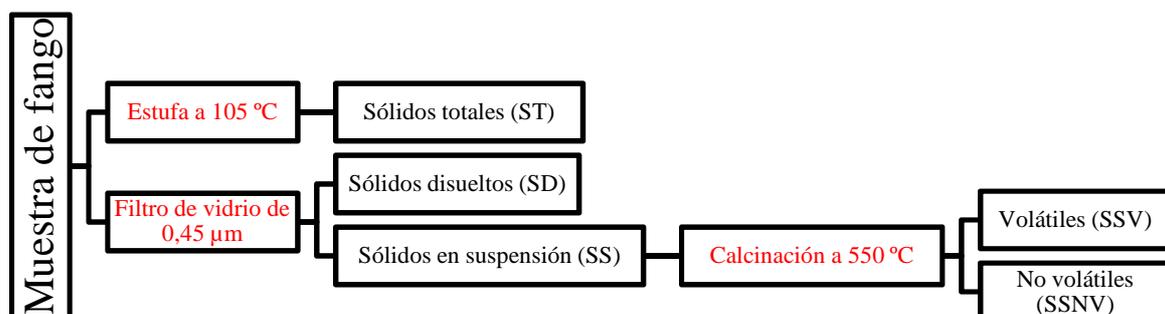


Figura 31. Esquema de los métodos de determinación de sólidos en fangos

6.3. Características de los fangos primarios y secundarios

Las principales características de los fangos primarios y secundarios están recogidas en la Tabla 3, donde los porcentajes mostrados se refieren al peso seco del fango [12].

Tabla 3. Características de los fangos primarios y secundarios [12]

	Fangos primarios	Fangos secundarios
SS	30 – 36 g/(HE·d)	18-29 g/(HE·d)
SSV	70 – 80 %	80 – 90 %
pH	5.5 – 6.5	6.5 – 7.5
Fósforo	0.5 – 1.5 %	1.5 – 2.5 %
Nitrógeno	2 – 5 %	1 – 6 %
Carbohidratos	8 – 10 %	6 – 8 %
Proteínas	4 – 14 %	20 – 30 %
Grasas	12 – 16 %	3 – 5 %

Como puede apreciarse en la tabla 3, la cantidad de SS es menor en los fangos secundarios, porque ya se han eliminado en el decantador primario y además, también en el reactor.

A diferencia de lo que cabría esperar, la proporción de SSV es mayor en los fangos secundarios ya que influyen los microorganismos purgados del reactor.

El pH de los fangos secundarios es ligeramente superior al de los fangos primarios porque el pH del reactor biológico está en torno a un valor de pH neutro.

7. APLICACIÓN DE ULTRASONIDOS EN LA DIGESTIÓN DE FANGOS

7.1. Introducción

Para el tratamiento de los fangos generados en una EDAR de más de 100.000 H.e. se realiza una digestión anaerobia con el fin de eliminar la materia orgánica. Ha de tenerse en cuenta que los fangos primarios difieren en su composición de los secundarios. Al comparar la degradación mediante digestión anaerobia de ambos tipos de fangos se ha demostrado que los fangos secundarios oponen mayor resistencia a la degradación biológica debido a su composición orgánica. Por este motivo conviene realizar pretratamientos a los fangos secundarios antes de la digestión anaerobia, con el fin de aumentar la solubilidad y/o la disponibilidad del material celular a los microorganismos anaerobios [3].

Una de estas técnicas de pretratamiento es la aplicación de ultrasonidos sobre los fangos secundarios, de forma que se rompan las paredes celulares de los microorganismos existentes, con lo que se libera su contenido al medio, incrementando la materia fácilmente biodegradable y se evita que este trabajo deba ser realizado por la biomasa existente en el interior del digestor. Puesto que la hidrólisis es el proceso limitante en la digestión, al producirse la hidrólisis instantánea sobre las paredes celulares existentes en los fangos secundarios, se acelera el proceso de digestión [8].

7.2. Fundamento de los ultrasonidos

Los ultrasonidos son ondas sonoras que se propagan con una frecuencia de vibraciones superior al límite perceptible por el oído humano. Si el rango perceptible por el ser humano está entre los 16Hz y los 18 kHz, los equipos de ultrasonidos en una EDAR trabajan a frecuencias superiores a 20 kHz.

Éstos a su vez se dividen en tres franjas [5,30]:

- Ultrasonidos de alta potencia (Frecuencias que oscilan entre 20-100 kHz)
- Ultrasonidos de baja potencia (Frecuencias entre 100 kHz-1 MHz)
- Ultrasonidos de diagnóstico (1-100 MHz)

Como todos los sonidos, los ultrasonidos se propagan a través de cualquier medio físico por medio de ondas de compresión y expansión. Durante la compresión se juntan las moléculas del medio por el que circulan, mientras que en la expansión se separan, provocando así la vibración de las moléculas.

Los ultrasonidos actúan creando burbujas en la fase líquida en un proceso llamado cavitación, de modo que, en un medio líquido, el ciclo de expansión de los ultrasonidos puede generar suficiente presión negativa logrando que la distancia entre las moléculas de dicho líquido exceda la mínima distancia molecular requerida para mantener el líquido intacto, originando la ruptura de las fuerzas de cohesión creando una microcavidad o burbuja [21].

Las burbujas se forman bajo presiones negativas, y se reducen de tamaño en la fase de compresión [5]. El crecimiento de la cavidad durante cada expansión es ligeramente más grande que el encogimiento durante la compresión. Así, a lo largo de muchos ciclos acústicos, la burbuja va creciendo desde una

medida inferior al micrómetro hasta unas decenas de micrómetros, atrapando vapores o gases del medio, hasta lograr finalmente un tamaño crítico, en la que crece tan rápidamente durante un ciclo acústico que se vuelve inestable y ya no puede absorber energía eficientemente. Sin esta energía la cavidad no se puede mantener y el líquido que la rodea entra violentamente a la cavidad, ocasionando su implosión y desprendiendo una gran cantidad de energía, generando temperaturas de 2000-5000 K y presiones muy elevadas (Figura 32).

Las colisiones entre las burbujas de cavitación constituyen la primera fuente de los efectos químicos y mecánicos de la energía de ultrasonidos. Cada choque puede ser considerado como un micro reactor en donde se puede obtener mucha energía [21].

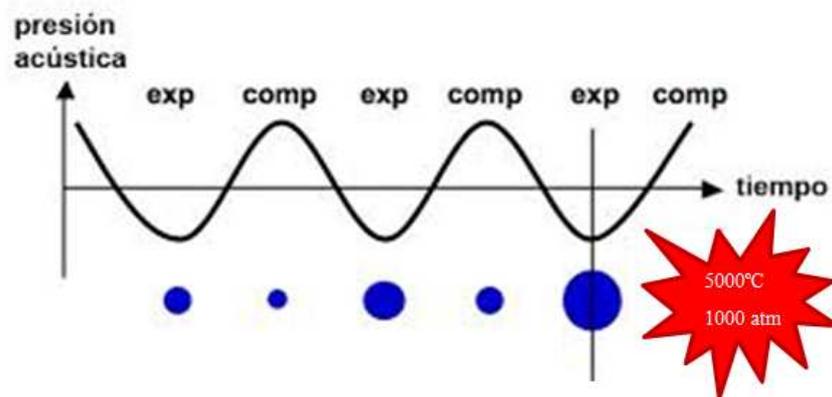


Figura 32. Crecimiento de la microburbuja durante varios ciclos de expansión y compresión

(<http://www.ub.edu/talq/es/node/252>)

7.3. Descripción del equipo de ultrasonidos

Los equipos de ultrasonidos están formados por tres componentes (Figura 33):

- Un *Generador* que produce la energía eléctrica a la frecuencia de ultrasonidos requerida.
- Un *Transductor* de ultrasonidos, que es un componente electro-mecánico que convierte la energía eléctrica procedente del generador en vibraciones mecánicas.
- Un *Sonotrodo* de titanio, componente mecánico que trasmite las vibraciones mecánicas al material que va a ser sonificado [5].

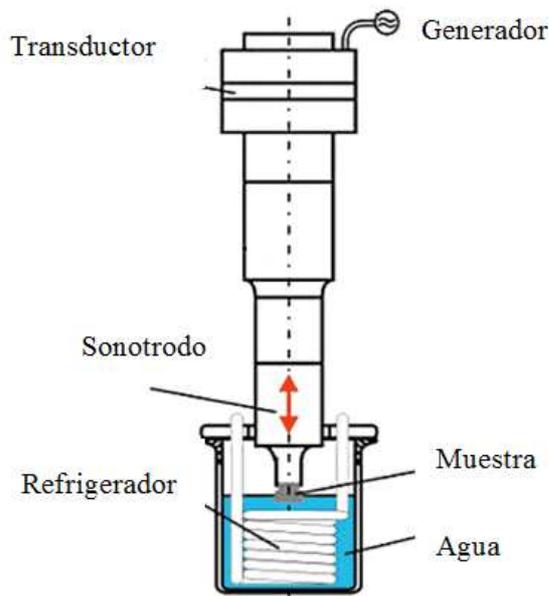


Figura 33. Equipo de ultrasonidos (https://www.hielscher.com/es/astm_g32-92.htm)

Basándose en lo anterior, el funcionamiento del reactor de sonicación es el siguiente:

La frecuencia de la red eléctrica convencional llega al equipo a 50 Hz y se amplifica dentro de un generador eléctrico hasta 20.000 Hz eléctricos. Posteriormente, esta señal eléctrica pasa por un convertidor/ transductor que transforma los 20.000 Hz eléctricos en mecánicos (vibración). Esta energía mecánica se transporta hacia el cabezal del equipo, que es el que está en contacto con el fango (figura 34). El fango pasa a través del cabezal vibrante y la vibración golpea el fluido; esto genera una onda sonora que provocará presiones positivas y negativas en el medio (cavitación controlada) [1].

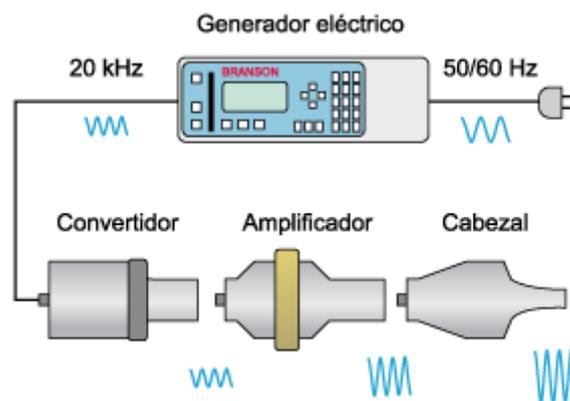


Figura 34. Funcionamiento del equipo de ultrasonidos (25)

7.4. Los ultrasonidos en el tratamiento de fangos

La aplicación de ultrasonidos a los fangos se basa en la utilización de la energía provocada por una cavitación controlada a fin de romper las paredes celulares de los microorganismos presentes en los fangos secundarios.

Para ello se emplean ondas de sonido superiores a 20.000 Hz, que generan presiones positivas y negativas al medio, y que comportan la formación de burbujas (efecto denominado *cavitación*), que, al desplazarse en el medio y someterse a mayores presiones, implosionan, liberando gran cantidad de energía.

Su aplicación, dependiendo de la energía específica aplicada, permite que las paredes de las células de los microorganismos se destruyan liberando el material intracelular (Figura 35) y en consecuencia incrementando la cantidad de material orgánico disuelto y disponible para ser usado por las bacterias anaerobias presentes en el tratamiento anaerobio posterior [3].

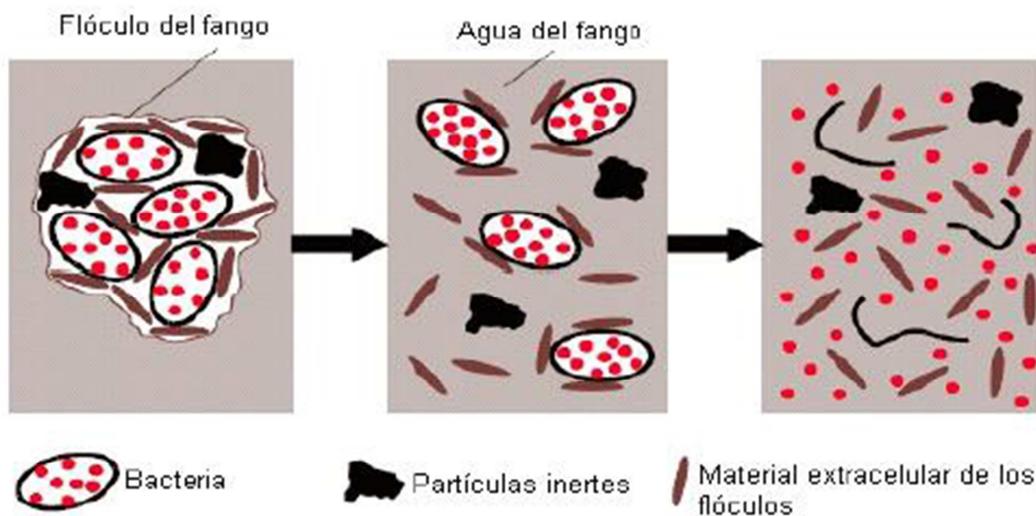


Figura 35. Efecto de los ultrasonidos en el fango [28].

Esta hidrólisis instantánea, que se produce sobre las paredes celulares del fango secundario, se realiza en un tiempo de retención de dos segundos, frente a los ocho días de tiempo de retención mínimo requeridos por cualquier digestión anaerobia [1].

7.5. Estudios realizados

En la investigación de R. Nancy¹ [3] se estudia el grado de solubilización, y el grado de desintegración del lodo constituido por la combinación de fango primario y secundario de una EDAR, aplicando ultrasonidos con diferentes energías específicas (kJ/kg ST).

Aplicando una potencia ultrasónica de 70W, en una muestra de 50 mL con 25,4 g/L de sólidos totales iniciales, se observó que con una energía de 11.000 kJ/kgST la solubilización de la DQO es del 9,69%, mientras que si la energía aplicada es de 33.000 kJ/kg ST se solubiliza la DQO hasta un 17%. Además, también se demuestra que el grado de desintegración encontrado con la máxima energía aplicada fue de 42%.

De este estudio se concluye que la aplicación de ultrasonidos aumenta tanto el grado de solubilización como el grado de desintegración del lodo, y por tanto es una técnica adecuada para mejorar la disponibilidad de la materia orgánica presente en el fango a ser degradada en el tratamiento de digestión anaerobia posterior.

Otro análisis es el realizado por A. Tiehm² [7]. En éste, se estudia la reducción del tiempo de residencia de los fangos en el reactor. Tal y como se muestra en la Tabla 4, si con una digestión anaerobia de 22 días se obtiene una reducción de sólidos volátiles del 45,8%, aplicando ultrasonidos como etapa previa a la digestión, a 31kHz, 3,6 kW durante 64 segundos, la reducción de estos sólidos volátiles es del 50,3%. Por otro lado, al reducir el tiempo de residencia en el digestor a 8 días, la digestión anaerobia se mantiene estable, y se obtiene una reducción de material volátil del 44,3% y una producción del biogás 2,2 veces mayor que sin el pretratamiento ultrasónico.

Tabla 4. Reducción de sólidos volátiles con y sin ultrasonidos [7]

	Tiempo de residencia (d)	Reducción de sólidos volátiles (%)
Fango sin pretratamiento	22	45,8
Fango pretratado con ultrasonidos	22	50,3
Fango pretratado con ultrasonidos	8	44,3

De modo que se aumenta la reducción de SSV al aplicar la tecnología ultrasónica antes de la digestión, hasta el punto que es posible reducir el tiempo de residencia en el digestor, consiguiendo un fango estable y una reducción ligeramente superior de SSV.

Además, se observó una reducción del tamaño de las partículas, el diámetro medio pasó de 165 µm (fango sin pretratamiento), hasta 135 µm después de 29,5 segundos de ultrasonidos, y 85µm tras aplicar 96 segundos de ultrasonidos a la muestra (Figura 36).

¹ “Utilización de ultrasonidos como técnica de pretratamiento en lodos biológicos”

² “The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge”

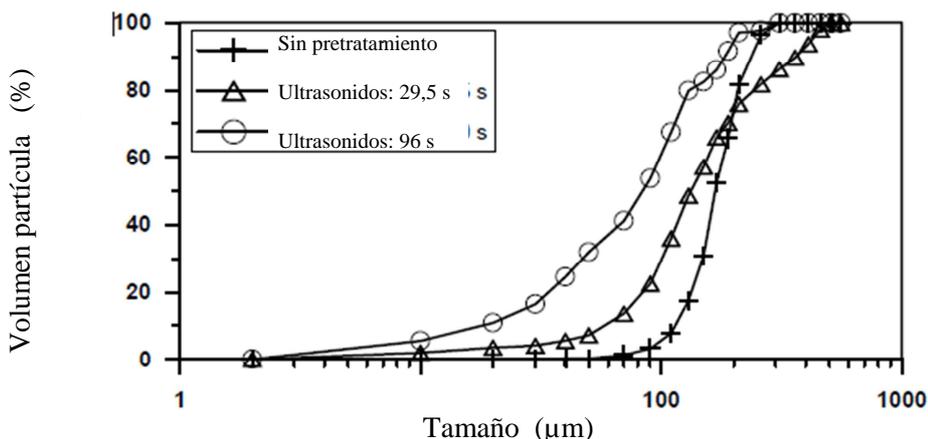


Figura 36. Tamaño de partículas al aplicar ultrasonidos [7]

También se observó un aumento de la cantidad de biogás producido, debido al aumento de materia fácilmente biodegradable (Figura 37).

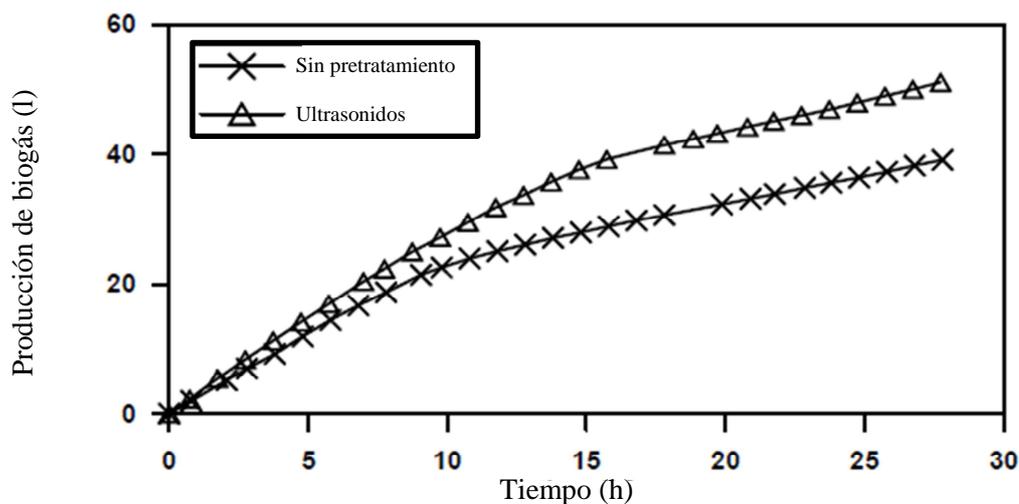


Figura 37. Biogás producido al aplicar ultrasonidos [7]

Otro artículo [35] se centra en determinar la influencia del pretratamiento con ultrasonidos sobre las características del fango deshidratado. Para ello hacen un ensayo en laboratorio y otro en una planta piloto.

Para poder evaluar, a nivel de laboratorio, los efectos del pretratamiento con ultrasonidos sobre la floculación del fango se prepara un polímero y se realiza comparando las diferentes proporciones de fango pretratado. Este estudio deduce que el pretratamiento con ultrasonidos favorece la formación de flóculos de mayor tamaño y que, a medida que se aumenta el porcentaje de fango del pretratado, son requeridas menores cantidades de polímero para obtener el mismo resultado, de forma que se

modifican las características reológicas del fango y se reduce el consumo de polielectrólito en la etapa de acondicionamiento.

Durante la experimentación en planta se determina que la calidad del fango deshidratado es mejor cuanto mayor es el porcentaje de fango pretratado con ultrasonidos, al menos hasta un porcentaje de fangos pretratados de un 25%. De la figura 38, que muestra uno de los ensayos realizados, se aprecia como aumenta la sequedad del fango deshidratado, lo cual confirma los resultados de laboratorio, donde se observaba que el pretratamiento del fango provoca una modificación de sus propiedades, haciendo que este pueda ser separado en dos fases de una forma sencilla y con menores gastos de polímero.

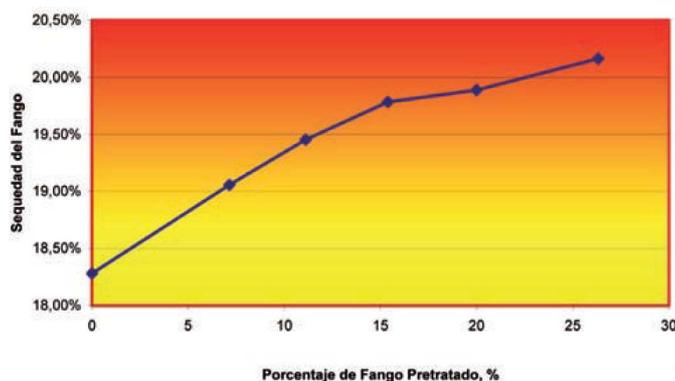


Figura 38. Efecto de los ultrasonidos en la deshidratación del fango

Una vez constatada la viabilidad técnica del pretratamiento con ultrasonidos, el estudio pretende conocer el impacto económico del uso de esta tecnología sobre el coste global de la deshidratación. Estimando los costes de transporte y gestión del fango, los costes de reactivo y la electricidad, sin entrar a valorar los costes de mantenimiento y persona, los datos mostrados en la tabla muestran el ahorro obtenido al realizar un pretratamiento del fango con ultrasonidos, tanto en el caso de que el destino del fango sea de aplicación directa en agricultura, como para compostaje, llegando a reducirse en casi un 8% del coste global.

Tabla 5. Estudio económico del proceso de deshidratación [35]

Día	Fangos destinados a agricultura			Fangos destinados a compostaje		
	€/ud	Fango no pretratado	Fango pretratado	€/ud	Fango no pretratado	Fango pretratado
Transporte	5,7	31,18	28,27	5,7	31,18	28,27
Gestión	6	32,82	29,76	23	125,82	114,09
Agua	0,12	1,05	1,05	0,12	1,05	1,05
Polielectrolito	2,95	25,84	25,84	2,95	25,84	25,84
Electricidad	2,2	2,05	2,05	2,2	2,05	2,05
TOTAL		92,94	86,98		185,94	171,30
% Descenso			6,42			7,87
€/año		61.162,77	57.237,15		122.362,77	112.730,01
Ahorro €/año			3.925,61			9.632,76

Además de los estudios realizados, existen plantas de tratamiento donde ya se ha instalado esta tecnología, como es por ejemplo la EDAR de Mansfield (Inglaterra) de 150.000 H.e. Cuenta con dos digestores anaerobios de 1.975 m³ de capacidad con un tiempo de retención de 14 días [25].

En la figura 39 se muestra el porcentaje de eliminación de sólidos totales, antes y después de incorporar los ultrasonidos a la EDAR.

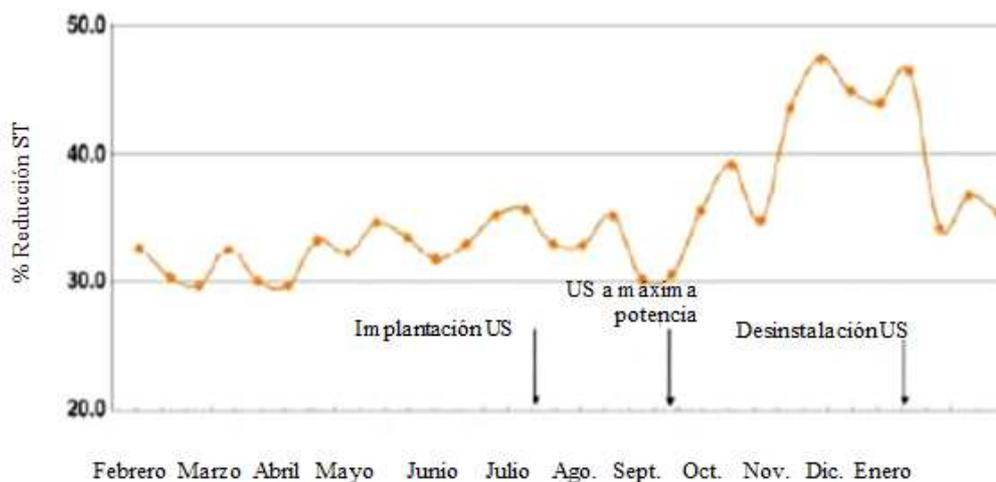


Figura 39. Influencia de los ultrasonidos en la eliminación de sólidos totales [25]

En esta figura se observa como la degradación de sólidos totales aumenta entre el 32-48% tras la implantación del equipo de ultrasonidos. También puede observarse como, al dejar de aplicar esta tecnología, el grado de eliminación de ST vuelve a disminuir.

Un estudio realizado en la UPV³ [28], con el objetivo de conocer la influencia de la técnica de ultrasonidos sobre el fango, estudia la influencia del tiempo de aplicación de ultrasonidos sobre las características físico-químicas del fango. Además, compara la degradabilidad del fango antes y después de la aplicación de ultrasonidos

Se analiza la biodegradabilidad del fango en base a los sólidos totales y los SSV empleando una adaptación al método 2540-E (Determinación por evaporación y pesada). Compara la concentración de sólidos antes de aplicar ultrasonidos y tras someter el fango a esta técnica durante 60 segundos y 90 segundos. El estudio se realiza con tres tipos de fango: el fango concentrado a la salida del flotador, el fango mezcla (mezcla de fangos procedentes del espesador y del flotador) y el fango digerido (resultado de la digestión anaerobia del fango mezcla). Los resultados obtenidos son los que se muestran en Tabla 6:

³ “Mejora de la biodegradabilidad aerobia de diferentes corrientes de fango residual procedentes de una E.D.A.R por tratamientos con ultrasonidos”

Tabla 6. Concentración sólidos antes y después de aplicar ultrasonidos al fango [28]

Fango flotado	Tiempo sonicación(s)	ST(mg/L)	SS(mg/L)	SSV(mg/L)
	0	3858	1745	1545
60	3681	1333	1482	
90	3612	1577	1426	
Fango mezcla	Tiempo sonicación(s)	ST(mg/L)	SS(mg/L)	SSV(mg/L)
	0	970	855	657
60	1041	910	708	
90	946	758	577	
Fango digerido	Tiempo sonicación(s)	ST(mg/L)	SS(mg/L)	SSV(mg/L)
	0	1981	1403	1328
60	2074	1563	995	
90	2046	1497	93	

Las concentraciones de sólidos no varían significativamente tras aplicar la técnica de ultrasonidos al fango concentrado. En cuanto al fango digerido, la variación de sólidos totales no es significativa, sin embargo, los sólidos volátiles disminuyen drásticamente, los autores concluyen que esto podría deberse a que parte de la fracción volátil tras ser sometida a ultrasonidos se ha vuelto soluble.

7.6. Ventajas e inconvenientes

Los beneficios que se obtienen mediante la aplicación de ultrasonidos a los fangos secundarios como tratamiento previo a la digestión anaerobia se resumen en los siguientes puntos [1,4]:

- *Estabilización de los procesos microbiológicos de la digestión anaerobia:* la ruptura instantánea de las paredes celulares libera su contenido interno al medio, por lo que se agilizan los procesos biológicos que ocurren en el interior del digestor.
- *Incremento del rendimiento de eliminación de materia volátil (SSV) en el digestor:* Al reducir el tiempo celular requerido para llevar a cabo la hidrólisis se acelera el paso a las siguientes etapas de la digestión, y se incrementa el rendimiento de eliminación de SSV.
- *Minimización de la producción de fangos:* un incremento del rendimiento de eliminación de materia volátil también conlleva una disminución de la producción de fangos que deben evacuarse, por lo que disminuye el volumen final de los biosólidos en la EDAR y se reducen los costes de gestión.
- *Incremento de la producción de biogás:* Con los ultrasonidos se aumenta la capacidad de tratamiento de los fangos en la digestión, por lo que se incrementa el caudal de biogás, es decir, la energía eléctrica cogenerada, en un 30 – 45%. De este modo también se minimizan los consumos eléctricos de la red externa.
- *Mejora de la sequedad y estabilización final del fango deshidratado:* el incremento de eliminación de materia volátil en el digestor proporciona una mejora en la deshidratación

posterior e, incluso, una mejor estabilización del fango; esto reduce los olores y aumenta la sequedad final, además de que reduce el consumo de polielectrolitos.

- *Reducción de las espumas en el interior del digestor:* también se ha podido comprobar que la aplicación de ultrasonidos provoca una reducción en la presencia de espumas que pueden formarse en el interior de los digestores anaerobios a causa de la destrucción de los microorganismos filamentosos presentes, muy sensibles a este tratamiento [8].
- Disminución del tamaño de partículas según la energía aplicada y aumento del grado de desintegración del lodo [3].
- Fácil instalación en una EDAR.

Los inconvenientes que se han podido observar aplicando esta técnica son [28]:

- Erosión del equipo de ultrasonidos, como consecuencia de las ondas de sonido de gran intensidad y de las elevadas temperaturas y presiones que se alcanzan.
- Elevado consumo energético del equipo
- Elevado coste de inversión inicial

8. OTRAS ALTERNATIVAS

Con el objetivo de mejorar los procesos en una EDAR se han estudiado diferentes tecnologías que puedan aplicarse como pretratamiento a la digestión de los fangos secundarios, solubilizando la materia orgánica contenida en éstos. Entre estas líneas de investigación destacan: los tratamientos con dosificación de productos químicos, la hidrólisis térmica, la electro-deshidratación, y la ozonización, entre otros [8].

A continuación se comenta brevemente alguna de estas alternativas.

8.1. La Hidrólisis Térmica

La hidrólisis térmica es una de las tecnologías que tienen lugar en la línea de tratamiento de fangos. Consiste en la aplicación de temperatura al fango de forma que se produzca la destrucción de las paredes celulares haciéndolo más accesible a la degradación biológica. De este modo, el objetivo es disolver la materia orgánica sometiendo los fangos a 165°C y 6 bares durante 30 minutos.

Estas condiciones permiten:

- Solubilizar la materia orgánica contenida en el fango
- Desintegrar las estructuras celulares de las bacterias,
- Reducir la viscosidad del lodo

En definitiva, la digestión anaerobia junto con hidrólisis térmica permite:

- La reducción del volumen final de biosólidos producidos debido a una mayor eliminación de sólidos volátiles y mayor sequedad del producto final
- Mejorar el rendimiento energético de una EDAR: Mayor producción de biogás aprovechable para generación de electricidad verde bonificada.
- Obtención de biosólidos exentos de Patógenos
- Posibilidad de reducción del volumen del digestor y de todos los equipos posteriores de tratamiento [14].

8.2. La Electro-deshidratación

Consiste en la acción combinada de electro-ósmosis y presión: Se sumergen electrodos en un medio poroso y se aplica una corriente, esto provoca la transferencia de los cationes desde el polo positivo (ánodo) al polo negativo arrastrando por efecto de la viscosidad las moléculas de agua circundantes. De forma que, la electro-deshidratación, en lugar de comprimir el fango o evaporar el agua contenida, lo que hace es separar las moléculas de agua. Aplicando esta técnica se consigue [14]:

- 5-10 veces mayor eficiencia energética del proceso
- Sequedad del 50% o superior.
- Reducción del costo del tratamiento y de la evacuación
- Eliminación de patógenos
- Reducción significativa de los olores

Las ventajas de someter los fangos a electro-deshidratación como etapa previa a la digestión anaerobia se plasman en:

- Reducción del volumen de fangos: lo que supone menores costes de eliminación, transporte y vertido
- Alta sequedad: lo que facilita el almacenamiento y transporte. Además permite la reducción de tamaño de tratamientos posteriores.
- Reducción de patógenos: puesto que mejora la calidad del biosólido, lo que facilita el uso agrícola.

8.3. La ozonización

Se han realizado también ensayos que consisten en tratar con ozono los fangos espesados con el fin de mejorar su biodegradabilidad. Consiste en hacer pasar una fracción de fango recirculado a través de una unidad de ozonización. En ella, la mayoría de los microorganismos son destruidos y oxidados a compuestos orgánicos más fácilmente degradables en el tratamiento biológico.

De modo que se puede concluir que con la ozonización se consigue aumentar la solubilización de la materia orgánica, además de aumentar también la producción de biogás, y reducir la proporción de sólidos totales tras la digestión anaerobia posterior [22].

Las futuras investigaciones sobre esta técnica van dirigidas a la optimización de la dosis de ozono, el modo de dosificación y la configuración del reactor.

9. DESCRIPCION DE LA INSTALACIÓN DISEÑADA

Este proyecto incluye instalaciones que permiten un tratamiento de los fangos, con el fin de alcanzar un tratamiento completo de todos los vertidos producidos en una EDAR, de forma que se consiga el grado de depuración necesario, hasta cumplir los límites fijados por la Directiva del Consejo de la Unión Europea 91/271/CEE de 21 de mayo de 1.991, sobre Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas, donde se define como principal objetivo proteger el medio ambiente de los efectos negativos de los vertidos de las aguas residuales urbanas y de los sectores industriales.

En este apartado se describe la línea de fangos diseñada para una EDAR de 100.000 habitantes. Se ha optado por incluir un espesador para los fangos primarios, un flotador para los fangos procedentes del tratamiento secundario, un equipo de ultrasonidos DUMO, un digestor anaerobio y un filtro banda.

Puesto que el tratamiento de fangos por ultrasonidos se realiza únicamente sobre los fangos secundarios, los fangos primarios espesados serán bombeados directamente a un tanque agitado, mientras que los fangos secundarios son desviados al equipo de ultrasonidos, y posteriormente reincorporados a la línea de fangos para su bombeo a dicho tanque de mezclado y posteriormente al digestor [8].

Para el diseño de los elementos de la instalación se han adoptado los parámetros de diseño recogidos en la bibliografía. (Véanse tablas 1-6 en el anexo). Los cálculos realizados para el diseño se encuentran en el Anexo de la memoria.

El diagrama de la EDAR diseñada es el que se muestra en la figura 40:

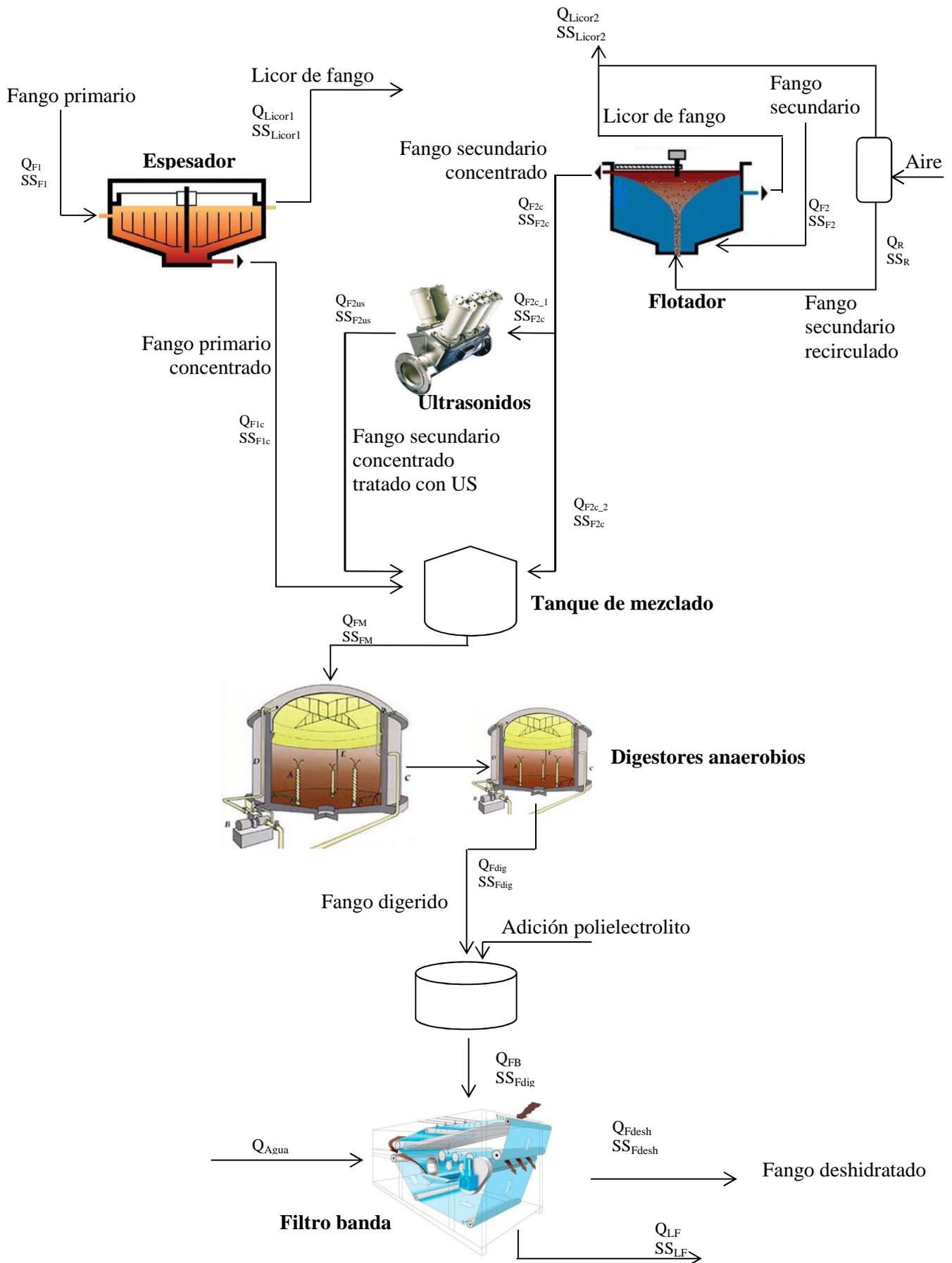


Figura 40. Esquema de tratamiento propuesto para la línea de fangos

El fango primario (160 m³/d, 2%SS) procedente de la línea de aguas se introduce en el espesador. Por acción de la gravedad, se separan los sólidos que sedimentan y se compactan en la parte inferior hasta un 6%. El fango espesado (53,2 m³/día) se extrae por el fondo del tanque mientras que el líquido clarificado o licor de fango (106,8 m³/día) se extrae por la parte superior y se envía a la cabecera de planta.

Se trata de un tanque cerrado de tipo circular y estático, con una inclinación del fondo entre 60 y 45°. Sus dimensiones son: radio de 3 metros y una altura cilíndrica de 6 metros.

El fango procedente del decantador secundario llega al flotador con una concentración del 0,9% y un caudal de 245 m³/d. El flotador es circular y su diámetro se ha calculado a partir de la carga hidráulica - 130 m³/(m²·d) - dando como resultado un diámetro de 8 metros. Como es un flotador con recirculación, se deben recircular 5660 m³/d de licor de fango. El caudal recirculado pasa por un calderín en el que se inyecta aire y se presuriza (2,9 atm) para después liberarlo en forma de pequeñas burbujas.

Al igual que en el espesador, el licor de fango no recirculado vuelve a cabecera de planta (171,84 m³/día). Por la zona superior se extraen 73,16 m³/día de fango secundario concentrado al 3%.

El 30% del fango secundario concentrado (21,95 m³/d) pasa por el equipo de ultrasonidos modelo DUMO Ultralyzer (Desintegrador Ultrasónico de Materia Orgánica) con un tiempo de retención hidráulica de 2 minutos [34], mientras que el resto continúa al tanque de mezclado.

Según la bibliografía [28], la concentración de sólidos no varía significativamente tras aplicar ultrasonidos al fango mixto, de forma que a la salida del equipo la concentración sería prácticamente la misma que a la entrada, esto es de 30 kgSS/m³.

A continuación, el fango primario concentrado, el fango secundario concentrado y el fango sometido a ultrasonidos pasan a un tanque de mezcla de 5,26 m³, diseñado para un tiempo de residencia de 60 minutos. Para favorecer una mezcla homogénea se introducirán en el tanque agitadores de hélice.

La corriente de salida del tanque de mezclado se conoce como fango mixto. Tiene un caudal de 126,36 m³/d con una concentración de sólidos en suspensión del 4,26%.

A continuación, el fango mixto pasa al digester anaerobio de 2600 m³ donde debe permanecer durante 20 días. Es un tanque cerrado de forma cilíndrica, construido en hormigón y semienterrado en el suelo. La cubierta tiene forma de cúpula que es donde se acumula el biogás, y el fondo es cónico, por donde se extrae el fango digerido. Las zonas en contacto con el gas se impermeabilizan con resinas a fin de evitar pérdidas por los poros. A su vez, el aislamiento térmico del digester evitará pérdidas de energía y permitirá la estabilidad térmica del proceso.

Durante el tiempo que el fango permanece en el reactor, los microorganismos consumen el 55% de la materia orgánica (entre un 5-10% más gracias a la aplicación de ultrasonidos al fango secundario) y liberada en forma de biogás.

Teniendo en cuenta que de los SS totales que entran al digester (42,6 kgSS/m³), la concentración de materia orgánica es de 32 kgSSV/m³, y que por la acción de los ultrasonidos se genera un 18% más de biogás, el caudal de biogás generado es de 19,28 m³ diarios y la concentración de sólidos volátiles tras

la digestión es de $14,4 \text{ kgSS/m}^3$. Así pues, ya que la concentración de materia orgánica no se ve afectada por la digestión anaerobia, a la salida del digestor, el fango digerido tiene una concentración del 2,5%.

Antes de la etapa de la deshidratación, el fango pasa por un segundo digestor colocado en serie y, de volumen inferior al primero (1300 m^3). Éste actúa a modo de tanque pulmón, para que llegue una cantidad de fango constante al deshidratador durante su ciclo de trabajo. Además, se añade un polielectrolito al fango digerido, con la finalidad de mejorar la deshidratación.

Se opta por un deshidratador filtro banda modelo VS-20 IF con una anchura de banda de 2 metros y un ciclo de trabajo de 5 días a la semana y 8 horas al día. Este modelo precisa de una corriente de agua en el proceso de limpieza de $12 \text{ m}^3/\text{h}$.

Del deshidratador salen dos corrientes, el licor de fango, con una concentración muy baja de SS ($0,95 \text{ kg/m}^3$) y que irá a la cabecera de planta de nuevo, y el fango deshidratado con una sequedad final del 25%.

Finalmente, el fango deshidratado, se almacena en tolvas para su gestión posterior.

10. CONCLUSIONES

A partir de la búsqueda bibliográfica y datos de diseño de los libros de referencia se ha diseñado una línea de fangos.

La incorporación de una etapa con ultrasonidos ha permitido:

- Una producción de biogás 18% superior que la obtenida en líneas de fango tradicionales (Se producen 19,28 m³ de biogás diarios)
- Un rendimiento de eliminación de materia orgánica del 55%, en comparación con los valores típicos 45-50%. Esto supone una disminución en la producción de fangos y un aumento en su deshidratación.
- Menor generación de espumas debido a la destrucción de microorganismos filamentosos, que pueden provocar problemas en la línea de gas o acidificar el digestor. Lo que supone a su vez un ahorro en antiespumante.

11. BIBLIOGRAFÍA

1. Moragas, L. Optimización de la digestión anaerobia mediante la aplicación de ultrasonidos al fango secundario en la edar de Vilanova i la Geltrú. III jornadas técnicas de gestión de sistemas de saneamiento de aguas residuales. Generalitat de Catalunya, Departamento de Medio Ambiente y Vivienda, 2007.
2. Tiehm, A. Ultrasonic waste activated sludge disintegration for improving anaerobic stabilization. *Water Research*. Vol.35, No.8, pp. 2003-2009, 2001.
3. Nancy, R. Utilización de ultrasonido como técnica de pretratamiento en lodos biológicos. Universidad de Zulia, 2006.
4. Toscano, C. Ultrasonidos y depuración. III jornadas técnicas de gestión de sistemas de saneamiento de aguas residuales. Generalitat de Catalunya, Departamento de Medio Ambiente y Vivienda, 2007.
5. Mesas Díaz, J.A: Efecto de los ultrasonidos en el tratamiento de lodos de depuradora de aguas residuales. *Tecnología del agua*, volumen 232: pp 42-45, 2003.
6. Quiroga, G. Effect of ultrasound pre-treatment in the anaerobic co-digestion of cattle manure with food waste and sludge. *Bioresource Technology*, 154, pp. 74-79, 2014.
7. Tiehm, A. The use of ultrasound to accelerate the anaerobic digestion of sewage sludge. Technical University of Hamburg, Hamburg, 1997.
8. Simón, P.J. Optimización de la digestión anaerobia mediante la aplicación de ultrasonidos en la edar Molina de Segura (Murcia). III jornadas técnicas de gestión de sistemas de saneamiento de aguas residuales. Generalitat de Catalunya, Departamento de Medio Ambiente y Vivienda, 2007.
9. Mendoza Roca, J.A. Tratamiento de fangos de depuración de aguas residuales. Editorial UPV
10. Metcalf & Eddy. Ingeniería de aguas residuales, 3ª edición. Mc Graw Hill, 1995.
11. Mendoza Roca, J.A. Ciencia y tecnología del medio ambiente. Editorial UPV. Capítulo 1.
12. Hernández, A. Depuración y desinfección de aguas residuales. Colegio de Ingenieros de caminos, Canales y Puertos, 5ª edición, 2001.
13. Digestión anaerobia. www.agrowaste.eu
14. Del Campo, I. El factor clave del tratamiento de fangos – la energía. *degrémont iberia*.
15. Oliva, E. Secado térmico de fangos de depuradoras. Inese. Tratamiento de aguas residuales. PP 315-324. Octubre 1999.
16. Secado térmico. www.agrowaste.eu
17. <http://www.magrama.gob.es>
18. Biomasa: Digestores anaerobios. IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). 2007.

19. Delgado, L. Tesis: Análisis del consumo energético de una EDAR: Autoabastecimiento energético. Universidad de Alcalá, 2012.
20. Reina, J. Conceptos básicos del biogás y sus tecnologías para la limpieza y acondicionamiento en la EDAR. Aguasresiduales.info, 2014
21. Morales, M.F. Determinación de hidrocarburos en muestras de agua por extracción líquido-líquido asistida por ultrasonido. Tesis. Universidad de Alicante, 2011.
22. Ferrer, C. Pretratamiento con ozono de fangos biológicos a digerir anaerobiamente. Ponencia efectos medioambientales de la Comunidad Valenciana, 2011.
23. Suárez, J. Espesamiento de fangos de estaciones depuradoras de aguas residuales. Master en ingeniería del agua. Universidad da Coruña, 2007.
24. Bes, A. Diseño de los procesos de concentración en la línea de fangos de una EDAR. UPV
25. http://www.dam-aguas.es/idi_ultrasonidos5.php
26. Gyomar, María. Estudio y diseño de una planta de depuración de aguas residuales. Tesis. Universidad Politécnica de Cartagena, 2012.
27. D. Pérez. Diseño de una EDAR para la industria conservera del tomate. Tesis. Universidad de LA Rioja, 2012
28. M. Moscardó. Mejora de la biodegradabilidad aerobia de diferentes corrientes de fango residual procedentes de una E.D.A.R por tratamientos con ultrasonidos. Tesis. UPV, 2013.
29. <http://www.planthogar.net>
30. L. Rincón. Efectos de los ultrasonidos de alta potencia. Septiembre, 2009.
31. Reina, J. Máquinas, equipos y accesorios en la instalación de aprovechamiento del biogás en la EDAR, Dimasa Grupo. Info Enviro, pp. 40-42, 2011.
32. Utilización del biogás. www.emison.com
33. Morales, E. Nuevas aplicaciones de los ultrasonidos al tratamiento de aguas (www.dam-aguas.es)
34. Catálogo DUMO Ultralyzer
35. www.toscano.es : Mejora de un proceso para deshidratar fangos con un pretratamiento por ultrasonidos

12. INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Esquema general del tratamiento de una EDAR.....	11
Figura 2. Etapas de la línea de aguas en una EDAR	12
Figura 3. Rejas (http://www.directindustry.com).....	13
Figura 4. Tamiz (http://www.totagua.com).....	13
Figura 5. Desarenador (http://alojamientos.us.es/grupotar/master/formacion/edar/)	14
Figura 6. Detalle grasas y aceites (http://alojamientos.us.es/grupotar/master/formacion/edar/)	14
Figura 7. Decantador primario (http://alojamientos.us.es/grupotar/master/formacion/edar/)	15
Figura 8. Esquema de fangos activos (27)	16
Figura 9. Lechos bacterianos (www.emasa.es)	17
Figura 10. Biodiscos (www.egevasa.es)	17
Figura 11. Etapas de la línea de fangos.....	19
Figura 12. Espesador de fangos. (https://cadcamcae.wordpress.com/tag/espesador-de-fangos/).....	20
Figura 13. Esquema de un espesador por gravedad	21
Figura 14. Flotación de fangos. (www.cursosmedioambiente.es).....	22
Figura 15. Flotador de fangos circular	22
Figura 16. Esquema de un flotador sin recirculación	23
Figura 17. Esquema de flotación con recirculación	23
Figura 18. Fases de la digestión anaerobia [13]	26
Figura 19. Era de secado (Aurelio Hernández)	28
Figura 20. Era de secado (https://chinndelacruzl.wordpress.com/tag/puno/)	28
Figura 21. Filtro rotativo de tambor. (http://procesosbio.wikispaces.com/Filtración)	29
Figura 22. Filtro prensa (http://hidrometalica.com/filtros-de-prensa/)	30
Figura 23. Filtro banda (http://filtrosbandamuddy.com).....	30
Figura 24. Ejemplo de centrifugadora a contracorriente (http://www.hutch-hayes.com/)	31
Figura 25. Esquema de funcionamiento del secado por convección [16]	32
Figura 26. Esquema de funcionamiento del secado por contacto [16]	32
Figura 27. Esquema de funcionamiento del proceso para obtención de biogás [13].....	38
Figura 28. Esquema de un gasómetro de campana flotante (tipos-de-energia.blogspot.com)	39
Figura 29. Gasómetro de doble membrana (http://www.sustpro.com/)	39
Figura 30. Composición típica de los fangos [5].....	40
Figura 31. Esquema de los métodos de determinación de sólidos en fangos	42
Figura 32. Crecimiento de la microburbuja durante varios ciclos de expansión y compresión	45
Figura 33. Equipo de ultrasonidos (https://www.hielscher.com/es/astm_g32-92.htm).....	46
Figura 34. Funcionamiento del equipo de ultrasonidos (25).....	46
Figura 35. Efecto de los ultrasonidos en el fango [28].....	47
Figura 36. Tamaño de partículas al aplicar ultrasonidos [7]	49
Figura 37. Biogás producido al aplicar ultrasonidos [7]	49

Figura 38. Efecto de los ultrasonidos en la deshidratación del fango	50
Figura 39. Influencia de los ultrasonidos en la eliminación de sólidos totales [25]	51
Figura 40. Esquema de tratamiento propuesto para la línea de fangos	57
Tabla 1. Resultados en EDARs españolas tras aplicar ultrasonidos (19).....	10
Tabla 2. Composición química del biogás (29).....	35
Tabla 3. Características de los fangos primarios y secundarios [12].....	43
Tabla 4. Reducción de sólidos volátiles con y sin ultrasonidos [7].....	48
Tabla 5. Estudio económico del proceso de deshidratación [35]	50
Tabla 6. Concentración sólidos antes y después de aplicar ultrasonidos al fango [28]	52

ANEXO: Cálculos

INDICE ANEXO

Leyenda	4
Diseño del espesador por gravedad para el fango primario.....	6
Diseño del flotador para el fango secundario	9
Diseño del equipo de ultrasonidos.....	13
Diseño del tanque de mezclado	15
Diseño del digestor anaerobio	17
Diseño del deshidratador	20
Índice de tablas y figuras.....	24

LEYENDA

Caudal de fango primario-----	Q_{F1}
Concentración de sólidos en el fango primario-----	SS_{F1}
Concentración de sólidos volátiles en el fango primario -----	SSV_{F1}
Caudal másico de fango primario -----	m_{F1}
Concentración de sólidos en el licor de fango primario -----	SS_{Licor1}
Caudal del licor de fango espesado-----	Q_{Licor1}
Carga de sólidos en el espesador -----	CS_{F1}
Tiempo de retención en el espesador-----	t_{R1}
Área del espesador -----	A_1
Diámetro del espesador -----	D_1
Volumen del espesador -----	V_1
Altura del espesador -----	H_1
Caudal de fango secundario-----	Q_{F2}
Concentración de sólidos en el fango secundario-----	SS_{F2}
Concentración de sólidos volátiles en el fango secundario -----	SSV_{F2}
Caudal másico de fango secundario -----	m_{F2}
Area del flotador-----	A_2
Diámetro del flotador-----	D_2
Carga hidráulica superficial -----	C_h
Concentración de sólidos en el licor de fango secundario-----	SS_{Licor2}
Caudal del licor de fango secundario -----	Q_{Licor2}
Caudal de fango primario espesado-----	Q_{F1c}
Concentración de sólidos en el fango espesado -----	SS_{F1c}
Caudal de fango secundario recirculado-----	Q_R
Concentración de sólidos en el fango secundario recirculado -----	SS_R
Caudal de fango secundario flotado -----	Q_{F2c}
Concentración de sólidos en el fango flotado-----	SS_{F2c}
Caudal de fango secundario que pasa por ultrasonidos -----	Q_{F2c_1}
Caudal de fango secundario que no pasa por ultrasonidos -----	Q_{F2c_2}
Caudal de fango secundario con ultrasonidos -----	Q_{F2us}
Concentración de sólidos en el fango secundario tras US-----	SS_{F2us}

Concentración de sólidos volátiles en el fango secundario tras US -----	SSV_{F2us}
Caudal de fango mixto -----	Q_{FM}
Concentración de sólidos en el fango mixto -----	SS_{FM}
Tiempo de residencia del fango en el tanque de mezclado-----	t_{R_FM}
Volumen del tanque de mezclado-----	V_{tanque}
Caudal de fango digerido -----	Q_{Fdig}
Concentración de sólidos en el fango digerido-----	SS_{Fdig}
Concentración de sólidos no volátiles a la entrada del digestor -----	$SSNV_{FM}$
Concentración de sólidos volátiles a la entrada del digestor -----	SSV_{FM}
Concentración de sólidos no volátiles a la salida del digestor -----	$SSNV_{Fdig}$
Caudal másico a la salida del digestor -----	M_{Fdig}
Caudal de fango deshidratado -----	Q_{Fdesh}
Concentración de sólidos en el fango deshidratado -----	SS_{Fdesh}
Caudal de agua a la entrada del filtro banda -----	Q_{Agua}
Caudal másico a la entrada del filtro banda -----	m_{FB}
Caudal a la entrada del filtro banda en función del ciclo de trabajo-----	Q_{FB}
Ancho de banda del deshidratador -----	AB
Caudal del licor de fango a la salida del filtro banda-----	Q_{LF}
Concentración de sólidos en el licor de fango a la salida del filtro banda -----	SS_{LF}
Caudal de biogás a la salida del digestor -----	$Q_{Biogás}$
Concentración de sólidos en la corriente del biogás-----	$SS_{Biogás}$

DISEÑO DEL ESPESADOR POR GRAVEDAD PARA EL FANGO PRIMARIO.

Tomando los datos de la bibliografía [9], para el diseño de la EDAR se consideran los parámetros mostrados en la tabla 1:

Tabla 1. Parámetros del espesador [9]

	Rango	Adoptado
Concentración de sólidos en el fango primario	1,5-3%	$SS_{F1} = 2\%$
Porcentaje de sólidos volátiles	70-80%	$SSV_{F1} = 70\%$
Caudal másico de fango primario	30-36 g/(he·d)	$m_{F1} = 32 \text{ g}/(\text{he} \cdot \text{d})$
Concentración de sólidos en el fango espesado	5-6%	$SS_{F1c} = 6\%$
Concentración de sólidos en el licor de fango	0 - 0,1 kg/m ³	$SS_{L1c} = 0,08 \text{ kg}/\text{m}^3$
Carga de sólidos	90-120 kgSS/(m ² ·d)	$CS_{F1} = 120 \text{ kgSS}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$
Tiempo de retención	1-2 d	$t_{R1} = 1 \text{ d}$

La carga de sólidos se define como el cociente entre los kg de sólidos que entran diariamente al espesador y la sección del mismo. Para fangos primarios se considera una carga de sólidos entre 90 y 120 kgSS/(m²·d) [12].

Partiendo de que la producción de fango primario es 32 g/(he·d) y de que la EDAR que se pretende diseñar es de 100.000 he., el caudal másico de entrada de fangos es :

$$m_{F1} = 32 \frac{\text{g}}{\text{he} \cdot \text{d}} \cdot 100.000 \text{ he} \cdot \frac{\text{kg}}{1000 \text{ g}} = 3.200 \frac{\text{kgSS}}{\text{d}}$$

Puesto que el peso específico del fango puede aproximarse a 1 kg/L [23], y suponiendo que el fango primario tiene un porcentaje de sólidos del 2%, la concentración de sólidos en el fango primario es:

$$SS_{F1} = 2\% = \frac{2 \text{ kg sólidos}}{100 \text{ kg fango}} \cdot \frac{1 \text{ kg fango}}{1 \text{ L fango}} \cdot \frac{1000 \text{ L fango}}{1 \text{ m}^3} = 20 \text{ kgSS}/\text{m}^3$$

Del mismo modo, tras la concentración, se considera que el fango llega a espesarse hasta un 6%, es decir, hasta una concentración de 60 kgSS/m³.

Con estos datos, se calcula el caudal volumétrico de entrada al espesado:

$$Q_{F1} = \frac{3200 \text{ kgSS/d}}{20 \text{ kgSS/m}^3} = 160 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Con los datos anteriores y, a partir del parámetro de diseño, carga de sólidos, puede calcularse la sección transversal del espesador empleando la siguiente ecuación:

$$A_1 = \frac{SS_{F1} \cdot Q_{F1}}{CS_{F1}} = \frac{20 \frac{\text{kgSS}}{\text{m}^3} \cdot 160 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{120 \frac{\text{KgSS}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}} = 26,7 \text{ m}^2 \sim 27 \text{ m}^2$$

Conociendo el área transversal, y teniendo en cuenta que el espesador es circular, podemos obtener el dato del diámetro necesario:

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \cdot D_1^2$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{4A_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 27}{\pi}} = 5,86 \text{ m} \sim \mathbf{6m}$$

El volumen del tanque depende del caudal de fango y del tiempo de residencia, en este caso 1 día. Viene dado por la siguiente ecuación:

$$V_1 = Q \cdot t_{R1} = 160 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot 1\text{d} = 160 \text{ m}^3$$

De modo que la altura del tanque se calcula de la siguiente manera:

$$H_1(\text{m}) = \frac{V_1(\text{m}^3)}{A_1(\text{m}^2)} = \frac{160}{27} = 5,92 \text{ m} \sim 6\text{m}$$

- Balance de materia en el espesador (Figura 1):

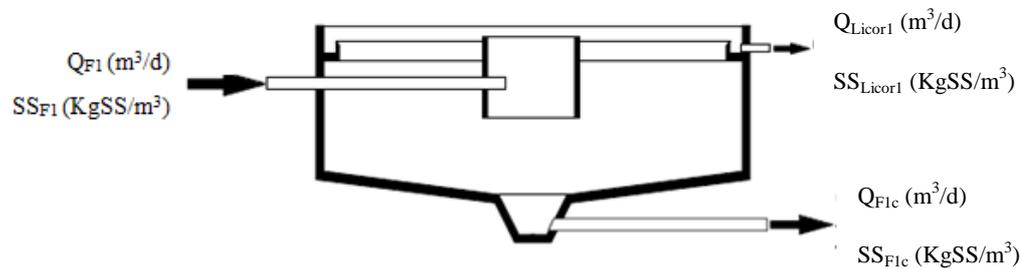


Figura 1. Balance materia en el espesador (23)

$$Q_{F1} = Q_{Licor1} + Q_{F1c}$$

$$Q_{F1} \cdot SS_{F1} = Q_{Licor1} \cdot SS_{Licor1} + Q_{F1c} \cdot SS_{F1c}$$

$$160 = Q_{Licor1} + Q_{F1c}$$

$$160 \cdot 20 = Q_{Licor1} \cdot 0,08 + Q_{F1c} \cdot 60$$

Se resuelve el sistema de modo que:

$$\text{Caudal del licor de fangos: } Q_{Licor1} = 106,8 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Caudal de la corriente de fangos a la salida del espesador: } Q_{F1c} = 53,2 \text{ m}^3/\text{d}$$

DISEÑO DEL FLOTADOR PARA EL FANGO SECUNDARIO

Para el diseño, se va a considerar la flotación con recirculación del licor de fango.

Para determinar el caudal de recirculación (Q_R), es necesario conocer el parámetro A/S, valor que relaciona los kg de aire liberados diariamente por presurización, y la masa de sólidos necesarios para obtener una determinada concentración de sólidos. Para hallar este dato, es necesario recurrir a la gráfica que ilustra la figura 2:

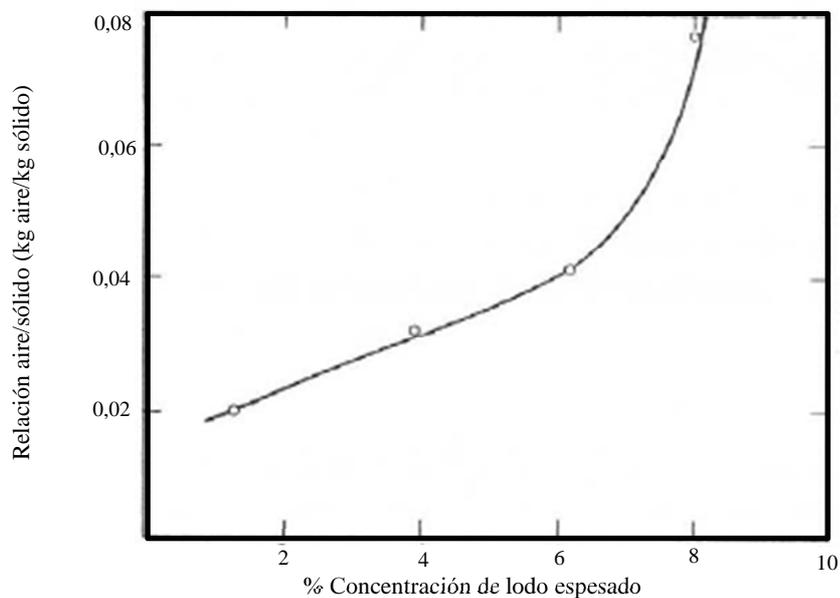


Figura 2. Relación A/S con la concentración del fango (9)

De modo que se puede relacionar el parámetro A/S con el caudal de recirculación, tal y como muestra la ecuación 1 [9]:

$$\frac{A}{S} = \frac{Q_R}{Q_0} \cdot \frac{\rho_a \cdot \delta_a \cdot (f \cdot P - 1)}{X_0} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Siendo,

ρ_a = densidad del aire a $P=1$ atm y a la temperatura de trabajo

δ_a = solubilidad del aire en agua a $P=1$ atm y a la temperatura de trabajo

F = factor que expresa la saturación incompleta.

P = Presión de trabajo

Q_0 = Caudal de entrada al flotador

X_0 = Concentración de sólidos a la entrada del flotador.

Para calcular Q_R , son necesarios los datos que se muestran en la tabla 2 [9]:

Tabla 2. Parámetros del flotador

	Rango	Adoptado
Concentración de sólidos en el fango secundario	0,5 -1%	$SS_{F2} = 0,9 \%$
Caudal másico de fango secundario a la entrada	18 – 29 g/(he·d)	$m_{F2} = 22 \text{ g}/(\text{he}\cdot\text{d})$
Porcentaje sólidos volátiles en el fango secundario	80-90%	$SSV_{F2} = 80\%$
Concentración de sólidos en el fango flotado	3-5%	$SS_{F2c} = 3\%$
Concentración de sólidos en el licor de fango	0-0,1 kg/m ³	$SS_{Lícor2} = 0,03 \text{ kg}/\text{m}^3$
Carga hidráulica superficial [24]	115-230 m ³ /(m ² ·d)	$C_h = 130 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{d})$
Presión de trabajo	2-6 atm	$P = 2,9 \text{ atm}$
Temperatura de trabajo	15- 40 °C	20 °C
Factor F	0 - 1	0,5

Además, los datos de solubilidad y densidad del aire a presión atmosférica están tabulados, como se puede ver en la tabla 3:

Tabla 3. Solubilidad y densidad del aire a presión atmosférica [9]

Temperatura (°C)	Solubilidad (mL/L)	Densidad (g/L)
0	28,8	1,292
10	23,5	1,249
20	20,1	1,206
30	17,9	1,166
40	16,4	1,130
50	15,6	1,093

Teniendo en cuenta la bibliografía [9], se selecciona una producción de fangos secundarios en la línea de aguas de 22 g/(he·d), de modo que el caudal másico de entrada al espesador es:

$$m_{F2} = 22 \frac{\text{g}}{\text{he} \cdot \text{d}} \cdot 100.000 \text{ he} \cdot \frac{\text{kg}}{1000 \text{ g}} = 2.200 \frac{\text{kgSS}}{\text{d}}$$

Puesto que se ha estimado que se parte de un fango con una concentración del 0,9% ($SS_{F2} = 9\text{kgSS}/\text{m}^3$), el caudal volumétrico se obtiene de la siguiente manera:

$$Q_{F2} = \frac{2200 \text{ kgSS}/\text{d}}{9 \text{ kgSS}/\text{m}^3} = 245 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Para determinar el diámetro del flotador, en primer lugar, se estima una concentración de sólidos en el fango concentrado del 3% ($SS_{F2c} = 30\text{kgSS}/\text{m}^3$).

A partir de la figura 2 se determina la relación $A/S = 0,028 \text{ Kg aire}/\text{Kg sólido}$.

Para calcular el caudal que se recircula se emplea la ecuación 1 descrita anteriormente, de modo que, despejando Q_R se obtiene:

$$Q_R = \frac{A/S \cdot Q_{F2} \cdot SS_{F2}}{\rho_a \cdot \delta_a \cdot (f \cdot P - 1)} = \frac{0,028 \frac{\text{Kg aire}}{\text{Kg sólido}} \cdot 245 \frac{\text{m}^3_{\text{fango}}}{\text{d}} \cdot 9 \frac{\text{Kg SS}}{\text{m}^3_{\text{fango}}}}{1,206 \frac{\text{Kg aire}}{\text{m}^3_{\text{aire}}} \cdot 20,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3_{\text{aire}}}{\text{m}^3_{\text{agua}}} \cdot (0,5 \cdot 2,9 - 1)} = 5660 \frac{\text{m}^3_{\text{agua}}}{\text{d}}$$

A continuación se determina el área del flotador teniendo en cuenta tanto el caudal de entrada como el recirculado, además de la carga hidráulica seleccionada (parámetro de diseño).

$$A_2 = \frac{Q_{F2} + Q_R}{C_h} = \frac{245 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} + 5660 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{130 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}} = 45,4 \text{ m}^2$$

Por último, a partir del área transversal, y contando con que el flotador es circular, se obtiene el dato del diámetro necesario:

$$D_2 = \sqrt{\frac{4A_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 45,4}{\pi}} = 7,6 \text{ m} \sim \mathbf{8m}$$

- Balance de materia en el flotador (figura 3):

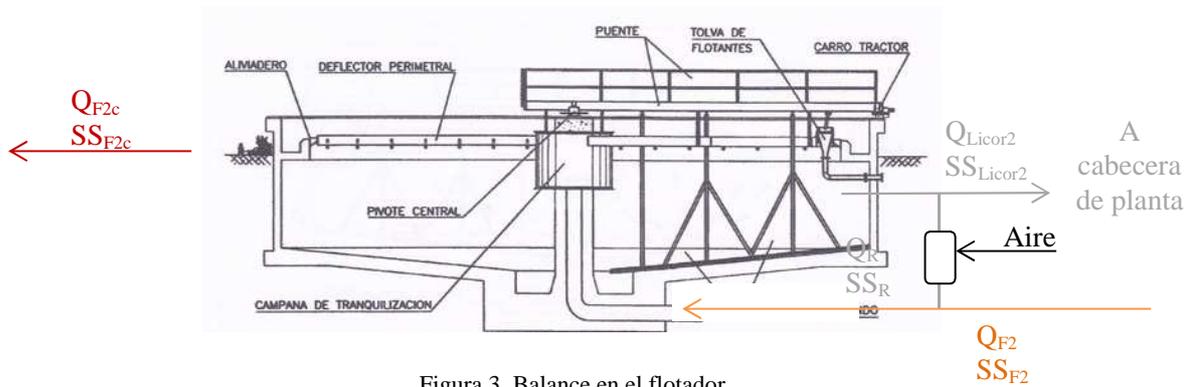


Figura 3. Balance en el flotador

Se realiza un balance de todas las corrientes de entrada y salida al flotador de fangos:

$$Q_{F2} = Q_{Licor2} + Q_{F2c}$$

$$Q_{F2} \cdot SS_{F2} = Q_{Licor2} \cdot SS_{Licor2} + Q_{F2c} \cdot SS_{F2c}$$

$$245 = Q_{Licor2} + Q_{F2c}$$

$$245 \cdot 9 = Q_{Licor2} \cdot 0,03 + Q_{F2c} \cdot 30$$

Se resuelve el sistema de modo que:

$$\text{Caudal del licor de fangos: } Q_{Licor2} = 171,84 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Caudal de la corriente de fangos a la salida del flotador: } Q_{F2c} = 73,16 \text{ m}^3/\text{d}$$

DISEÑO DEL EQUIPO DE ULTRASONIDOS

Del total de fango secundario que se concentra en el flotador, se adopta una fracción del 30% (Q_{F2c_1}) que será la que pase por el equipo de ultrasonidos (figura 4), de modo que, a la entrada del equipo de ultrasonidos, tenemos los siguientes datos:



Figura 4. Balance en el equipo de ultrasonidos

$$Q_{F2c_1} = 0,30 \cdot Q_{F2c} = 0,30 \cdot 73,16 = 21,95 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$SS_{F2c} = 30 \text{ kgSS}/\text{m}^3$$

Según la bibliografía [34], cada módulo del sistema DUMO ultralyzer está compuesto por 5 osciladores con una potencia máxima de 1,4 kW cada uno, de forma que un módulo estándar puede tratar un caudal de fango de hasta $30 \text{ m}^3/\text{d}$, siendo el rendimiento mayor cuanto menor sea la concentración de sólidos.

El caudal de entrada al equipo es $Q_{F2c_1} = 21,95 \text{ m}^3/\text{d}$ con una concentración de sólidos de $30 \text{ kgSS}/\text{m}^3$. A la salida, el caudal es el mismo que a la entrada del equipo:

$$Q_{F2c_1} = Q_{F2us} = 21,95 \text{ m}^3/\text{d}$$

De modo que la instalación constará de un reactor con cinco cabezales, a fin de que pueda tratar todo el caudal de entrada.

Según la bibliografía [28], la concentración de sólidos no varía significativamente tras aplicar ultrasonidos al fango mixto, de forma que a la salida del equipo la concentración sería prácticamente la misma que a la entrada:

$$SS_{F2us} = SS_{F2c} = 30 \text{ kgSS}/\text{m}^3$$

Según el catálogo de DUMO Ultralyzer (Desintegrador Ultrasónico de Materia Orgánica) [34], cada módulo del sistema DUMO ultralyzer está compuesto por 5 osciladores con una potencia máxima de 1,4 kW cada uno, de forma que un módulo estándar puede tratar un caudal de fango de hasta $30 \text{ m}^3/\text{d}$, siendo el rendimiento mayor cuanto menor sea la concentración de sólidos.

El sistema DUMO Ultralyzer se caracteriza por tener un formato compacto, de fácil conexión y carácter modular.

Presenta las siguientes características técnicas (Tabla 4):

Tabla 4. . Características técnicas del equipo DUMO Ultralyzer [34]

Capacidad del reactor	30 m ³ /día (30-50% del fango total)
Número de generadores por reactor	5
Potencia máxima	7000W (1400 W/generador)
Potencia nominal	5000 W (1000 W/generador)
Tensión alimentación	400 V/±10% 50/60 Hz
Tensión HF	800 V/20 kHz
Frecuencia ultrasonidos	20 kHz/±0,5 kHz
Intensidad ultrasonidos	25-50 W/cm ²
Eficiencia energética	85%
Corriente absorbida máxima total	32,5 A
Corriente absorbida (a 1000 W) total	24 A
Longitud máxima de cable RF	10 m
Máximo periodo ON en Pmax	100%
Clase protección	IP54
Humedad relativa del aire	90% sin condensación
Temperatura ambiental	Máx. 40°C
Nivel de ruido	100 dB (75 dB con cubierta)
Dimensiones reactor (p x a x h)	17 x 140 x 133 mm
Dimensiones cubierta (p x a x h)	40 x 133 x 130 cm
Conexión tubería	DN 50 mm
Volumen efectivo del reactor	29 litros
Tiempo de retención hidráulica	1-2 minutos
Peso sin carcasa	160 kg

DISEÑO DEL TANQUE DE MEZCLADO

Antes de entrar al digester, las distintas corrientes de fango se mezclan en un tanque agitado (figura 5). Las corrientes de entrada proceden del fango primario espesado (Q_{F1c}), del fango secundario tratado con ultrasonidos (Q_{F2us}) y del fango secundario concentrado que no se ha sometido al tratamiento por ultrasonidos (Q_{F2c_2}). Siendo, este último, el 70% del fango que sale del flotador. La corriente de salida del tanque de mezclado se conoce como fango mixto (Q_{FM}).

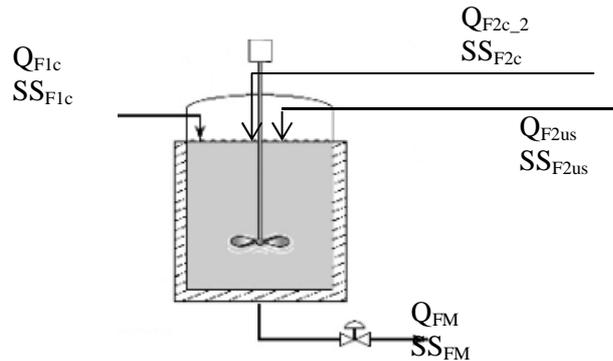


Figura 5. Balance en el tanque de mezclado

Así pues, los datos a la entrada del tanque de mezclado son los que se muestran en la tabla 5:

$$Q_{F2c_2} = 0,7 \cdot Q_{F2c} = 0,7 \cdot 73,16 = 51,21 \text{ m}^3/\text{d}$$

Tabla 5. Datos de entrada al tanque de mezclado

SS_{F1c}	60 kgSS/m ³
Q_{F1c}	53,2 m ³ /d
Q_{F2us}	21,95 m ³ /d
SS_{F2us}	30 kgSS/m ³
SS_{F2c}	30 kgSS/m ³
Q_{F2c_2}	51,21 m ³ /d

Se trata de un depósito de alimentación del digester en el que se juntan tres corrientes, dando lugar al fango mixto. De manera que, en la corriente de salida, el caudal (Q_{FM}) es la suma de los caudales de entrada:

$$Q_{F1c} + Q_{F2us} + Q_{F2c_2} = Q_{FM}$$

$$Q_{FM} = 53,2 + 21,95 + 51,21 = 126,36 \text{ m}^3/\text{d}$$

Tras hacer un balance de materia se obtiene la concentración de sólidos que contiene el fango mixto (SS_{FM}).

$$Q_{FM} \cdot SS_{FM} = Q_{F1c} \cdot SS_{F1c} + Q_{F2us} \cdot SS_{F2us} + Q_{F2c_2} \cdot SS_{F2c}$$

$$Q_{FM} \cdot SS_{FM} = 53,2 \cdot 60 + 21,95 \cdot 30 + 51,21 \cdot 30 = 5386,8 \text{ kg/d}$$

$$SS_{FM} = \frac{5386,8}{126,36} = 42,6 \text{ kgSS/m}^3$$

Considerando un tiempo de residencia en el tanque de 60 minutos, el volumen necesario del tanque se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$V_{\text{tanque}} = Q_{FM} \cdot t_{R_FM} = 126,36 \text{ m}^3/\text{d} \cdot 60 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ d}}{1440 \text{ min}} = \mathbf{5,26 \text{ m}^3}$$

Se ha de tener en cuenta que no todos los SS son orgánicos. En este caso se supone que el 70% de los sólidos procedentes del fango primario son volátiles, y también el 80% de los sólidos provenientes del fango secundario. Sin embargo, para la fracción de fango secundario que ha sido sometido a ultrasonidos, su porcentaje en volátiles se incrementa hasta el 90%. Con estos datos, se calcula la concentración de sólidos volátiles en el fango mixto.

$$Q_{FM} \cdot SSV_{FM} = Q_{F1c} \cdot SSV_{F1c} + Q_{F2us} \cdot SSV_{F2us} + Q_{F2c_2} \cdot SSV_{F2c}$$

$$Q_{FM} \cdot SSV_{FM} = Q_{F1c} \cdot 0,7 \cdot SS_{F1c} + Q_{F2us} \cdot 0,9 \cdot SS_{F2us} + Q_{F2c_2} \cdot 0,8 \cdot SS_{F2c}$$

$$Q_{FM} \cdot SSV_{FM} = 53,2 \cdot 0,7 \cdot 60 + 21,95 \cdot 0,9 \cdot 30 + 51,21 \cdot 0,8 \cdot 30 = 4056,09$$

$$SSV_{FM} = \frac{4056,09}{126,36} = 32 \text{ kgSS/m}^3$$

DISEÑO DEL DIGESTOR ANAEROBIO

Los parámetros de diseño del digestor anaerobio son los expresados en la tabla 6 [9, 12, 26]:

Tabla 6. Parámetros del digestor

	Rango	Adoptado
Temperatura	34 – 38° C	35°C
T_R digestor (34-36° C)	10-20 d.	20 d
Eliminación SSV	45 – 50%.	(45%) - 55 % ¹
Carga SSV	1,6 - 4 kgSSV/(m ³ ·d)	2,6 kgSSV/(m ³ ·d)
Generación de gas metano	0,65 m ³ CH ₄ /kgSSV _{eliminados}	0,65 m ³ CH ₄ /kgSSV _{eliminados}
Poder calorífico del biogás	5.000 – 5.500 kCal/m ³	5.500 kCal/m ³
Composición biogás	65-70% CH ₄ y 25-30% CO ₂	70% CH ₄ y 30% CO ₂

Para calcular el volumen del tanque se tiene en cuenta que el tiempo de retención del fango es de 20 días.

$$V=Q_{FM} \cdot t_R = 126,36 \frac{m^3}{d} \cdot 20 d = 2527,2 m^3 \sim \mathbf{2600 m^3}$$

A continuación del reactor biológico el fango pasará a otro reactor anaerobio, con la mitad de volumen que el primero. Aunque sigue consumiéndose algo de materia orgánica, su función principal es actuar como un reactor pulmón, de modo que, almacena el fango y cubre la demanda de fango del deshidratador únicamente durante su ciclo de trabajo. Así pues, el volumen de este segundo digestor es de 1300 m³.

¹ Se considera un rendimiento del digestor del 45%, pero tras la aplicación de los ultrasonidos el rendimiento puede alcanzar hasta un 55% [33]

- Balance en el digestor (figura 6):

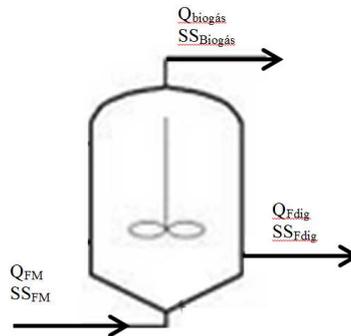


Figura 6. Balance en el digestor

La corriente de entrada al digestor presenta las características expuestas en la tabla 7, de forma que, el 75% de los sólidos están compuestos por materia orgánica.

Tabla 7. Datos de entrada al digestor

Q_{FM}	126,36 m ³ /d
SS_{FM}	42,6 kgSS/m ³
SSV_{FM}	32 kgSS/m ³

Durante la digestión, y tras la aplicación de los ultrasonidos, el 55% de la materia orgánica es consumida por los microorganismos y liberada en forma de gas [10]. Se estima una generación de 0,65 m³ de gas metano por cada kg de materia volátil consumida. A su vez, con la aplicación de ultrasonidos, esta generación puede aumentar en un 18% [4], de forma que puede expresarse el metano generado por medio de la siguiente ecuación:

$$SSV_{FM} \cdot 0,65 \frac{\text{m}^3\text{CH}_4}{\text{kgSSVFM}} \cdot 0,55 \cdot \frac{118}{100} = 32 \frac{\text{kgSSV}}{\text{d}} \cdot 0,65 \frac{\text{m}^3\text{CH}_4}{\text{kgSSVFM}} \cdot 0,55 \cdot \frac{118}{100} = 13,5 \frac{\text{m}^3\text{CH}_4}{\text{d}}$$

EL biogás está compuesto principalmente por metano, pero también por otros gases como el dióxido de carbono. Según datos bibliográficos [9], el porcentaje de metano en el biogás es del 70%. Por eso, el biogás que se genera puede calcular con la siguiente ecuación:

$$70\% \cdot Q_{biogás} = 13,5 \frac{\text{m}^3\text{CH}_4}{\text{d}}$$

$$Q_{biogás} = \frac{13,5 \cdot 100}{70} = 19,28 \frac{\text{m}^3\text{biogás}}{\text{d}}$$

De esta forma, aunque cambien las características del fango, se considera que el caudal a la entrada del digestor es el mismo que a la salida.

$$Q_{\text{Fdig}} = Q_{\text{FM}} = 126,36 \text{ m}^3/\text{d}$$

La concentración de sólidos volátiles que queda tras la digestión, teniendo en cuenta que se consumen el 55%, es de:

$$\text{SSV}_{\text{Fdig}} = 0,45 \cdot \text{SSV}_{\text{FM}} = 0,45 \cdot 32 = 14,4 \text{ kgSS}/\text{m}^3$$

Puesto que la concentración de sólidos no volátiles (SSNV) no se ve afectada por la digestión, y que la corriente de biogás no contiene sólidos en suspensión, la concentración de sólidos totales digeridos es de:

$$\text{SSNV}_{\text{Fdig}} = \text{SSNV}_{\text{FM}}$$

$$\text{SSNV}_{\text{FM}} = \text{SS}_{\text{FM}} - \text{SSV}_{\text{FM}} = 42,6 - 32 = 10,6 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$\text{SS}_{\text{Fdig}} = \text{SSV}_{\text{Fdig}} + \text{SSNV}_{\text{Fdig}} = 14,4 + 10,6 = 25 \text{ kg}/\text{m}^3$$

- Comprobación de la carga orgánica:

Tras la concentración de los fangos primarios y secundarios se llega a conseguir aproximadamente un 4% de sólidos en el fango a la entrada del digestor. Si además, como ya se ha comentado, el 75% es materia orgánica, y tomando una densidad del fango de $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ [9], la cantidad de materia orgánica que se obtiene al día es de:

$$126,36 \frac{\text{m}^3 \text{ fango}}{\text{d}} \cdot 0,04 \frac{\text{kgMS}}{\text{kg fango}} \cdot \frac{1000 \text{ kg fango}}{\text{L fango}} \cdot \frac{75 \text{ kgMO}}{100 \text{ kgMS}} = 3790,8 \frac{\text{kg MO}}{\text{d}}$$

Si, a continuación, se divide por el volumen del digestor queda:

$$\text{C.O.} = \frac{3790,8 \frac{\text{kg MO}}{\text{d}}}{2600 \text{ m}^3} = 1,458 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{d}}$$

DISEÑO DEL DESHIDRATADOR

Se opta por un deshidratador filtro banda. El objetivo del diseño es calcular la anchura de banda que debe tener el equipo.

Las características del fango son: un fango digerido anaerobiamente con una concentración de 45 g/L (45kg/m^3) y un porcentaje de materia orgánica del 40%. Según el catálogo, este fango puede llegar a deshidratarse hasta obtener un porcentaje de sólidos entre 20-30% [9].

En este caso en concreto, se opta por una máquina VSIF, dado que tiene mayor rango de materia seca en el que puede trabajar. Tomando los datos de la figura 7, para este modelo, se estima la cantidad de materia seca que se genera por hora y metro de banda, al igual que el porcentaje de sequedad obtenido, en función del tipo de fango y la máquina empleada.

Tipo de Fango	Máquina	Materia seca en Kg/h/m					Sequedad %								
		100	200	300	400	500	5	10	15	20	25	30	35	40	
Urbano aireación prolongada o aerobio estabilizado 25 g/l 50% m.o.	VS MI	■						■	■						
	VS IC	■						■	■						
	VS IP	■						■	■						
	VS IF	■	■					■	■						
Urbano mixto fresco 50 g/l 65% m.o.	VS IP		■	■						■					
	VS IF		■	■	■					■	■				
Urbano digerido anaerobio 45 g/l 40% m.o.	VS IP		■	■						■	■				
	VS IF		■	■	■					■	■	■			
Urbano físico-químico 70 g/l 70% m.o.	VS IP			■	■					■	■				
	VS IF			■	■	■				■	■	■			

Figura 7. Datos de diseño y selección del modelo filtro banda. (Andritz)

A partir de los datos de la figura 7, se calcula el ancho de banda.

La corriente de fango procedente del digestor presenta las siguientes características:

$$Q_{\text{Fdig}} = 126,36 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$SS_{\text{Fdig}} = 25 \text{ kgSS/m}^3$$

De modo que el caudal másico a la entrada del filtro banda es de:

$$m_{\text{Fdig}} = Q_{\text{Fdig}} \cdot SS_{\text{Fdig}} = 126,36 \cdot 25 = 3159 \text{ kgSS/d}$$

Se establece un ciclo de trabajo para el filtro banda de 5 días a la semana y 8 horas al día. De modo que el caudal a la entrada del deshidratador se fija en función del ciclo de trabajo.

$$m_{FB} = m_{Fdig} \cdot \frac{7 \text{ d}}{\text{semana}} \cdot \frac{1 \text{ semana}}{5 \text{ días}} \cdot \frac{1 \text{ d}}{8 \text{ h}} = 3159 \frac{\text{kgSS}}{\text{d}} \cdot \frac{7}{1} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{8} = 552,82 \frac{\text{kgSS}}{\text{h}}$$

El ancho de banda necesario se calcula seleccionando un valor de carga másica (figura 7):

$$AB = \frac{m_{FB}}{300 \frac{\text{kgSS}}{\text{h-m}}} = \frac{552,82 \frac{\text{kgSS}}{\text{h}}}{300 \frac{\text{kgSS}}{\text{h-m}}} = 1,84 \text{ m} \sim \mathbf{2m}$$

Teniendo en cuenta este valor de ancho de banda, se selecciona de la tabla 8 el modelo de filtro banda, siendo en este caso el modelo VS-20 IF.

Tabla 8. Modelos de filtro banda

Datos	VS-10 IF	VS-15 IF	VS-20 IF	VS-25 IF	VS-30 IF
Ancho de banda (m)	1	1,5	2	2,5	3
Dimensiones a(m); l:2,5; h:1,78m	1,93	2,43	2,93	3,43	3,93
Peso (t)	6,10	6,90	7,70	9,10	9,80
Agua lavado 8 bar (m ³ /h)	6	9	12	16	20

A continuación se realiza un balance de materia al filtro banda para determinar el caudal de fango deshidratado que se obtiene así como el licor del fango que se recirculará a cabecera de depuradora

-Balance de materia en el filtro banda (figura 8):

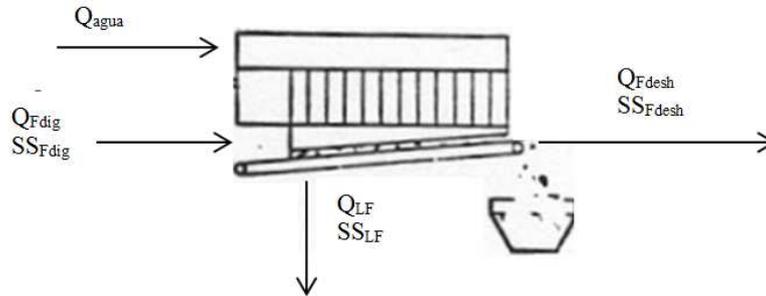


Figura 8. Balance en el filtro banda

Existen dos corrientes de entrada al filtro banda, la proveniente del digestor, y una entrada de agua a presión para limpiar las bandas (Q_{Agua}). A su vez, las corrientes de salidas son las del fango deshidratado (Q_{Fdes}) y el licor de fango (Q_{LF})

Según el modelo de filtro banda escogido, la corriente de agua que se consume en el proceso de limpieza es de $Q_{\text{Agua}} = 12 \text{ m}^3/\text{h}$ (tabla 7).

Tal y como se ha calculado previamente, los datos a la entrada del deshidratador, teniendo en cuenta el ciclo de trabajo son:

$$m_{\text{FB}} = 552,82 \frac{\text{kgSS}}{\text{h}}$$

$$SS_{\text{Fdig}} = 25 \text{ kgSS}/\text{m}^3$$

De modo que, se calcula el caudal volumétrico de entrada al filtro banda:

$$Q_{\text{FB}} = \frac{m_{\text{FB}}}{SS_{\text{Fdig}}} = \frac{552,82}{25} = 22,11 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

El balance de masas queda de la siguiente manera:

$$Q_{\text{Agua}} + Q_{\text{FB}} = Q_{\text{LF}} + Q_{\text{Fdes}} = 12 + 22,11$$

$$Q_{\text{LF}} + Q_{\text{Fdes}} = 34,11 \text{ m}^3/\text{h}$$

Según el tipo de fango presente, tomando los datos de la figura 7, se adquiere una sequedad del 25%, esto es:

$$SS_{\text{Fdes}} = 25\% = \frac{25 \text{ kg sólidos}}{100 \text{ kg fango}} \cdot \frac{1 \text{ kg fango}}{1 \text{ L fango}} \cdot \frac{1000 \text{ L fango}}{1 \text{ m}^3} = 250 \text{ kgSS}/\text{m}^3$$

Para calcular los caudales de salida, se hace un balance de materia a los sólidos y se resuelve el sistema generado:

$$Q_{\text{Agua}} \cdot 0 + Q_{\text{FB}} \cdot SS_{\text{Fdig}} = Q_{\text{LF}} \cdot SS_{\text{LF}} + Q_{\text{Fdes}} \cdot SS_{\text{Fdes}}$$

$$22,11 \cdot 25 = Q_{\text{LF}} \cdot SS_{\text{LF}} + Q_{\text{Fdes}} \cdot 250$$

Considerando que la corriente de licor de fango a la salida del filtro banda tiene una concentración en sólidos de $0,95 \text{ kg/m}^3$:

$$SS_{\text{LF}} = 0,95 \text{ kg/m}^3$$

$$22,11 \cdot 25 = Q_{\text{LF}} \cdot 0,95 + Q_{\text{Fdes}} \cdot 250$$

Se resuelve el sistema:

$$Q_{\text{LF}} + Q_{\text{Fdes}} = 34,11 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$552,75 = Q_{\text{LF}} \cdot 0,95 + Q_{\text{Fdes}} \cdot 250$$

De modo que:

$$Q_{\text{LF}} = 32,02 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{\text{Fdes}} = 2,09 \text{ m}^3/\text{h}$$

A continuación se muestran los datos técnicos del filtro banda escogido para el diseño, de la marca TEFSA (Tabla 9).

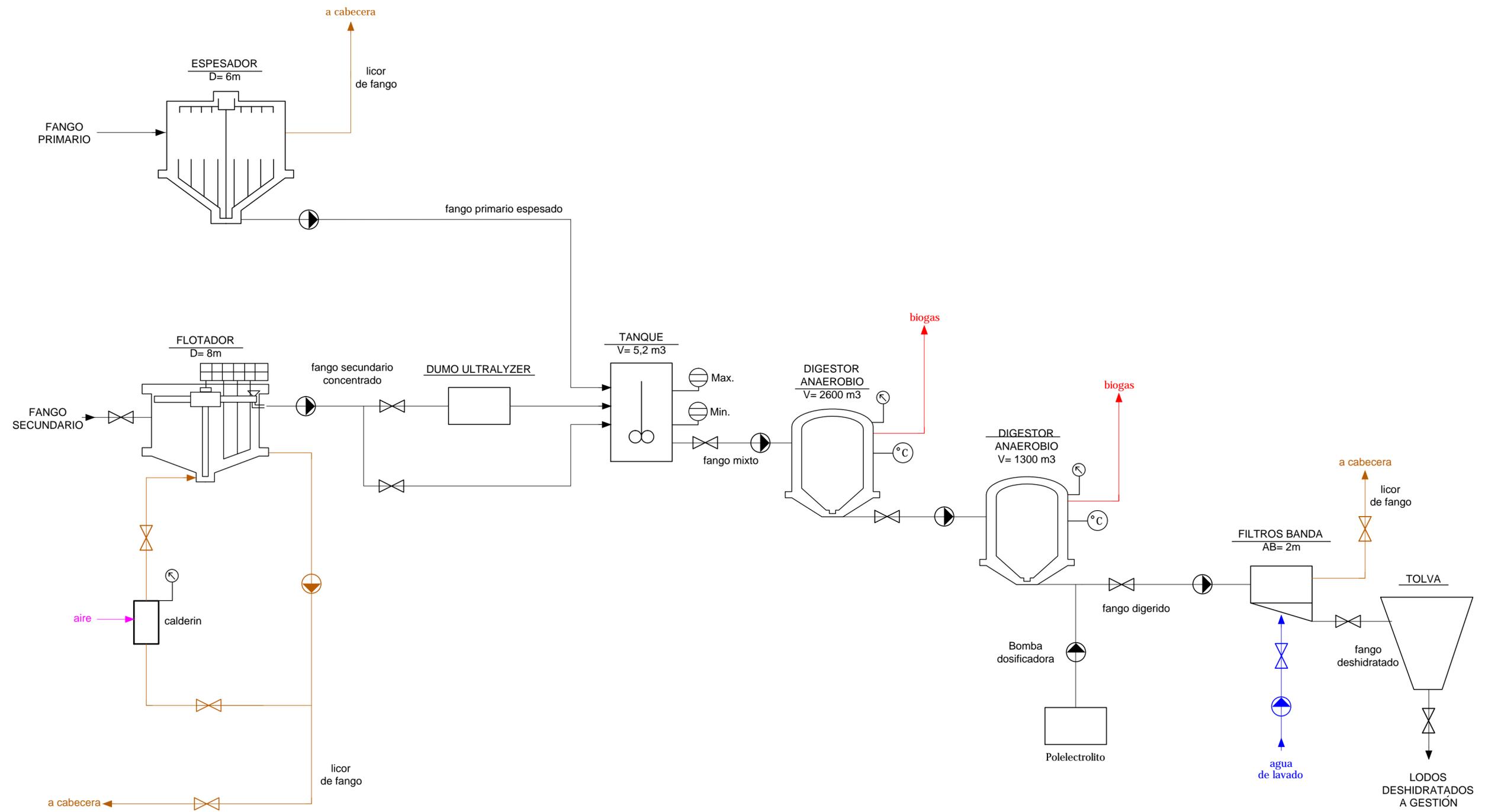
Tabla 9. Ficha técnica filtro banda (TEFSA)

Longitud/Anchura/Altura	4.903/2.674/2.510 mm
Peso del filtro en vacío	6.500 Kg
Anchura de banda	2.000 mm.
Longitud de banda inferior	19.100 mm
Longitud de banda superior	16.900 mm
Material de la banda	Poliéster
Tipo de unión de las bandas	Klipper
Velocidad de la banda (min/máx)	0,83/4,42 m/min
Superficie útil de filtración total	34,40 m ²
* Zona de predeshidratación	6,80 m ²
* Zona de prensado	13,00 m ²
* Zona de cizalladura	14,60 m ²
Presión agua de lavado	7,5 bar a punta de rociador
Caudal agua de lavado	13 m ³ /h máximo
Condiciones del agua de lavado	Tamaño sólidos en suspensión <150µ
Presión de aire de trabajo	6 bar
Caudal de aire máximo	120 NI/h
Tipo accionamiento	Motorreductor
Potencia instalada	1,85 kW (con variador de frecuencia)
Tensión	220/380 V 50 Hz
Protección	IP 55

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figura 1. Balance materia en el espesador (23).....	8
Figura 2. Relación A/S con la concentración del fango (9)	9
Figura 3. Balance en el flotador	12
Figura 4. Balance en el equipo de ultrasonidos.....	13
Figura 5. Balance en el tanque de mezclado	15
Figura 6. Balance en el digestor	18
Figura 7. Datos de diseño y selección del modelo filtro banda. (Andritz)	20
Figura 8. Balance en el filtro banda	22
Tabla 1. Parámetros del espesador [9]	6
Tabla 2. Parámetros del flotador	10
Tabla 3. Solubilidad y densidad del aire a presión atmosférica [9].....	10
Tabla 4. . Características técnicas del equipo DUMO Ultralyzer [34].....	14
Tabla 5. Datos de entrada al tanque de mezclado	15
Tabla 6. Parámetros del digestor	17
Tabla 7. Datos de entrada al digestor	18
Tabla 8. Modelos de filtro banda	21
Tabla 9. Ficha técnica filtro banda (TEFSA)	23

PLANO



<p>TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES</p> <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p> <p>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA</p>	<p>Proyecto:</p> <p>DISEÑO DE UNA LÍNEA DE FANGOS INCLUYENDO ULTRASONIDOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA DIGESTION ANAEROBIA (100000 h.e.)</p>
	<p>Fecha:</p> <p>Julio 2016</p>
	<p>Plano:</p> <p>Línea de fangos</p>
	<p>Nº Plano:</p> <p>1</p>
	<p>Cristina Abarca Cuenca</p> <p>Autor proyecto</p>

PRESUPUESTO

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

Mediciones	3
Presupuesto por capítulos.....	8
Resumen del presupuesto	13

Diseño de una línea de fangos incluyendo ultrasonidos para la optimización de la digestión anaerobia (100.000 he)

Código	Ud	Resumen						Cantidad
C3.02.02	ud	Sistema de recirculacion del licor de fango						1,00
		Conjunto equipos para la recirculacion del fango. Incluye válvulas, bombas y tuberías destinadas a la recirculación del fango. Precio estimado en proporcion a la instalacion del espesador por flotación. Incluye compresor de aire rotativo de tornillo, preparado para el funcionamiento continuo o alternativo, dotado de caja de insonorización. y válvula de purga automática, para evitar en lo posible la acumulación de condensados en la red. Incorporación de calderín, y manómetro para medida de la presión.						
C3.02.03	ud	Extracción de fangos						1,00
		Conjunto equipo para la regulación de la extracción de fango del flotador. Compuesta por: válvula automática de extracción tipo guillotina, diámetro 40 mm, con acondicionamiento automático, de fundición. Junto con equipos de alimentación de aire a presión. Conjunto de soporte de acero inoxidable. Incluso ayudas de albañilería y elemento auxiliares de montaje. Totalmente montado y funcionando.						
							C3.02	1,00
							C3	1
C4		EQUIPO ULTRASONIDOS						1
		Equipo de ultrasonidos marca: DUMO o similar. Potencia de 5 kW. 5 generadores. Caudal a tratar de 30 m3/d. Frecuencia de 20 kHz. Eficiencia energética del 85%. Clase protección IP 54. Dimensiones:17x140x113. Conexión tubería DN 50mm.						
C5		TANQUE DE MEZCLA						1
C5.01	ud	Tanque						1,00
C5.01.01	m ³	EXC.ZANJA Y/O PO.ROCA MED.MECÁN.						18,75
		Excavación en zanja y/o pozos en roca, con medios mecánicos, incluso carga y transporte de los productos de la excavación a vertedero o lugar de empleo.						
			<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	
			1	2,50	2,50	3,00	18,75	
							C5.01.01	18,75
C5.01.02	m ³	RELLENO DE ARENA EN ZANJAS						9,38
		Relleno de arena en zanjas, extendido, humectación y compactación en capas de 20 cm. de espesor, con un grado de compactación del 95% del proctor modificado.						
			<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	
			1	2,50	2,50	1,50	9,38	
							C5.01.02	9,38
C5.01.03	kg	ACERO CORRUGADO B 500 S						1.000,00
		Acero corrugado B 500 S, cortado, doblado, armado y colocado en obra, incluso p.p. de despuntes. Según EHE.						
			1	1.000,00	1,00	1,00	1.000,00	
							C5.01.03	1.000,00
C5.01.04	m ³	HORMIGÓN HM-20 CIMIENTOS OBRAS FÁBRICA						1,25
		Hormigón HM-20 en cimientos de obras de fábrica de drenaje transversal, incluso preparación de la superficie de asiento, vibrado, regleado y curado, terminado.						
			<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	
			1	2,50	2,50	0,20	1,25	
							C5.01.04	1,25

Diseño de una línea de fangos incluyendo ultrasonidos para la optimización de la digestión anaerobia (100.000 he)

Código	Ud	Resumen						Cantidad
C5.01.05	m ³	HORM. HA-30/P/40/IIa CIM.V.MANUAL						5,00
		Hormigón para armar HA-30/P/40/IIa, de 30 N/mm ² ., consistencia blanda, Tmáx. 40 mm. y ambiente humedad alta, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso encamillado de pilares y muros, vertido por medios manuales, vibrado, curado y colocado. Según EHE-08 y DB-SE-C.						
			<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	
			1	2,50	2,50	0,80	5,00	
							C5.01.05	5,00
C5.01.06	m ³	HORM. HA-30/P/40/IIa CIM. V. BOMBA						7,85
		Hormigón para armar HA-25/P/40/IIa, de 25 N/mm ² ., consistencia blanda, Tmáx. 40 mm. y ambiente humedad alta, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso encamillado de pilares y muros, vertido por medio de camión-bomba, vibrado, curado y colocado. Según EHE-08 y DB-SE-C.						
			<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	
			1	7,85	1,00	1,00	7,85	
							C5.01.06	7,85
							C5.01	1,00
C5.02	ud	Agitador de hélice						1,00
		Agitador sumergible marca FLYGT o similar, modelo 4650/60 con motor de 10 kW, y sistema de barra guía para izado, descenso y orientado del agitador.						
C5.03	ud	Medidor de nivel						2,00
		Medidores de nivel mínimo y máximo. Interruptor magnético de nivel con boya. Cuerpo y boya: Inox AISI 316. Protección IP 65. Modelo: IMN 40 INOX						
							C5	1
C6		DIGESTOR ANAEROBIO						1
C6.01	ud	Digestor 2600 m ³						1,00
C6.01.01	m ³	EXC.ZANJA Y/O PO.ROCA MED.MECÁN.						1.280,00
		Excavación en zanja y/o pozos en roca, con medios mecánicos, incluso carga y transporte de los productos de la excavación a vertedero o lugar de empleo.						
			<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	
			1	16,00	16,00	5,00	1.280,00	
							C6.01.01	1.280,00
C6.01.02	m ³	RELLENO DE ARENA EN ZANJAS						384,00
		Relleno de arena en zanjas, extendido, humectación y compactación en capas de 20 cm. de espesor, con un grado de compactación del 95% del proctor modificado.						
			<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	
			1	16,00	16,00	1,50	384,00	
							C6.01.02	384,00
C6.01.03	kg	ACERO CORRUGADO B 500 S						2.400,00
		Acero corrugado B 500 S, cortado, doblado, armado y colocado en obra, incluso p.p. de despuntes. Según EHE.						
			<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	
			1	16,00	1,00	150,00	2.400,00	
							C6.01.03	2.400,00

Diseño de una línea de fangos incluyendo ultrasonidos para la optimización de la digestión anaerobia (100.000 he)

Código	Ud	Resumen						Cantidad
C6.01.04	m ³	HORMIGÓN HM-20 CIMIENTOS OBRAS FÁBRICA						256,00
		Hormigón HM-20 en cimientos de obras de fábrica de drenaje transversal, incluso preparación de la superficie de asiento, vibrado, regleado y curado, terminado.						
			<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	
			1	16,00	16,00	1,00	256,00	
							C6.01.04	256,00
C6.01.05	m ³	HORM. HA-30/P/40/IIa CIM.V.MANUAL						230,40
		Hormigón para armar HA-30/P/40/IIa, de 30 N/mm ² , consistencia blanda, Tmáx. 40 mm. y ambiente humedad alta, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso encamillado de pilares y muros, vertido por medios manuales, vibrado, curado y colocado. Según EHE-08 y DB-SE-C.						
			<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	
			1	16,00	16,00	0,90	230,40	
							C6.01.05	230,40
C6.01.06	m ³	HORM. HA-30/P/40/IIa CIM. V. BOMBA						600,00
		Hormigón para armar HA-25/P/40/IIa, de 25 N/mm ² , consistencia blanda, Tmáx. 40 mm. y ambiente humedad alta, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso encamillado de pilares y muros, vertido por medio de camión-bomba, vibrado, curado y colocado. Según EHE-08 y DB-SE-C.						
			<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	
			1	50,00	1,00	12,00	600,00	
							C6.01.06	600,00
							C6.01	1,00
C6.02	ud	Medidor temperatura						2,00
		Medidor de temperatura. Marca Rosemount o similar. Modelo 3144P						
C6.03	ud	Digestor 1300 m ³						1,00
C6.03.01	m ³	EXC.ZANJA Y/O PO.ROCA MED.MECÁN.						980,00
		Excavación en zanja y/o pozos en roca, con medios mecánicos, incluso carga y transporte de los productos de la excavación a vertedero o lugar de empleo.						
			<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	
			1	14,00	14,00	5,00	980,00	
							C6.03.01	980,00
C6.03.02	m ³	RELLENO DE ARENA EN ZANJAS						294,00
		Relleno de arena en zanjas, extendido, humectación y compactación en capas de 20 cm. de espesor, con un grado de compactación del 95% del proctor modificado.						
			<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	
			1	14,00	14,00	1,50	294,00	
							C6.03.02	294,00
C5.01.03	kg	ACERO CORRUGADO B 500 S						1.400,00
		Acero corrugado B 500 S, cortado, doblado, armado y colocado en obra, incluso p.p. de despuntes. Según EHE.						
			<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	
			1	14,00	1,00	100,00	1.400,00	
							C5.01.03	1.400,00

Diseño de una línea de fangos incluyendo ultrasonidos para la optimización de la digestión anaerobia (100.000 he)

Código	Ud	Resumen	Cantidad										
C6.03.04	m ³	HORMIGÓN HM-20 CIMIENTOS OBRAS FÁBRICA	19,60										
		Hormigón HM-20 en cimientos de obras de fábrica de drenaje transversal, incluso preparación de la superficie de asiento, vibrado, regleado y curado, terminado.											
		<table> <thead> <tr> <th><i>N</i></th> <th><i>Longitud</i></th> <th><i>Anchura</i></th> <th><i>Altura</i></th> <th><i>Parcial</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td align="center">1</td> <td align="center">14,00</td> <td align="center">14,00</td> <td align="center">0,10</td> <td align="right">19,60</td> </tr> </tbody> </table>	<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	1	14,00	14,00	0,10	19,60	
<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>									
1	14,00	14,00	0,10	19,60									
		C6.03.04	19,60										
C6.03.05	m ³	HORM. HA-30/P/40/IIa CIM.V.MANUAL	176,40										
		Hormigón para armar HA-30/P/40/IIa, de 30 N/mm ² ., consistencia blanda, Tmáx. 40 mm. y ambiente humedad alta, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso encamillado de pilares y muros, vertido por medios manuales, vibrado, curado y colocado. Según EHE-08 y DB-SE-C.											
		<table> <thead> <tr> <th><i>N</i></th> <th><i>Longitud</i></th> <th><i>Anchura</i></th> <th><i>Altura</i></th> <th><i>Parcial</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td align="center">1</td> <td align="center">14,00</td> <td align="center">14,00</td> <td align="center">0,90</td> <td align="right">176,40</td> </tr> </tbody> </table>	<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	1	14,00	14,00	0,90	176,40	
<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>									
1	14,00	14,00	0,90	176,40									
		C6.03.05	176,40										
C6.03.06	m ³	HORM. HA-30/P/40/IIa CIM. V. BOMBA	400,00										
		Hormigón para armar HA-25/P/40/IIa, de 25 N/mm ² ., consistencia blanda, Tmáx. 40 mm. y ambiente humedad alta, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso encamillado de pilares y muros, vertido por medio de camión-bomba, vibrado, curado y colocado. Según EHE-08 y DB-SE-C.											
		<table> <thead> <tr> <th><i>N</i></th> <th><i>Longitud</i></th> <th><i>Anchura</i></th> <th><i>Altura</i></th> <th><i>Parcial</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td align="center">1</td> <td align="center">50,00</td> <td align="center">1,00</td> <td align="center">8,00</td> <td align="right">400,00</td> </tr> </tbody> </table>	<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>	1	50,00	1,00	8,00	400,00	
<i>N</i>	<i>Longitud</i>	<i>Anchura</i>	<i>Altura</i>	<i>Parcial</i>									
1	50,00	1,00	8,00	400,00									
		C6.03.06	400,00										
		C6.03	1,00										
C6.04	ud	Extraccion de fangos	2,00										
		Conjunto equipo para la regulación de la extracción de fango del digestor anaerobio. Compuesta por: válvula automática de extracción tipo guillotina, diámetro 60 mm, con acondicionamiento automático, de fundición. Junto con equipos de alimentación de aire a presión. Conjunto de soporte de acero inoxidable. Incluso ayudas de albañilería y elemento auxiliares de montaje. Totalmente montado y funcionando											
C6.05	ud	Manómetro	2,00										
		Caja: acero inox. AISI-316. Órganos internos y rosca: acero inox. AISI-316. Precisión: Kl 0,6 (error máximo 0,6%)											
		C6	1										
C7		DESHIDRATACION	1										
C7.01	ud	DOSIFICACIÓN POLIELECTROLITO	1,00										
		Depósito de polietileno de alta densidad. Marca Dosapack o similar. Modelo Dosapack s130. Cuenta con bomba dosificadora Milton Roy en carga, agitadores rápidos (HR1A-013/150/E0.25/A) y lentos (HR4A-020/100/E0.37/A). Volumen de 130 litros											
C7.02	ud	DESHIDRATACIÓN DE FANGOS	1,00										
		Filtro banda de alta presión, modelo BS-20 marca TEFSA con 2 m de ancho de banda, bastidor de acero inoxidable AISI 304, control de guía de banda. La potencia instalada para el funcionamiento del filtro es de 1,85 kW (con variador de frecuencia). Lleva incorporado un paro por cuerda alrededor de la máquina homologado, según normativa CE.											
C7.03	ud	SISTEMA DE AGUA A PRESION	1,00										
		C7	1										

PRESUPUESTO POR CAPÍTULOS

<i>Código</i>	<i>Ud</i>	<i>Resumen</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Precio (€)</i>	<i>Importe (€)</i>
C1		MOVIMIENTO DE TIERRAS	1	606,16	606,16
C1.01	m ²	DESBR.Y LIMP.TERRENO A MÁQUINA/ TRANSP.	442,45	1,37	606,16
		Desbroce y limpieza superficial del terreno por medios mecánicos, retirando una capa de 10 cm de espesor aproximadamente, incluyendo la carga por medios mecánicos y el transporte al vertedero, con p.p. de medios auxiliares.			
		C1.01	442,45	1,37	606,16
		C1	1	606,16	606,16
C2		ARQUETAS DE FANGOS	1	165,76	165,76
C2.01	ud	ARQ.ABIERTA PREF.HM C/REJA HA 50x50x50cm	2,00	82,88	165,76
		Arqueta prefabricada abierta de hormigón en masa, con paredes de 10 cm de espesor, y con refuerzo de zunchos perimetral en la parte superior, de 50x50x50 cm. medidas interiores, completa: con reja y marco de hormigón y formación de agujeros para conexiones de tubos. Colocada sobre solera de hormigón en masa HM-20/B/32/I de 10 cm. de espesor y p.p. de medios auxiliares, sin incluir la excavación ni el relleno perimetral posterior, s/ normas de diseño recogidas en el DB-HS5.			
		C2	1	165,76	165,76
C3		CONCENTRACION DE FANGOS	1	65.994,22	65.994,22
C3.01	ud	ESPESADOR POR GRAVEDAD	1,00	34.315,37	34.315,37
C3.01.01	ud	Espesador	1,00	31.562,52	31.562,52
		Tanque de hormigón de planta circular. Consta de un accionamiento constituido por un grupo motorreductor (Tensión 220/380V, frecuencia 50Hz, protección IP-54 y aislamiento clase B), eje de transmisión de Acero DIN 2448161 (ST-SR), brazos de espesamiento constituidos con perfiles de acero A-42b compuestos por piquetas de espesamiento, barrederas de fondo y portarasquetas, rasquetas de poceta de acero A-42b y tornillería de acero inoxidable AISI-304. Aliviadero de aluminio. Marca: hidrometálica o similar. Modelo EFGV-800			
C3.01.02	ud	Conjunto de equipos para la extracción del fango	1,00	2.752,85	2.752,85
		Conjunto equipo para la regulación de la extracción de fango del espesador. Compuesta por: válvula automática de extracción tipo guillotina, diámetro 40 mm, con acondicionamiento automático, de fundición. Junto con equipos de alimentación de aire a presión. Conjunto de soporte de acero inoxidable. Incluso ayudas de albañilería y elementos auxiliares de montaje. Totalmente montado y funcionando			
		C3.01	1,00	34.315,37	34.315,37
C3.02	ud	FLOTADOR	1,00	31.678,85	31.678,85
C3.02.01	ud	Depósito de flotacion	1,00	25.546,00	25.546,00
		Tanque de hormigón de planta circular. Consta de un accionamiento constituido por un grupo motorreductor (Tensión 220/380V, frecuencia 50Hz, protección IP-54 y aislamiento clase B), eje de transmisión de Acero DIN 2448161 (ST-SR), brazos de espesamiento constituidos con perfiles de acero A-42b compuestos por piquetas de espesamiento, barrederas de fondo y portarasquetas, rasquetas de poceta de acero A-42b y tornillería de acero inoxidable AISI-304. Aliviadero de aluminio. Marca: hidrometálica o similar. Modelo EFF-1000			

Diseño de una línea de fangos incluyendo ultrasonidos para la optimización de la digestión anaerobia (100.000 he)

Código	Ud	Resumen	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
C3.02.02	ud	Sistema de recirculacion del licor de fango	1,00	3.987,00	3.987,00
		Conjunto equipos para la recirculacion del fango. Incluye válvulas, bombas y tuberías destinadas a la recirculación del fango. Precio estimado en proporción a la instalación del espesador por flotación. Incluye compresor de aire rotativo de tornillo, preparado para el funcionamiento continuo o alternativo, dotado de caja de insonorización. y válvula de purga automática, para evitar en lo posible la acumulación de condensados en la red. Incorporación de calderín, y manómetro para medida de la presión.			
C3.02.03	ud	Extracción de fangos	1,00	2.145,85	2.145,85
		Conjunto equipo para la regulación de la extracción de fango del flotador. Compuesta por: válvula automática de extracción tipo guillotina, diámetro 40 mm, con acondicionamiento automático, de fundición. Junto con equipos de alimentación de aire a presión. Conjunto de soporte de acero inoxidable. Incluso ayudas de albañilería y elemento auxiliares de montaje. Totalmente montado y funcionando.			
		C3.02	1,00	31.678,85	31.678,85
		C3	1	65.994,22	65.994,22
C4		EQUIPO ULTRASONIDOS	1	200.000,00	200.000,00
		Equipo de ultrasonidos marca: DUMO o similar. Potencia de 5 kW. 5 generadores. Caudal a tratar de 30 m ³ /d. Frecuencia de 20 kHz. Eficiencia energética del 85%. Clase protección IP 54. Dimensiones:17x140x113. Conexion tubería DN 50mm.			
C5		TANQUE DE MEZCLA	1	7.375,01	7.375,01
C5.01	ud	Tanque	1,00	4.077,01	4.077,01
C5.01.01	m ³	EXC.ZANJA Y/O PO.ROCA MED.MECÁN.	18,75	50,41	945,19
		Excavación en zanja y/o pozos en roca, con medios mecánicos, incluso carga y transporte de los productos de la excavación a vertedero o lugar de empleo.			
		1	18,75		
		C5.01.01	18,75	50,41	945,19
C5.01.02	m ³	RELLENO DE ARENA EN ZANJAS	9,38	11,17	104,77
		Relleno de arena en zanjas, extendido, humectación y compactación en capas de 20 cm. de espesor, con un grado de compactación del 95% del proctor modificado.			
		1	9,38		
		C5.01.02	9,38	11,17	104,77
C5.01.03	kg	ACERO CORRUGADO B 500 S	1.000,00	2,35	2.350,00
		Acero corrugado B 500 S, cortado, doblado, armado y colocado en obra, incluso p.p. de despuntes. Según EHE.			
		1	1.000,00		
		C5.01.03	1.000,00	2,35	2.350,00
C5.01.04	m ³	HORMIGÓN HM-20 CIMENTOS OBRAS FÁBRICA	1,25	79,54	99,43
		Hormigón HM-20 en cimientos de obras de fábrica de drenaje transversal, incluso preparación de la superficie de asiento, vibrado, regleado y curado, terminado.			
		1	1,25		
		C5.01.04	1,25	79,54	99,43

Diseño de una línea de fangos incluyendo ultrasonidos para la optimización de la digestión anaerobia (100.000 he)

Código	Ud	Resumen	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)	
C5.01.05	m ³	HORM. HA-30/P/40/IIa CIM.V.MANUAL	5,00	79,57	397,85	
		Hormigón para armar HA-30/P/40/IIa, de 30 N/mm ² , consistencia blanda, Tmáx. 40 mm. y ambiente humedad alta, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso encamillado de pilares y muros, vertido por medios manuales, vibrado, curado y colocado. Según EHE-08 y DB-SE-C.				
			1 5,00			
			C5.01.05	5,00	79,57	397,85
C5.01.06	m ³	HORM. HA-30/P/40/IIa CIM. V. BOMBA	7,85	22,90	179,77	
		Hormigón para armar HA-25/P/40/IIa, de 25 N/mm ² , consistencia blanda, Tmáx. 40 mm. y ambiente humedad alta, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso encamillado de pilares y muros, vertido por medio de camión-bomba, vibrado, curado y colocado. Según EHE-08 y DB-SE-C.				
			1 7,85			
			C5.01.06	7,85	22,90	179,77
			C5.01	1,00	4.077,01	4.077,01
C5.02	ud	Agitador de hélice	1,00	1.800,00	1.800,00	
		Agitador sumergible marca FLYGT o similar, modelo 4650/60 con motor de 10 kW, y sistema de barra guía para izado, descenso y orientado del agitador.				
C5.03	ud	Medidor de nivel	2,00	749,00	1.498,00	
		Medidores de nivel mínimo y máximo. Interruptor magnético de nivel con boya. Cuerpo y boya: Inox AISI 316. Protección IP 65. Modelo: IMN 40 INOX				
			C5	1	7.375,01	7.375,01
C6		DIGESTOR ANAEROBIO	1	210.858,12	210.858,12	
C6.01	ud	Digestor 2600 m3	1,00	126.889,25	126.889,25	
C6.01.01	m ³	EXC.ZANJA Y/O PO.ROCA MED.MECÁN.	1.280,00	50,41	64.524,80	
		Excavación en zanja y/o pozos en roca, con medios mecánicos, incluso carga y transporte de los productos de la excavación a vertedero o lugar de empleo.				
			1 1.280,00			
			C6.01.01	1.280,00	50,41	64.524,80
C6.01.02	m ³	RELLENO DE ARENA EN ZANJAS	384,00	11,17	4.289,28	
		Relleno de arena en zanjas, extendido, humectación y compactación en capas de 20 cm. de espesor, con un grado de compactación del 95% del proctor modificado.				
			1 384,00			
			C6.01.02	384,00	11,17	4.289,28
C6.01.03	kg	ACERO CORRUGADO B 500 S	2.400,00	2,35	5.640,00	
		Acero corrugado B 500 S, cortado, doblado, armado y colocado en obra, incluso p.p. de despuntes. Según EHE.				
			1 2.400,00			
			C6.01.03	2.400,00	2,35	5.640,00

Diseño de una línea de fangos incluyendo ultrasonidos para la optimización de la digestión anaerobia (100.000 he)

Código	Ud	Resumen	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)	
C6.01.04	m ³	HORMIGÓN HM-20 CIMIENTOS OBRAS FÁBRICA	256,00	79,54	20.362,24	
		Hormigón HM-20 en cimientos de obras de fábrica de drenaje transversal, incluso preparación de la superficie de asiento, vibrado, regleado y curado, terminado.				
			1 256,00			
			C6.01.04	256,00	79,54	20.362,24
C6.01.05	m ³	HORM. HA-30/P/40/IIa CIM.V.MANUAL	230,40	79,57	18.332,93	
		Hormigón para armar HA-30/P/40/IIa, de 30 N/mm ² , consistencia blanda, Tmáx. 40 mm. y ambiente humedad alta, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso encamillado de pilares y muros, vertido por medios manuales, vibrado, curado y colocado. Según EHE-08 y DB-SE-C.				
			1 230,40			
			C6.01.05	230,40	79,57	18.332,93
C6.01.06	m ³	HORM. HA-30/P/40/IIa CIM. V. BOMBA	600,00	22,90	13.740,00	
		Hormigón para armar HA-25/P/40/IIa, de 25 N/mm ² , consistencia blanda, Tmáx. 40 mm. y ambiente humedad alta, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso encamillado de pilares y muros, vertido por medio de camión-bomba, vibrado, curado y colocado. Según EHE-08 y DB-SE-C.				
			1 600,00			
			C6.01.06	600,00	22,90	13.740,00
			C6.01	1,00	126.889,25	126.889,25
C6.02	ud	Medidor temperatura	2,00	200,00	400,00	
		Medidor de temperatura. Marca Rosemount o similar. Modelo 3144P				
C6.03	ud	Digestor 1300 m3	1,00	80.730,91	80.730,91	
C6.03.01	m ³	EXC.ZANJA Y/O PO.ROCA MED.MECÁN.	980,00	50,41	49.401,80	
		Excavación en zanja y/o pozos en roca, con medios mecánicos, incluso carga y transporte de los productos de la excavación a vertedero o lugar de empleo.				
			1 980,00			
			C6.03.01	980,00	50,41	49.401,80
C6.03.02	m ³	RELLENO DE ARENA EN ZANJAS	294,00	11,17	3.283,98	
		Relleno de arena en zanjas, extendido, humectación y compactación en capas de 20 cm. de espesor, con un grado de compactación del 95% del proctor modificado.				
			1 294,00			
			C6.03.02	294,00	11,17	3.283,98
C5.01.03	kg	ACERO CORRUGADO B 500 S	1.400,00	2,35	3.290,00	
		Acero corrugado B 500 S, cortado, doblado, armado y colocado en obra, incluso p.p. de despuntes. Según EHE.				
			1 1.400,00			
			C5.01.03	1.400,00	2,35	3.290,00
C6.03.04	m ³	HORMIGÓN HM-20 CIMIENTOS OBRAS FÁBRICA	19,60	79,54	1.558,98	
		Hormigón HM-20 en cimientos de obras de fábrica de drenaje transversal, incluso preparación de la superficie de asiento, vibrado, regleado y curado, terminado.				
			1 19,60			
			C6.03.04	19,60	79,54	1.558,98

Diseño de una línea de fangos incluyendo ultrasonidos para la optimización de la digestión anaerobia (100.000 he)

Código	Ud	Resumen	Cantidad	Precio (€)	Importe (€)
C6.03.05	m ³	HORM. HA-30/P/40/IIa CIM.V.MANUAL	176,40	79,57	14.036,15
		Hormigón para armar HA-30/P/40/IIa, de 30 N/mm ² , consistencia blanda, Tmáx. 40 mm. y ambiente humedad alta, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso encamillado de pilares y muros, vertido por medios manuales, vibrado, curado y colocado. Según EHE-08 y DB-SE-C.			
			1 176,40		
			C6.03.05 176,40	79,57	14.036,15
C6.03.06	m ³	HORM. HA-30/P/40/IIa CIM. V. BOMBA	400,00	22,90	9.160,00
		Hormigón para armar HA-25/P/40/IIa, de 25 N/mm ² , consistencia blanda, Tmáx. 40 mm. y ambiente humedad alta, elaborado en central en relleno de zapatas y zanjas de cimentación, incluso encamillado de pilares y muros, vertido por medio de camión-bomba, vibrado, curado y colocado. Según EHE-08 y DB-SE-C.			
			1 400,00		
			C6.03.06 400,00	22,90	9.160,00
			C6.03 1,00	80.730,91	80.730,91
C6.04	ud	Extraccion de fangos	2,00	1.142,85	2.285,70
		Conjunto equipo para la regulación de la extracción de fango del digestor anaerobio. Compuesta por: válvula automática de extracción tipo guillotina, diámetro 60 mm, con acondicionamiento automático, de fundición. Junto con equipos de alimentación de aire a presión. Conjunto de soporte de acero inoxidable. Incluso ayudas de albañilería y elemento auxiliares de montaje. Totalmente montado y funcionando			
C6.05	ud	Manómetro	2,00	276,13	552,26
		Caja: acero inox. AISI-316. Órganos internos y rosca: acero inox. AISI-316. Precisión: Kl 0,6 (error máximo 0,6%)			
			C6	1	210.858,12
					210.858,12
C7		DESHIDRATAACION	1	109.601,96	109.601,96
C7.01		DOSIFICACIÓN POLIELECTROLITO	1,00	3.000,00	3.000,00
		Depósito de polietileno de alta densidad. Marca Dosapack o similar. Modelo Dosapack s130. Cuenta con bomba dosificadora Milton Roy en carga, agitadores ráopidos (HR1A-013/150/E0.25/A) y lentos (HR4A-020/100/E0.37/A). Volumen de 130 litros			
C7.02		DESHIDRATACIÓN DE FANGOS	1,00	106.340,00	106.340,00
		Filtro banda de alta presión, modelo BS-20 marca TEFSA con 2 m de ancho de banda, bastidor de acero inoxidable AISI 304, control de guía de banda. La potencia instalada para el funcionamiento del filtro es de 1,85 kW (con variador de frecuencia). Lleva incorporado un paro por cuerda alrededor de la máquina homologado, según normativa CE.			
C7.03		SISTEMA DE AGUA A PRESIÓN	1,00	261,96	261,96
			C7	1	109.601,96
					109.601,96

PRESUPUESTO 594.601,23

RESUMEN DEL PRESUPUESTO

<i>Código</i>	<i>Resumen</i>	<i>Importe (€)</i>
C1	MOVIMIENTO DE TIERRAS	606,16
C2	ARQUETAS DE FANGOS	165,76
C3	CONCENTRACIÓN DE FANGOS	65.994,22
C4	EQUIPO ULTRASONIDOS	200.000,00
C5	TANQUE DE MEZCLA	7.375,01
C6	DIGESTOR ANAEROBIO	210.858,12
C7	DESHIDRATACIÓN	109.601,96
	PRESUPUESTO	594.601,23