

Master Profesional en Ingeniería y Gestión
Medioambiental.

**ANTEPROYECTO DE ESTACIÓN
DEPURADORA DE AGUAS
RESIDUALES URBANAS**

Autor: Cristina Carbajo Domínguez.
Tutor: Juan Antonio Sainz Sastre.

EOI 2008-2010

INDICE

1.- INTRODUCCIÓN	5
1.1.- Historia.	5
1.2.- Ciclo del agua.	6
1.3.-Problemática general de las aguas residuales urbanas.	7
1.4.-Recorrido del agua hasta las plantas depuradoras.	8
1.5.-Composición del agua residual.	9
2.- LEGISLACIÓN	15
Legislación de la UE.	15
Legislación de ámbito nacional.	16
3.- INSTALACIÓN Y OBJETIVOS	19
4.-CARACTERISTICAS DE LA INSTALACIÓN Y BASES DE DISEÑO	20
4.1.- Cuadro sinóptico general.	20
4.2.- Bases de diseño.	22
4.3.- Proceso.	27
LINEA DE AGUA	27
I. PRETRATAMIENTO	27
I.a.- Pozo de gruesos.	28
I.b.- Rejas de muy gruesos.	29
I.c.- Tornillos de Arquímedes.	30
I.d.- Rejas de medios-finos.	33
I.e.- Tamices.	35
I.f.- Desarenado-desengrasado.	37

II.	TRATAMIENTO PRIMARIO	40
II.a.-	Decantador primario.	40
III.	TRATAMIENTO SECUNDARIO	44
III.a.-	Reactor o balsa biológica.	46
III.b.-	Decantador secundario.	54
	LINEA DE FANGOS	57
IV.	ESPEZAMIENTO	59
V.	ESTABILIZACIÓN	61
VI.	DESHIDRATACIÓN	64
	LINEA DE GAS	67
	BIBLIOGRAFÍA.	69

ANTEPROYECTO DE ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES.

1.-INTRODUCCIÓN

1.1.-Historia

Los métodos de depuración de aguas residuales se remontan a la antigüedad y se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias. Las canalizaciones de desagüe construidas por los romanos todavía funcionan en nuestros días. Aunque su principal función era el drenaje, la costumbre romana de arrojar los desperdicios a las calles significaba que junto con el agua viajaban grandes cantidades de materia orgánica.



Fig.1: Alcantarilla romana.



Fig.2: Letrinas públicas.

Hacia finales de la edad media empezaron a usarse en Europa excavaciones subterráneas que primero fueron privadas y, más tarde, letrinas públicas. Cuando éstas estaban llenas, unos obreros vaciaban el lugar. El contenido de los pozos negros se empleaba como fertilizante en las granjas cercanas o era vertido en los cursos de agua o en tierras no explotadas.

Unos siglos después se recuperó la costumbre de construir desagües, en su mayor parte en forma de canales al aire o zanjás en la calle. Al principio estuvo prohibido arrojar desperdicios en ellos, pero en

el siglo XIX se aceptó que la salud pública podía salir beneficiada si se eliminaban los desechos humanos a través de los desagües para conseguir su rápida desaparición.

Con la introducción del abastecimiento municipal de agua y la instalación de cañerías en las casas, llegaron los inodoros y los primeros sistemas sanitarios modernos. A pesar de que existían reservas respecto a estos por el desperdicio de recursos que suponían, los riesgos para la salud que planteaban y su elevado precio, fueron muchas las ciudades que los construyeron.

A comienzos del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales.

1.2.-Ciclo del agua

La cantidad total de agua que existe en la Tierra, en sus tres fases (sólida, líquida y gaseosa) siempre se ha mantenido constante. Esto ha sido posible gracias a un ciclo cerrado (evaporación, precipitaciones, infiltraciones, salida al mar) conocido como ciclo del agua.



Fig.3: Ciclo del agua.

Se puede definir este ciclo como un conjunto de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre a la atmósfera en forma de vapor (evaporación directa y transpiración de las plantas y animales) y que más tarde regresa en estado líquido o sólido.

El vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica y más tarde se condensa, formando así, nieblas y nubes. El agua contenida en las nubes regresará a la superficie terrestre en forma de nieve, granizo o lluvias. Las aguas que precipitan en tierra pueden tener varios destinos: una parte es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación, otra parte se infiltra en el suelo y la parte que queda se desliza formando ríos hasta ir a desembocar a lagos y océanos.

El uso del agua para nuestro consumo diario y como elemento para el desarrollo de muchas actividades industriales, agrícolas... y también urbanas, hace que las aguas limpias se conviertan en aguas residuales, es decir, aguas contaminadas. Como hemos visto, el agua no es un bien ilimitado, por lo tanto al contaminarla nos estamos perjudicando a nosotros mismos. Por esta razón controlar la contaminación de las aguas es uno de los factores más importantes para la continuidad del equilibrio entre el hombre y el medio en el cual vive y la prevención, reducción y eliminación de los contaminantes de esta agua es una necesidad prioritaria en la actualidad. Para mantener este control se construyen las estaciones depuradoras, que se encargan de reducir la contaminación hasta niveles asumibles por la naturaleza.

Del mismo modo que todos pedimos una red de abastecimiento, también es necesaria una de saneamiento para depurar las aguas. Hasta hace bien poco no se le daba importancia al tratamiento del agua, pero en vista de los grandes problemas que aporta la contaminación, la construcción de plantas depuradoras va en aumento. Gracias a programas de saneamiento y de depuración de aguas residuales que permiten la vuelta del agua a su estado natural, eliminando los elementos contaminantes y protegiéndola, se está consiguiendo una mejor calidad en el agua de los ríos de toda España.

1.3.-Problemática general de las aguas residuales urbanas.

Las aguas residuales plantearán uno de los problemas con que se enfrentará la humanidad en los próximos años.

En los países con escasas disponibilidades de agua dulce, la cuestión será más aguda.

Las aguas residuales urbanas producen una serie de alteraciones en los cursos y planos de agua debido

a los diversos productos que contienen y a que las áreas receptoras son cada vez menos capaces de asimilarlas y la capacidad de autodepuración de una masa de agua es siempre limitada.

Un caso muy sencillo y ejemplo de contaminación es el de las aguas usadas de una comunidad sin residuos industriales, es decir el de las aguas puramente domésticas. La perturbación que provocan se manifiesta principalmente por la disminución del contenido en oxígeno de la materia orgánica que agregan. Estas aguas se originan mediante el aporte, a las aguas de abastecimiento, de desechos humanos y animales, de residuos domésticos, de restos vegetales, aguas de lluvia, aguas de lavado, etc.

En la gestión de las aguas residuales urbanas se debe tener en cuenta un factor o elemento fundamental que es aquel que está relacionado con la calidad del medio ambiente. Las aguas residuales deben ser manejadas de forma que no contaminen el aire, el suelo o los cursos o masas de agua. Así pues, no deben ser utilizadas de cualquier forma que introduzca productos tóxicos o que pueda plantear problemas patológicos, sobre todo en lo que se refiere a las cadenas alimentarias.

Conocemos todos los factores implicados en los sistemas biológicos de tratamiento y depuración de las aguas residuales urbanas. Lo que se debe hacer ahora es utilizar todos estos elementos de trabajo de forma adecuada y razonada, adaptándolos a las acciones que paralelamente puede ejercer la naturaleza, de forma que se consiga un tratamiento, una depuración o, en su caso, una recuperación del agua y de sus recursos adecuados y útiles.

1.4.-Recorrido del agua hasta las plantas depuradoras

Una vez generadas, las aguas residuales recorren un largo camino antes de ser devueltas a la naturaleza. Todas las aguas residuales urbanas son recogidas por la red de alcantarillado y sucesivamente por los colectores hasta llegar a la Estación Depuradora de Aguas Residuales (E.D.A.R.).



Fig.4: Colector (interior).



Fig.5: Colector (exterior)

Colectores:

Son las arterias principales de la red de alcantarillado de todos los municipios. Su función es recoger las aguas residuales del alcantarillado.

Suelen ser conducciones subterráneas de longitud y sección muy variable. Durante su recorrido, se dejan salidas hacia el exterior en forma de tapas de registro con la finalidad de poder efectuar el mantenimiento necesario.

1.5.-Composición del agua residual

Se entiende por contaminación de las aguas a la acción y el efecto de introducir materias, o formas de energía, o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

Actualmente, son los diferentes usos que se hacen del agua los que producen que se le aporten materias que la contaminan ya que el agua se utiliza para multitud de actividades, principalmente para nuestro propio consumo

Los diferentes usos que se le dan al agua son:

- Doméstico (lavadora, cisterna, lavavajillas...; supone un consumo superior a los 100 litros al día por habitante, suele ser mayor en las zonas urbanas que en las rurales);

- Industrial (grandes industrias que necesitan el principal uso del agua ej.: una industria papelera necesita 25 m³ para producir una tonelada de papel);

- Agrícola (supone el consumo más alto utilizándolo en campos de regadío, viveros...);
- Uso recreativo (piscinas, parques acuáticos...)

El agua residual urbana en la mayor parte de España está formada por la reunión de las aguas residuales procedentes del alcantarillado municipal, de las industrias asentadas en el casco urbano y en la mayor parte de los casos de las aguas de lluvia que son recogidas por el alcantarillado.

La mezcla de las aguas fecales con las aguas de lluvia pueden producir problemas en una E.D.A.R., debido principalmente al volumen de agua recibido, sobre todo en caso de tormentas, por lo que las actuaciones urbanas recientes están separando las redes de aguas fecales de las redes de aguas de lluvia.

Por tanto, las aguas que se depuran generalmente tienen su origen en tres fuentes:

- Vertidos urbanos
- Vertidos industriales
- Contaminación difusa (lluvias...)

Se van a clasificar los componentes de esta agua residual según sus características químicas y biológicas.

1.5.1.-Características químicas.

A.-Sólidos.

Clasificación según su composición.

- a) Sólidos orgánicos.
- b) Sólidos inorgánicos.

Clasificación según su presentación.

- a) Sólidos sedimentables.
- b) Disoluciones coloidales.
- c) Sólidos disueltos.

B.-Gases.

- a) Oxígeno disuelto.
- b) Ácido sulfhídrico.
- c) Anhídrido carbónico.
- d) Metano.
- e) Otros gases.

C.-Líquidos.

1.5.2.-Características biológicas.

A.-Bacterias.

- a) Bacterias aerobias.
- b) Bacterias anaerobias.
- c) Bacterias facultativas.

1.5.1.-Características químicas.

A.-Sólidos.

Generalmente, las aguas residuales contienen sólidos disueltos, sólidos en suspensión y sólidos en flotación, que normalmente no pasan de 1.000 ppm del total.

Clasificación según su composición.

Se van a dividir en:

- a) Sólidos orgánicos

A veces contienen, además de los sólidos de origen vegetal o animal, compuestos orgánicos sintéticos. Los glúcidos, lípidos, proteínas y sus derivados son los grandes grupos de esta clase. Pueden ser biodegradables o no biodegradables y su eliminación es relativamente sencilla.

b) Sólidos inorgánicos.

Se incluyen en este grupo todos los sólidos de origen generalmente mineral, como son sales minerales, arcillas, lodos, arenas, gravas y ciertos compuestos como sulfatos, carbonatos, etc.

Clasificación según su presentación.

Se clasificaran en tres grupos:

a) Sólidos sedimentables.

Son aquellas partículas más gruesas que se depositarán, por gravedad, en los fondos de los receptores. Son partículas flotantes, como trozos de vegetales, animales, basuras, etc., y aquellas otras que también son perceptibles a simple vista y tienen posibilidades de ser separadas del líquido por medios físicos, como arcillas, arenas, etc.

b) Disoluciones coloidales.

Están formadas por partículas de tamaño intermedio entre el de las disoluciones verdaderas y el de las partículas de las suspensiones groseras:

$1\ \mu\text{m} < \phi < 0,2\ \mu$. aunque estos límites son arbitrarios

c) Sólidos disueltos.

Los sólidos disueltos tienen un tamaño menor a una milésima de micra y se eliminan normalmente por procesos de oxidación biológica.

B.-Gases.

Las aguas residuales urbanas contienen diversos gases con diferente concentración.

a) Oxígeno disuelto.

Es el más importante y es un gas que va siendo consumido por la actividad química y biológica del

proceso.

El oxígeno disuelto depende de muchos factores, como temperatura, altitud, movimientos del curso receptor, actividad biológica, actividad química, etc.

El control del oxígeno disuelto a lo largo del tiempo, nos suministra una serie de datos fundamentales para el conocimiento del estado de un agua residual.

b) **Ácido sulfhídrico.**

Es un gas que se forma al descomponerse en medio anaerobio ciertas sustancias orgánicas e inorgánicas que contienen azufre.

Su presencia, que se manifiesta fundamentalmente por los olores que produce, es un indicativo de la evolución estado de un agua residual, es poco estable al calor, descomponiéndose en azufre e hidrógeno.

c) **Anhídrido carbónico.**

Se produce en las fermentaciones de los compuestos orgánicos de las aguas residuales negras. El CO₂ del agua se presenta libre o como componente de bicarbonatos.

d) **Metano.**

Se forma en la descomposición anaerobia de la materia

e) **Otros gases.**

Se producen además gases malolientes, como ácidos grasos volátiles, indol, escatol y otros derivados del nitrógeno.

C.-Líquidos.

A veces, las aguas residuales urbanas próximas a una industria pueden contener líquidos específicos.

1.5.2.-Características biológicas.

Las aguas residuales urbanas contienen gran número de organismos vivos que son los que mantienen la actividad biológica, produciendo fermentaciones, descomposición y degradación de la materia orgánica.

Aparecen animales y vegetales unicelulares, cierto tipo de hongos y virus pero los organismos que mayor importancia tienen por su actividad biológica son las bacterias.

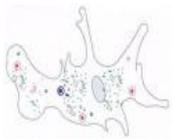


Fig.6: Protozoo(animal)

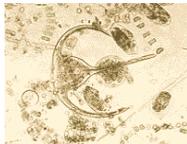


Fig.7: Alga (vegetal)

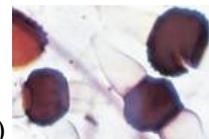


Fig.8:hongo



Fig.9: Virus



Fig. 10: Bacterias

A.-Bacterias.

Son organismos unicelulares móviles o inmóviles de formas diversas (cocos, bacilos, espirilos, filamentosas) y de tamaño y modo de vida diferentes según la especie y el medio.

Según el medio en el que se desarrollan, las bacterias de las aguas residuales urbanas se pueden clasificar en: aerobias, anaerobias y facultativas.

a) Bacterias aerobias.

Son aquellas que necesitan oxígeno procedente del agua para su alimento y respiración.

El oxígeno disuelto que les sirve de sustento es el oxígeno libre. Esto significa, que las bacterias dependen del oxígeno para convertir los contaminantes del agua.

Generalmente los productos en los que convierten los contaminantes son dióxido de carbono y agua.

b) Bacterias anaerobias.

Son bacterias que no son dependientes del oxígeno para convertir los contaminantes del agua. Las bacterias anaerobias pueden sobrevivir solamente cuando los niveles de oxígeno son bajos, porque utilizan otras clases de sustancias para realizar la conversión química. Apenas producen dióxido de carbono y agua durante la conversión, sino gas metano. La conversión anaerobia de una sustancia requiere más pasos que la conversión aerobia.

c) Bacterias facultativas.

Algunas bacterias aerobias y anaerobias pueden llegar a adaptarse al medio opuesto, es decir, las aerobias a medio sin oxígeno disuelto y las anaerobias a aguas con oxígeno disuelto.

2.- LEGISLACIÓN

La legislación que se aplica a este tipo de instalaciones es la siguiente:

Legislación de la U.E.

- **Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas.**

La presente Directiva se refiere a la recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas, así como al tratamiento y vertido de las aguas residuales de algunos sectores industriales. La finalidad de la Directiva es proteger el medio ambiente contra todo deterioro debido al vertido de esas aguas.

- **Directiva 98/15/CE de la Comisión de 27 de febrero de 1998 por la que se modifica la Directiva 91/271/CEE del Consejo en relación con determinados requisitos establecidos en su anexo I.**

El objetivo de la Directiva es establecer requisitos sobre los vertidos de las depuradoras de aguas residuales urbanas con el fin de acabar con las diferencias de interpretación de los Estados miembros.

- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un Marco Comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.

Mediante esta Directiva marco, la Unión Europea organiza la gestión de las aguas superficiales, continentales, de transición, aguas costeras y subterráneas, con el fin de prevenir y reducir su contaminación, fomentar su uso sostenible, proteger el medio acuático, mejorar la situación de los ecosistemas acuáticos y paliar los efectos de las inundaciones y de las sequías.

Legislación de ámbito nacional

- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.

Por este Real Decreto Legislativo quedan derogadas todas las disposiciones de igual o inferior rango que se opongan al presente Real Decreto legislativo y al texto refundido que aprueba y, en particular, las siguientes:

1. La Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.

2. La Ley 46/1999, de 13 de diciembre, por la que se modifica la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas, excepto la disposición adicional primera.

3. La disposición adicional 9ª, apartado 2, de la Ley 42/1994, de 30 de diciembre, de Medidas fiscales, administrativas y del orden social, que modifica los apartados 1º, segundo párrafo y 2.º, del artículo 109 de la Ley de Aguas, de 1985, en materia de sanciones.

4. Los artículos 2 y 3 de la Ley 9/1996, de 15 de enero, en la que se adoptan medidas extraordinarias, excepcionales y urgentes en materia de abastecimientos hidráulicos como consecuencia de la persistencia de la sequía, modificando y ampliando, respectivamente, los artículos 63 y 109.2 de la Ley 29/1985.

5. Los artículos 158, 173 y 174 de la Ley 13/1996, de 30 de diciembre, de Medidas fiscales, administrativas y del orden social, relativos a la gestión directa de la construcción y/o explotación de

determinadas obras públicas, al régimen jurídico del contrato de concesión de construcción y explotación de obras hidráulicas, así como a la modificación del artículo 21 de la Ley 29/1985, al que añade un nuevo apartado.

6. El artículo 3 de la Ley 11/1999, de 21 de abril, de modificación de la Ley 7/1985, de 2 de abril, reguladora de las Bases de Régimen Local, y otras medidas para el desarrollo del Gobierno Local en materia de tráfico, circulación de vehículos a motor, seguridad vial y en materia de aguas, que modifica y amplía, respectivamente, los artículos 17 y 25 de la Ley 29/1985, de Aguas.

- Real Decreto-Ley 4/2007, de 13 de abril, por el que se modifica el texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio.

Por el que se declara nulo el último inciso del artículo 245.2 del Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, en la redacción dada por el Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, disponía que la competencia para emitir las autorizaciones relativas a vertidos indirectos a aguas superficiales corresponde al órgano autonómico o local competente.

- Resolución de 26 de abril de 2007, por la que se ordena la publicación del acuerdo de convalidación del Real Decreto-ley 4/2007, de 13 de abril por el que se modifica el texto refundido de la Ley de aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio.

- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril.

1. Es objeto del presente Reglamento el desarrollo de los Títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley de Aguas, en el marco definido en el artículo 1.1 de dicha Ley.

2. Las aguas continentales superficiales, así como las subterráneas renovables, integradas todas ellas en el ciclo hidrológico, constituyen un recurso unitario, subordinado al interés general, que forma parte del dominio público estatal como dominio público hidráulico (Artículo 1.2 del Texto Refundido).

3. Corresponde al Estado, en los términos que se establece en la Ley de Aguas y en este Reglamento, la planificación hidrológica a la que deberá someterse toda actuación sobre el dominio público hidráulico (Artículo 1.3 del Texto Refundido)

4. Las aguas minerales y termales se regularan por su legislación específica (Artículo 1.4 del Texto Refundido). En el expediente para su calificación como tales se habrá de oír al Ministerio de Medio Ambiente a los efectos de su exclusión del ámbito de la Ley de Aguas, si procediere.

- Real Decreto 606/2003, de 23 de mayo, que dispone la competencia para emitir las autorizaciones relativas a vertidos indirectos a aguas superficiales que corresponde al órgano autonómico o local competente.

- Resolución de 28 de abril de 1995 (Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Vivienda), por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros de 17 de febrero de 1995, que aprueba el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (1995-2005) (BOE núm. 113, de 12 de mayo de 1995)907/2007

El presente documento tiene como objetivo fijar las directrices y los escenarios de financiación del Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales 1995-2005 y se eleva para su aprobación por parte del Consejo de Ministros, oído el Consejo Asesor de Medio Ambiente, que ha incorporado observaciones a través de su grupo de trabajo de Políticas de Agua, y una vez consideradas sus líneas básicas con las Comunidades Autónomas, que se presentaron en la Conferencia Sectorial de Medio Ambiente (Guadalupe, 19 de septiembre de 1994).

- Real Decreto 1620/2007 que establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. El texto, además, modifica parcialmente el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por el Real Decreto 849/1986 de 11 de abril.

- Real Decreto 2116/1998, de 2 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

3.-INSTALACIÓN Y OBJETIVOS

Se trata de una estación depuradora de aguas residuales urbanas de origen doméstico o asimilables a doméstico.

La planta está compuesta por un sistema de pre-tratamiento, un tratamiento primario y un tratamiento secundario (biológico) mediante fangos activos de oxidación total o aireación prolongada, con zona de nitrificación-desnitrificación. Además, presenta dos líneas de funcionamiento: la línea de aguas, que corresponde a la parte del proceso de depuración que trata únicamente las aguas residuales; y la línea de lodos, que corresponde a la parte del proceso de depuración que trata los fangos o lodos generados como consecuencia del proceso de depuración de la línea de agua.

Con este proceso se pretende la eliminación de:

- Residuos, aceites, grasas, flotantes, arenas, etc. y evacuación a punto de destino final adecuado.
- Materias decantables orgánicos o inorgánicos
- Materia orgánica
- Compuestos amoniacales y que contengan fósforo (ya que se vierte a zona sensible)
- Transformar los residuos retenidos en fangos estables y que éstos sean correctamente dispuestos.

4.- CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN Y BASES DE DISEÑO.

4.1.-Cuadro sinóptico general

ESQUEMA DE TRATAMIENTO

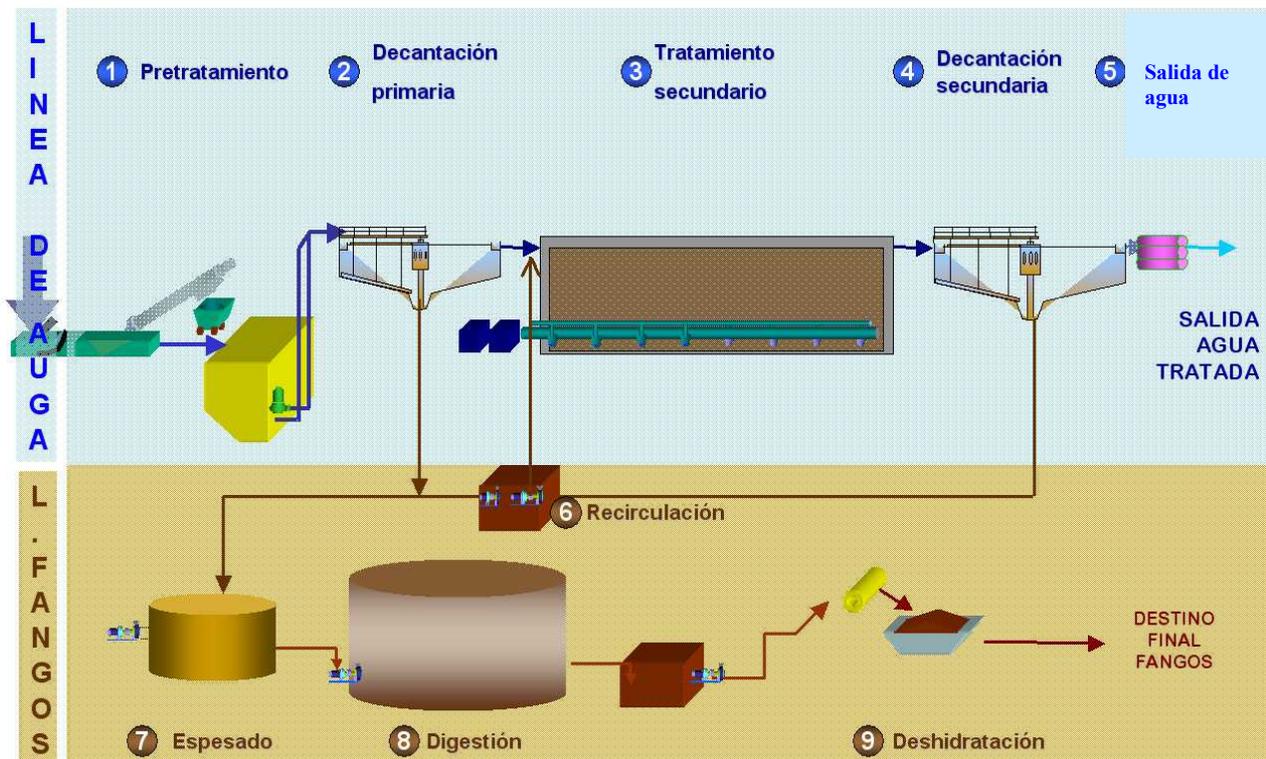


Fig.11: Cuadro sinóptico de una EDAR

Este tipo de instalación, incluye un pretratamiento, un tratamiento primario y un tratamiento secundario con un procesado completo de los fangos generados incluyendo; espesamiento, estabilización y deshidratación.

ESQUEMA DEL PROCESO

- **Línea de agua**

- I. Pretratamiento.

- I.a. Pozo de gruesos

- I.b. Reja de muy gruesos

- I.c. Tornillos de Arquímedes

- I.d. Reja de medios - finos

- I.e. Tamices

- I.f. Desarenado-desengrasado.

- II. Tratamiento primario

- II.a. Decantador primario

- III Tratamiento secundario

- III.a. Reactor biológico

- III.b. Decantador secundario

- **Línea de fango**

- IV. Espesamiento

- V. Estabilización

- VI. Deshidratación

- **Línea de gas**

4.2.-Bases de diseño

Se trata de una instalación de tamaño medio con un año horizonte de 25 años y se tiene en cuenta una población equivalente de 200.000 habitantes.

La dotación es de $250 \frac{L}{hab.*d}$, que es la cantidad de agua por persona y día que se consume para

lavarse, cocinar, lavar los utensilios y otros usos domésticos, incluido el riego de jardines.

DBO (Demanda biológica o bioquímica del oxígeno)

Mide la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos del agua para estabilizar esa agua residual, es decir, para la oxidación de la materia orgánica que hay en el agua.

Cuanto más alto es el valor peor calidad tiene el agua

La carga de demanda biológica de oxígeno (DBO) es $75 \frac{g}{hab.*d}$

SS (Sólidos en suspensión)

La carga de sólidos en suspensión es $90 \frac{g}{hab.*d}$.

Son las materias sólidas de tamaño superior a $1\mu m$ independientemente de que su naturaleza sea orgánica o inorgánica. Gran parte de estos sólidos son atraídos por la gravedad terrestre en periodos cortos de tiempo por lo que son fácilmente separables del agua residual cuando ésta se mantiene en tanques que tengan elevado tiempo de retención del agua residual. Otra parte, los sólidos no sedimentables, no decanta, por lo que hay que tratarlo de manera diferente.

NTK (Carga de concentración en nitrógeno total Kjeldahl)

La carga de concentración en nitrógeno total Kjeldahl es $15 \frac{g}{hab * d}$

El NTK mide el contenido de nitrógeno del cual se puede deducir el potencial del crecimiento excesivo de vegetación acuática.

Las formas predominantes de nitrógeno (NTK) en el agua residual son las amoniacales (amonio-amoniaco), nitrógeno orgánico.

P (Carga de fosfatos)

La carga de fosfatos (PO_4^{-3}) es $4.5 \frac{g}{hab * d}$. que es el fósforo total disuelto.

El fosfato no es tóxico, pero estimula el crecimiento de la vegetación.

Para hacer los cálculos, se obtienen las concentraciones en partes por millón (ppm) a partir de los datos dados anteriormente.

DBO:

$$\left(75 \frac{g}{hab * d}\right) * \left(\frac{1000mg}{g}\right) = 75.000 \frac{mg}{hab * d}$$

$$DBO = \frac{CargaDBO}{Dotación} \rightarrow \frac{75.000 \frac{mg}{hab * d}}{250 \frac{L}{hab * d}} \rightarrow 300 \frac{mg}{L}$$

DBO = 300 ppm

SS:

$$\left(90 \frac{g}{hab * d}\right) * \left(\frac{1000mg}{g}\right) \rightarrow 90.000 \frac{mg}{hab * d}$$

$$SS = \frac{CargaSS}{Dotación} \rightarrow \frac{90.000 \frac{mg}{hab * d}}{250 \frac{L}{hab * d}} \rightarrow 360 \frac{mg}{L}$$

SS = 360 ppm

NTK:

$$\left(15 \frac{g}{hab * d}\right) * \left(\frac{1000mg}{g}\right) = 15.000 \frac{mg}{hab * d}$$

$$NTK = \frac{CargaNTK}{Dotación} \rightarrow \frac{15.000 \frac{mg}{hab * d}}{250 \frac{L}{hab * d}} \rightarrow 60 \frac{mg}{L}$$

NTK = 60 ppm

P:

$$\left(4.5 \frac{g}{hab * d}\right) * \left(\frac{1000mg}{g}\right) = 4.500 \frac{mg}{hab * d}$$

$$P = \frac{CargaP}{Dotación} \rightarrow \frac{4.500 \frac{mg}{hab * d}}{250 \frac{L}{hab * d}} \rightarrow 18 \frac{mg}{L}$$

P = 18 ppm

CAUDAL DE ENTRADA

El caudal de entrada a la estación depuradora puede variar muy bruscamente en caso de lluvia.

La mayoría de poblaciones no disponen de red de alcantarillado separativa, es decir, que el agua residual que se conduce a la depuradora no se mezcla con el agua de la lluvia que se desliza por los tejados y las calles.

Hoy por hoy, la mayoría de redes de alcantarillado son unitarias y cuando llueve parte del agua no se puede tratar en las estaciones depuradoras y se desvía por los aliviaderos.

Aunque a menudo es posible tratar el doble de lo habitual, el caudal de entrada, puede llegar hasta niveles no asumibles por las plantas de tratamiento (se superan los caudales llamados máximos y punta, valores característicos que limitan la capacidad de admisión de las instalaciones).

En caso de lluvia, una parte considerable del agua residual va directamente al río, diluida, eso sí, con una gran cantidad de agua de lluvia.

En estos casos se utilizan los llamados tanques de tormenta, que son para almacenar la fracción inicial del caudal que llega hasta la E.D.A.R. en episodios lluviosos, como mínimo los primeros 20-30 minutos y para después ir añadiendo, ese caudal extra, al proceso biológico de forma progresiva sin que afecte el funcionamiento normal del mismo.

De todas maneras en episodios lluviosos, es sabido y está comprobado con datos experimentales, que la fracción inicial que llega a la E.D.A.R. recoge los sedimentos y toda la carga contaminante que esta depositada en el colector general y que por tanto no debe ser vertida directamente al medio receptor puesto que puede contener puntas de contaminación importantes.

A parte, el caudal de entrada varía considerablemente según la época del año. En vacaciones, disminuye en la mayoría de poblaciones industriales y aumenta extremadamente en las poblaciones costeras con instalaciones turísticas. Por este motivo, este tipo de poblaciones disponen de una EDAR que trabaja a pleno rendimiento durante los meses más cálidos (temporada alta). Lo que queda de año trabajan muy diferente; en ocasiones, hasta se para alguna de las diferentes líneas de tratamiento de las que suelen disponer estas depuradoras.

En este caso el Caudal (Q) = hab.*Dotación = 200.000 habitantes * $250 \frac{L}{hab * d} = 50.000.000 \frac{L}{d}$

$50.000.000 \frac{L}{d}$ que se pasa a $\frac{m^3}{d}$

$$50.000.000 \frac{L}{d} * \frac{m^3}{1000L} = 50.000 \frac{m^3}{d}$$

Se obtiene, a partir de este dato, el Caudal medio y el Caudal máximo.

$$Q_{med} = \frac{Q}{24h} = \frac{50000 \frac{m^3}{d}}{24 \frac{h}{d}} = 2083'3 \frac{m^3}{h} \text{ que se redondea a } 2100 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{m\acute{a}x.} = Q_{med} * (1'15 + (\frac{2'575}{(Q_{med})^{0'25}})) \rightarrow 2100 \frac{m^3}{h} * (1'15 + (\frac{2'575}{(2100)^{0'25}})) = 3190 \frac{m^3}{h}$$

Recopilando los datos anteriormente calculados, se tienen los datos de inicio de la instalación, con los que se desarrollan el resto de cálculos:

- DBO = 300 ppm

- SS = 360 ppm

- NTK = 60 ppm

- P = 18 ppm

- Caudal diario = $50.000 \frac{m^3}{d}$

- Caudal medio = $2100 \frac{m^3}{h}$

Caudal máximo = $3190 \frac{m^3}{h}$

4.3.-Proceso

LINEA DE AGUA

I. PRETRATAMIENTO

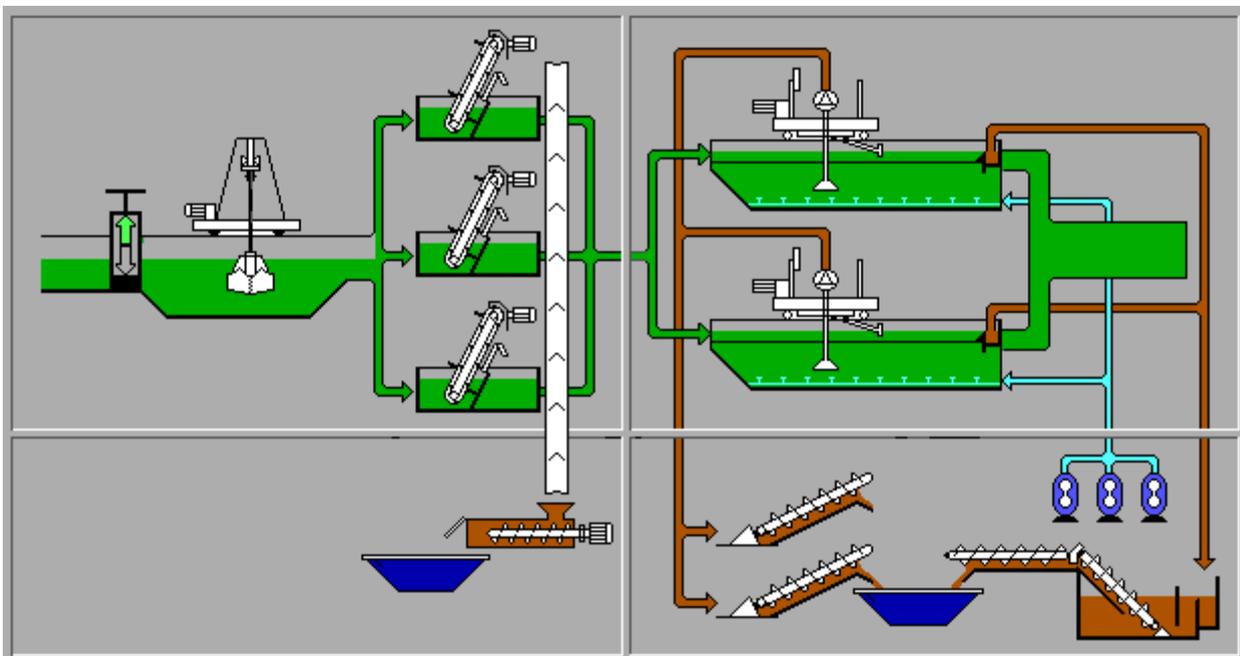


Fig.12: Pretratamiento

El pre-tratamiento recibe el agua que se producen en las poblaciones que no cuentan con red separativa de pluviales y negras, permitiendo aceptar hasta un caudal máximo de diseño. En caso de lluvia el exceso no retenido en el tanque de tormentas saldrá por el aliviadero general. El pretratamiento o desbaste se efectúa en dos etapas claramente diferenciadas;

En la primera etapa del desbaste se eliminan primero los sólidos de mayor tamaño y pesados por medio de un pozo de gruesos y una cuchara anfibia. Después las rejillas de gruesos eliminan los sólidos grandes. Y posteriormente las rejillas de medios (cuatro en este caso), retienen los sólidos flotantes

mayores de 10 mm, que junto con los sólidos retenidos por los tamices, son evacuados a un contenedor por medio de una cinta transportadora.

La segunda etapa del pre-tratamiento se realiza en los desarenadores-desengrasadores, donde gracias al aire aportado por varias soplantes a través de unos difusores, flotarán las grasas y aceites que son recogidos por unas rasquetas a un pozo desde el cual se bombea a un contenedor. Al mismo tiempo, las arenas decantadas se recogen en un clasificador de arenas y una vez lavadas se envían a destino final mediante contenedor.

El proceso de desbaste tiene como finalidad la eliminación o separación de sólidos de un volumen elevado ya que el arrastre de aguas puede traer multitud de objetos, como piedras, telas, etc. que producirían graves alteraciones en el normal funcionamiento de los equipos.

I.a. Pozo de gruesos.

Consiste en un pozo, situado a la salida del colector a la depuradora, sus paredes tienen una inclinación que facilitan el descenso de los sólidos y las arenas decantadas en una zona específica, que facilite su posterior extracción por medio de una cuchara bivalva de accionamiento electrohidráulico conectada a un puente-grúa.

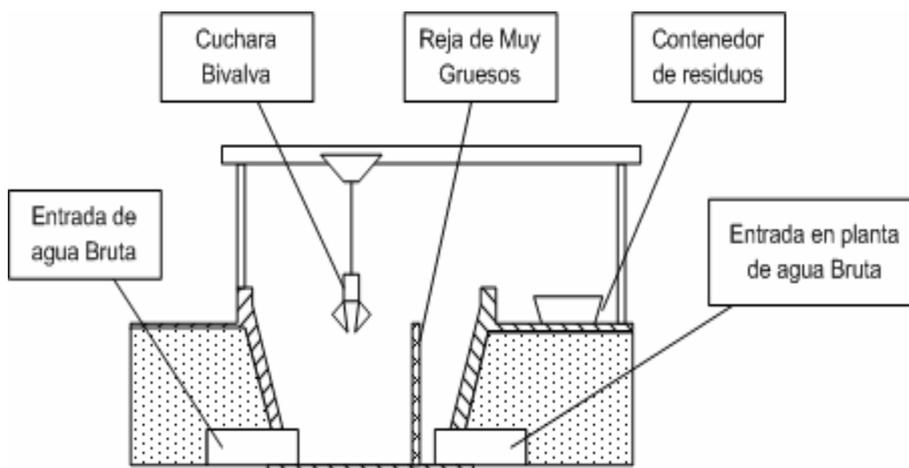


Fig.13: Pozo de gruesos

El tiempo de retención, tiempo que el agua va a permanecer en el pozo, es de $Tr = 1'5$ minutos y el valor de Carga Hidráulica o volumen de agua que está entrando en el pozo por minuto,

$$\text{es de } CH = 1 \frac{m^3}{m^2 * \text{min}}$$

Con estos datos se tiene la información para obtener el volumen y la superficie que se necesita para construir el pozo de gruesos.

$$\text{Volumen} = \frac{Q_{\text{máx}} * Tr \text{ min}}{60 \frac{\text{min}}{h}} \rightarrow \frac{3190 \frac{m^3}{h} * 1'5 \text{ min}}{60 \frac{\text{min}}{h}} = 80 m^3$$

Para obtener la superficie se sabe que:

$$\text{Superficie} = \frac{Q_{\text{máx}} \frac{m^3}{h}}{60 \text{ min} * CH \frac{m^3}{m^2 * \text{min}}} \rightarrow \frac{3190 \frac{m^3}{h}}{60 \frac{\text{min}}{h} * 1 \frac{m^3}{m^2 * \text{min}}} = 53 m^2$$

Teniendo el volumen y la superficie, se calcula la altura mínima del pozo:

$$\text{Altura (H)} = \frac{Vm^3}{Sm^2} \rightarrow \frac{80m^3}{53m^2} = 1'5 \text{ m de alto.}$$

I.b. Rejas de muy gruesos

Después de la separación de grandes sólidos el agua pasa por una reja de predesbaste que impide a las materias de un tamaño normalmente superior a 6 cm. que pasen. Las rejas deben ser limpiadas frecuentemente, ya que sino quedarían obstruidas. Esto se consigue por medio de elementos móviles y de limpieza automáticos, que peinan las rejillas y arrastran la suciedad hasta una cinta transportadora. Actualmente existen varios tipos de equipos que se encargan de esta función, como por ejemplo las rejillas planas e inclinadas con peines que son movidas por cadenas o las rejillas curvadas con peines giratorios.

Se coloca una reja justo antes de la entrada a los tornillos de Arquímedes, que es el siguiente paso.

El espacio entre los barrotes de la reja de gruesos será de L= 30 cm y el espesor del barrote será, e = 10 cm.

Como la anchura del pozo es de 6 m = 600 cm, para calcular el número de barrotes que se colocan:

$$\text{Número de barrotes} = \frac{600\text{cm}}{30\text{cm}} = 20 \text{ barrotes}$$



Fig.14: Rejas de gruesos

Después de pasar por el pozo de gruesos, el agua pasa a ser elevada por medio de bombas o tornillos sin fin, también llamados tornillos de Arquímedes. Desde aquí es impulsada a una altura (o cota de nivel) suficiente que le permita circular por todos los elementos de la planta hasta el final, simplemente por desnivel.

I.c. Tornillos de Arquímedes

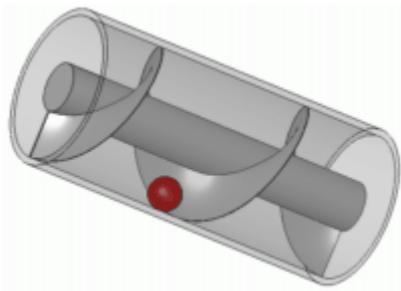


Fig.15: Tornillo de Arquímedes

Para bombear el agua a la planta se van a utilizar tornillos de Arquímedes.

Se colocan tres tornillos de Arquímedes para tener dos en uso, a caudal medio y los tres a caudal máximo y cuando haya picos de caudal.

Por cada uno de ellos pasará la mitad del caudal máximo, por lo tanto, se hacen los cálculos para conocer el caudal que pasará. Se calcula tanto para el caudal medio como para el caudal máximo, y se elige el valor mayor para continuar.

$$\frac{Q_{med} \frac{m^3}{h}}{2} = \frac{2100 \frac{m^3}{h}}{2} = 1050 \frac{m^3}{h}$$

Se calcula este dato en $\frac{L}{s}$

$$\frac{1050 \frac{m^3}{h} * 1000 \frac{L}{m^3}}{3600 \frac{s}{h}} = 292 \frac{L}{s}$$

Y para el caudal máximo,

$$\frac{Q_{m\acute{a}x}}{2} = \frac{3190 \frac{m^3}{h}}{2} = 1595 \frac{m^3}{h} \text{ que se redondea a } 1600 \frac{m^3}{h}$$

$$\frac{1600 \frac{m^3}{h} * 1000 \frac{L}{m^3}}{3600 \frac{s}{h}} = 444 \frac{L}{s}.$$

Por ser el valor mayor, será el que se tenga en cuenta.

TABLA DE CAUDALES CON ÁNGULO DE 30°			
Diámetros (mm) Ø _ Ø	RPM	Doble paso o entrada (l/s)	Triple paso o entrada (l/s)
400-215	90	21	25
500-270	80	36	42
600-320	70	55	68
700-355	63	85	102
800-400	58	113	140
900-450	55	152	200
1000-500	50	195	235
1100-560	46	240	290
1200-600	44	290	355
1300-700	41	335	410
1400-720	40	425	515
1500-750	38	520	630
			715

Fig.16: Tabla de caudales con ángulo 30°

Según la tabla de caudales con ángulo de 30° que aparece anteriormente (Fig.16), el valor de $444 \frac{L}{s}$,

que es el más alto, corresponde a un tornillo de doble paso de $520 \frac{L}{s}$ que funciona a 38 revoluciones

por minuto y cuyos diámetros son: 750mm el del núcleo menor y 1500mm el de los alabes.

Como se ha mencionado anteriormente se colocan tres tornillos de 1500mm de diámetro de alabes y se deja entre ellos una distancia de 300mm.

Si se suman estas distancias, se obtiene el ancho del pozo que se va a necesitar, como mínimo.

Anchura= (1500mm*3)+ (300mm*4)=5700mm = 5'7 m que se redondea a **6m**.

Teniendo la superficie y la anchura del pozo se puede calcular su longitud:

$$\text{Longitud} = \frac{\text{Superficie}}{\text{Anchura}} = \frac{53\text{m}^2}{6\text{m}} = 9'3 \text{ m que se redondea a } \mathbf{10 \text{ m.}}$$

Se ajusta el pozo de gruesos a 10m x 6m x 1'5 m que corresponde a un volumen de $\mathbf{90\text{m}^3}$.

I.d. Rejas de medios – finos.

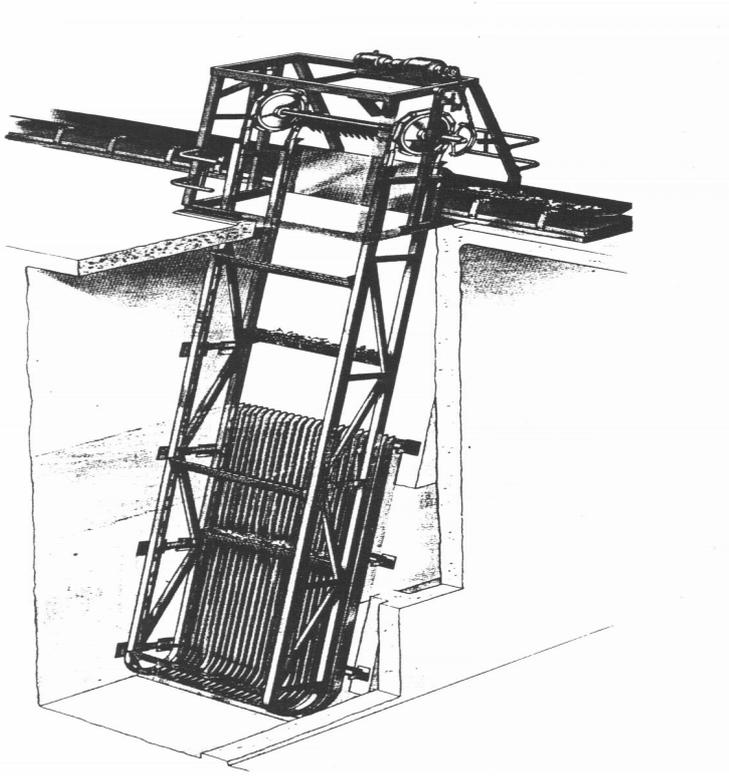


Fig.17. Rejilla plana e inclinada con peines de limpieza

Tras la subida por los tornillos de Arquímedes, el agua pasa por otras rejas, esta vez con un paso libre entre barrotes que varia según el tipo de materiales que lleguen a la depuradora y el afinamiento que se le quiera dar.

Tras subir por los tornillos, el canal se divide en 4, de estos 4 canales, uno de ellos será de reserva, por lo que quedará el caudal dividido en 3.

$$\text{El caudal medio: } \frac{Q_{med}}{3} = \frac{2100 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3} = 694,4 \text{ que se redondea a } 700 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\text{El caudal máximo: } \frac{Q_{máx}}{3} = \frac{3190 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{3} = 1063'29 \text{ que se redondea a } 1063 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}.$$

La velocidad del agua a su paso la reja,

$$\text{a caudal medio, } Q_{\text{med}} = 0'8 \frac{m}{s}$$

$$\text{y a caudal máximo, } Q_{\text{máx.}} = 1'2 \frac{m}{s}$$

Con estos datos se puede calcular la superficie de la reja,

$$S_{\text{med}} = \frac{\frac{Q_{\text{med}}^3}{h}}{\frac{3600 \frac{s}{h}}{v \frac{m}{s}}} * \frac{L_{\text{med}} + e_{\text{med}}}{L_{\text{med}}} * \frac{1}{C}$$

Para el caudal medio sería,

$$S_{\text{med}} = \frac{\frac{695 \frac{m^3}{h}}{3600 \frac{s}{h}}}{0'8 \frac{m}{s}} * \frac{12mm + 10mm}{12mm} * \frac{1}{0'7} = 0'631 \text{ m}^2$$

Y para el caudal máximo,

$$S_{\text{máx.}} = \frac{\frac{1063 \frac{m^3}{h}}{3600 \frac{s}{h}}}{1'2 \frac{m}{s}} * \frac{12mm + 10mm}{12mm} * \frac{1}{0'7} = 0'644 \text{ m}^2.$$

Se tiene en cuenta este último valor ya que es el mayor.

La inclinación de la reja es de 80°.

Se obtienen las superficies cuando las rejillas están mojadas

$$\text{Para caudal medio: } S_{\text{med}} = \frac{S_{\text{med}}}{\text{sen } \alpha} = \frac{0'631 \text{ m}^2}{\text{sen } 80^\circ} = 0'641 \text{ m}^2$$

$$\text{Para caudal máximo: } S_{\text{máx.}} = \frac{S_{\text{máx.}}}{\text{sen } \alpha} = \frac{0'644 \text{ m}^2}{\text{sen } 80^\circ} = 0'655 \text{ m}^2$$

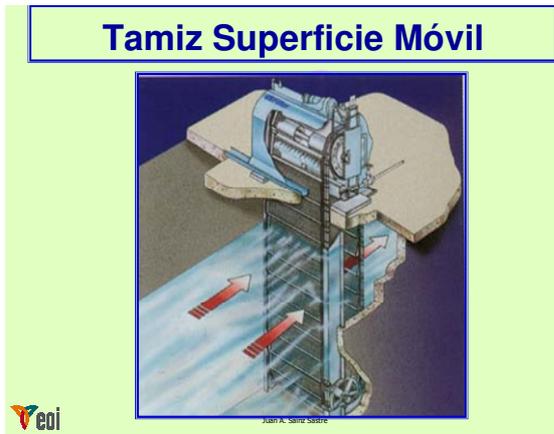


Fig.18: Tamiz de superficie móvil.

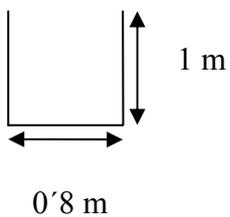


Fig.19: Tamiz.

El tamizado consiste en una filtración para extraer los materiales más pequeños.

En este caso con una luz de 3 mm, un ancho de canal de 0'8 m y el caudal que va por cada canal que es de $1063 \frac{m^3}{h}$ a caudal máximo y según la gráfica que aparece en la página siguiente (Fig. 20), donde se intercalan los datos, se elige el valor de $1100 \frac{m^3}{h}$ que al intercalarlo en la gráfica, les corresponde un valor de calado de 1 m aproximadamente.

Por tanto se tienen 4 canales de dimensiones



La superficie de la reja debe tener un mínimo, según los cálculos, de 0'644 m².

Como el tamiz debe tener unas dimensiones de 0'8 m x 1m (altura del agua) = 0'8 m².

Se ajustan las medidas del canal a estos valores, que sirven también para las rejillas.

La superficie del canal es de 0'644 m²

y la anchura del canal se ha decidido que sea de 0'8 m

por lo que la altura del agua será de $\frac{0,644\text{m}^2}{0,8\text{m}} = 0'85 \text{ m}$.

Con 1 m es suficiente.

La pérdida de carga a través de la reja, con un valor de velocidad de 1'2 a Q máx. y 0'8 a Qmed será de 20 cm. como máximo.

Para salvar esta pérdida de carga y que quede la altura del agua igual en todo el canal, se hará un escalón en el canal.

I.f. Desarenado-desengrasado.

Este es el último paso del pretratamiento.

Se elige un desarenador aireado en el que se extraen las arenas y grasas aireando y removiendo el agua para que las grasas floten y las arenas se depositen en el fondo, ya que estas substancias interfieren físicamente en el proceso de depuración acumulándose en los decantadores en forma de sedimentos y interfiriendo en el intercambio de gases en el reactor biológico a causa del aislamiento que producen las grasas.

Desarenado: El desarenado tiene por objetivo el eliminar las materias pesadas de granulometría superior a 200 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguientes.

Aunque esta operación está pensada para decantar las “arenas” (incluyendo aquí las gravas y partículas minerales), también se eliminan otros elementos de origen orgánico, difíciles de desintegrar como granos de café, semillas, huesos...

Desengrasado: Su objetivo es eliminar las grasas, aceites, espumas y otras sustancias de densidad inferior a la del agua, que pudieran distorsionar los procesos de tratamiento posteriores.

El desengrasado se realiza agregando finas burbujas de aire, para generar un movimiento helicoidal que produzca que las grasas se dispersen, facilitando así su flotación. Normalmente, las grasas previamente concentradas, se almacenan en contenedores especiales y se envían a un vertedero.

Se tiene una carga hidráulica de,

$$25 \frac{m^3}{m^2 h} \text{ a caudal máximo}$$

$$\text{y } 15 \frac{m^3}{m^2 h} \text{ a caudal medio.}$$

El tiempo de retención,

10 min. a caudal máximo

y 15 min. a caudal medio.

Con estos datos se obtiene la superficie del desarenador,

$$\text{Superficie horizontal } Sh = \frac{Q \frac{m^3}{h}}{CH \frac{m^3}{m^2 h}}$$

Se calcula con el caudal dividido entre dos ya que se van a colocar 2 desarenadores, debido a las limitaciones de tamaño de estos.

$$\frac{Q_{med}}{2} = \frac{2100 \frac{m^3}{h}}{2} = 1050 \frac{m^3}{h}$$

$$\frac{Q_{max}}{2} = \frac{3190 \frac{m^3}{h}}{2} = 1595 \frac{m^3}{h} \text{ que se redondea a } 1600 \frac{m^3}{h}$$

Se obtiene la superficie del desarenador

$$S (m^2) = \frac{Q \frac{m^3}{h}}{CH \frac{m^3}{m^2 h}}$$

$$\text{que para el caudal medio sería, } S \text{ (m)} = \frac{1050 \frac{m^3}{h}}{15 \frac{m^3}{m^2 h}} = 70 \text{ m}^2$$

$$\text{Y para el caudal máximo, } S \text{ (m)} = \frac{1600 \frac{m^3}{h}}{25 \frac{m^3}{m^2 h}} = 64 \text{ m}^2$$

Ahora se necesita saber el volumen del desarenador, que será

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \frac{Q \frac{m^3}{h} * Tr \text{ min}}{60 \frac{\text{min}}{h}}$$

$$\text{Para el caudal medio, } V \text{ (m}^3\text{)} = \frac{1050 \frac{m^3}{h} * 15 \text{ min}}{60 \frac{\text{min}}{h}} = 262'5 \text{ m}^3$$

$$\text{y para el caudal máximo, } V \text{ (m}^3\text{)} = \frac{1600 \frac{m^3}{h} * 10 \text{ min}}{60 \frac{\text{min}}{h}} = 266'66 \text{ m}^3 \text{ que se redondea a } \mathbf{267 \text{ m}^3}$$

La altura del desarenador sería como mínimo de:

$$\text{Altura (h)} = \frac{Vm^3}{S_h m^2} = \frac{267 m^3}{70 m^2} = 3'81 \text{ m que se redondea a } 4 \text{ m.}$$

Las limitaciones de este tipo de desarenadores son las siguientes:

La altura debe estar entre 3 y 4'5 m

La longitud debe ser menor de 20 m y

La anchura debe estar entre 2 y 6 metros.

Teniendo en cuenta estas limitaciones y los resultados obtenidos, se ajustan las medidas a 5 m de ancho x 15 m de largo x 4 m de alto. Colocándose dos desarenadores de iguales medidas.

El valor del volumen que se necesita es de 266 m³ en cada uno de los dos desarenadores y con las medidas que se han elegido tendría un volumen de

$$5 * 15 * 4 = 300 \text{ m}^3 \times 2 \text{ desarenadores} = 600 \text{ m}^3$$

La relación entre longitud y anchura debe estar dentro del rango 2'5-5 y en este caso da un valor de $\frac{15m}{5m} = 3$. Valor que esta dentro del rango.

Para calcular la cantidad de aire que se necesita inyectar se tiene que:

$$\text{Caudal de aire (Q aire } \frac{m^3}{h} \text{)} = V m^3 * 1'5 \frac{m^3}{m^2 h}$$

$$Q \text{ aire } \frac{m^3}{h} = 300 m^3 * 1'5 \frac{m^3}{m^2 h} = 450 \frac{m^3}{h} \text{ este es el volumen teórico}$$

$$\text{Cada difusor tiene una capacidad de } 10 \frac{m^3}{h * \text{unidad}}$$

$$\text{Se necesita } \frac{450 \frac{m^3}{h}}{10 \frac{m^3}{h * \text{unidad}}} = 45 \text{ unidades en cada desarenador.}$$

En total 90 unidades.

La longitud del desarenador es de 15 metros por lo que los difusores estarán separados,

$$\frac{15m}{45 \text{unidades}} = 0,33 \text{ m, Cada } 30 \text{ cm., un difusor.}$$

II. TRATAMIENTO PRIMARIO.

Busca reducir la materia en suspensión por medio de la sedimentación, en este caso sin añadir ningún tipo de reactivo

II.a. Decantador primario.

No todas las depuradoras disponen de este paso, que lo añadan o no dependerá de su tamaño. La decantación primaria tiene como propósito reducir los sólidos en suspensión de las aguas residuales (que no han podido ser retirados en los tratamientos anteriores debido a su reducido tamaño) por acción de la gravedad. En consecuencia sólo se pueden eliminar los sólidos sedimentables.

El agua llega de los tratamientos anteriores a un recinto (normalmente circular o rectangular) donde se deja reposar durante varias horas. En este tiempo, los fangos se depositan en el fondo del depósito formando lo que llamaremos fangos primarios.

Se van a utilizar 2 decantadores circulares.

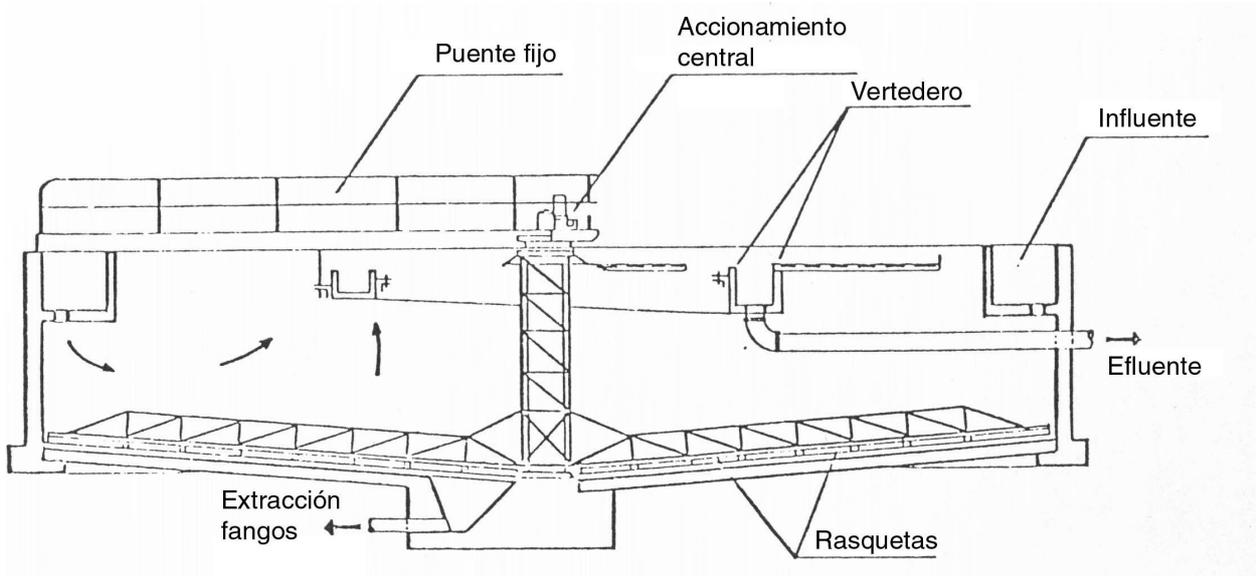


Fig.21: Decantador primario

La carga hidráulica. CH= Velocidad ascensional del agua,

$$1'5 \frac{m}{h} \text{ a caudal medio}$$

$$\text{y } 2'5 \frac{m}{h} \text{ a caudal máximo}$$

Y el tiempo de retención,

$$Tr= 2'5 \text{ h a caudal medio}$$

$$\text{y } 1'5 \text{ h a caudal máximo}$$

$$Q_{\text{med}} = 1050 \frac{m^3}{h} \text{ y } Q_{\text{máx}} = 1600 \frac{m^3}{h}$$

$$\text{Superficie } m^2 = \frac{Q \frac{m^3}{h}}{Vel \frac{m}{h}}$$

A caudal medio

$$S = \frac{1050 \frac{m^3}{h}}{1'5 \frac{m}{h}} = 700 m^2$$

A caudal máximo,

$$\text{Superficie } m^2 = \frac{1600 \frac{m^3}{h}}{2'5 \frac{m}{h}} = 640 m^2$$

El volumen será,

$$V m^3 = Q \frac{m^3}{h} * Tr h$$

$$\text{A caudal medio, } 1050 \frac{m^3}{h} * 2'5 h = 2625 m^3$$

$$\text{y a caudal máximo, } 1600 \frac{m^3}{h} * 1'5 h = 2400 m^3$$

También se sabe que:

$$V m^3 = S_h m^2 * \text{altura } m$$

Si se igualan las dos ecuaciones anteriores se obtiene que

$$\text{Altura } m = Q \frac{m^3}{h} * \frac{Trh}{S_h m^2}$$

a caudal medio.

$$\text{Altura } m = 1050 \frac{m^3}{h} * \frac{2'5h}{700m^2} = 3'75 m$$

Y la altura a caudal máx.:

$$\text{Altura (m)} = 1600 \frac{m^3}{h} * \frac{1'5h}{640m^2} = 3'75 m.$$

Quedan dos decantadores de 3,75 m de profundidad, con un volumen de 2625 m³ y una superficie de 700 m².

Se necesita saber el diámetro del decantador que va a ser circular.

Se sabe que el área del círculo, que corresponde a la superficie es:

$$A = \eta * r^2 \rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\eta}} \quad r = \sqrt{\frac{700}{314}} \quad r = 15 \text{ m.}$$

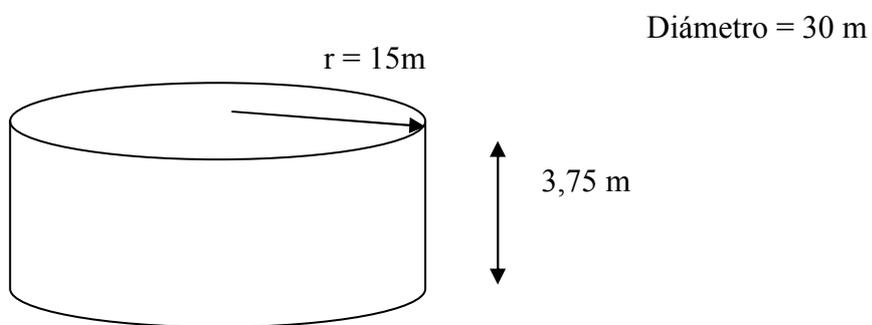
Diámetro = 30m

Se comprueba que coincide aproximadamente con el volumen que se necesita. Como es una forma cilíndrica, se sabe que el volumen del cilindro es,

$$V = \sqrt{\eta * r^2 * h} \rightarrow V = \sqrt{314 * 15^2 * 3,75} \rightarrow V = 2625 \text{ m}^3.$$

$$2625 \text{ m}^3 * 2 \text{ decantadores} = 5250 \text{ m}^3$$

Se tienen entonces dos decantadores de,



III. TRATAMIENTO SECUNDARIO.

Tras los tratamientos anteriores, teóricamente, se ha tenido que eliminar:

-Un 66'6% de sólidos en suspensión por lo tanto, como entran 360 ppm, se eliminan 240ppm y quedan 120ppm en el agua.

-Un 33'3% de demanda biológica de oxígeno, es decir, de las 300 ppm que entran al comienzo, se han eliminado 100ppm y quedan 200ppm en el agua.

-Un 10% de nitrógeno total Kjeldahl por lo que de las 60 ppm del comienzo, quedan 54 ppm en el agua

-Un 10% de fosfatos, es decir, de las 16 ppm que entran en un comienzo, quedan 16'2 ppm en el agua.

Estos valores son los que van a entrar en el tratamiento biológico.

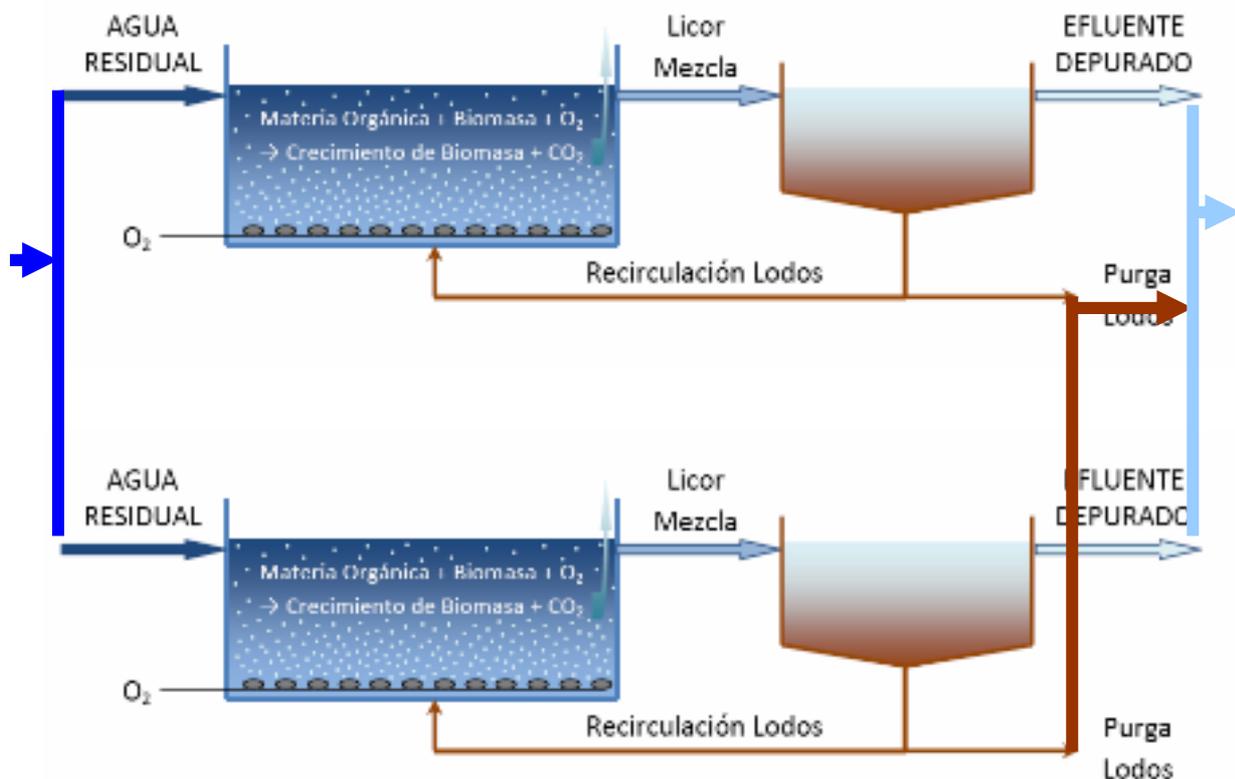


Fig.22: Tratamiento secundario

Una segunda parte importante en el proceso de depuración es la eliminación de la materia orgánica e inorgánica que el agua tiene disuelta o en suspensión. El tratamiento biológico se basa en un proceso heterotrófico aeróbico (con necesidad de una fuente de carbono y nitrógeno orgánicos) y se encarga de favorecer el crecimiento de bacterias y otros organismos propios del agua que se alimentan de la materia orgánica. Se mantienen en un depósito llamado reactor biológico.

Estos microorganismos, para poder asimilar la materia orgánica, necesitan una cantidad importante de oxígeno, que se añade por medio de una inyección de aire en el reactor biológico. Esta inyección de aire se puede hacer o con agitación mecánica con una serie de turbinas o, como en este caso, a través de unos difusores sumergidos que reciben el aire de soplantes.

La transformación de la materia orgánica en una masa insoluble (fangos) requiere energía, que se obtiene de la oxidación de la misma materia orgánica del agua residual. El fango del tanque de aireación también contiene hongos y un gran número de pequeños protozoos ciliados, que ayudan a metabolizar la materia orgánica presente en el agua residual y que al mismo tiempo sirven para mantener las poblaciones de protozoos depredadores de bacterias (esencialmente ciliados y amebas) y ciertas especies de animales pluricelulares (nematodos y rotíferos).

El hecho que predominen unas poblaciones u otras dependerá de una serie de factores, entre los cuales hay que remarcar la aportación orgánica y de nutrientes así como el tiempo de retención del agua y del fango en el tanque de aireación. El fango (una mezcla de microorganismos y restos de la transformación del agua residual) se puede separar fácilmente porque tiende a unirse gracias a un mucílago (sustancia viscosa), con capacidad absorbente que segrega las mismas bacterias, y forma unos flóculos de densidad ligeramente superior a uno, por lo que presentan tendencia a decantar.

Por lo tanto el tratamiento se va a realizar en dos reactores biológicos rectangulares y en dos decantadores secundarios circulares dotados de rasquetas que van suspendidas de un puente radial, arrastrando el fango hacia la zona central del decantador, desde donde dicho fango es recirculado mediante tornillos de Arquímedes a la entrada del tratamiento biológico.

Con esta recirculación se consigue concentrar los microorganismos hasta valores muy altos. Para mantener controlado el proceso hay que purgar continuamente fango.

Se necesitan:

- Reactores o balsas biológicas
- Decantadores secundarios
- Recirculación del lodo activo.

III.a. Reactor o balsa biológica

Se tratará con una oxidación total o aireación prolongada

Es una zona sensible y se va a nitrificar-desnitrificar.

Para comenzar a hacer los cálculos, se necesita saber el rendimiento de la DBO ya que este dato determina la carga másica que es la relación entre la alimentación por día y la biomasa que hay en el sistema

El límite de vertido es de 25ppm de DBO.

Según los cálculos anteriores, 200 ppm entran en el reactor biológico y tienen que salir 25 ppm, lo que implica un rendimiento del 88%.

Rendimiento	CM
%	Kg DBO/d / Kg MLSS
87	0,5
88	0,4
90	0,3
92	0,2
93	0,1
94	0,05

Fig.23: Correspondencia entre rendimiento y C.M:

Conforme a la figura. 23, a un rendimiento del 88% le corresponde una carga másica,

$$CM = 0,4 \frac{Kg DBO}{Kg MLSS \cdot d}$$

Parámetros de Proceso de Lodos Activos			
PROCESO	CM	CV	MLSS mg/L
Convencional	0,2-0,4	0,3-0,7	1.500-3.500
Mezcla Completa	0,2-0,6	0,6-1,6	2.500-4.500
Aeración Prolongada	0,15-0,05	0,10-0,35	2.500-6.000
Oxígeno	0,2-1,0	1,2-3,5	4.000-6.000

Fig. 24: Parámetros

Según la figura.24, Una $C.M.=0'4 \frac{Kg}{Kg}$ corresponde a un tratamiento convencional o de mezcla completa.

Se va a desarrollar una aireación prolongada u oxidación total con el fin de conseguir la nitrificación

del NTK. Para eso se necesita un valor mínimo (figura 24) de $CM=0'15 \frac{Kg}{Kg}$ y unos $MLSS=4750$

$\frac{mg}{L}$, que en la figura 23 corresponde a un rendimiento del 92,5%.

Se necesita saber la cantidad de DBO que entra en el reactor, para conocer la cantidad de aire que se necesita.

$$\frac{KgDBO}{d} = [DBO] \left(\frac{Kg}{L} \right) * Q \left(\frac{L}{d} \right)$$

$$\frac{KgDBO}{d} = 200 \left(\frac{mg}{L} \right) * \left(\frac{g}{1000mg} \right) * \left(\frac{1Kg}{1000g} \right) * 50000000 \left(\frac{L}{d} \right)$$

$$L = \frac{KgDBO}{d} = 10\ 000 \frac{KgDBO}{d} \text{ entran en el reactor biológico}$$

Como se va a obtener un rendimiento de un 92,5%, de los 200 ppm, van a quedar en el agua del efluente 15ppm.

Del N total, no se nitrifica todo ya que hay N insoluble, unas 5 ppm aproximadamente y N biológico, unas 10 ppm, que se van con la biomasa.

54 ppm- (10ppm+ 5 ppm)= 39 ppm que se redondea a 40 ppm. que es lo que queda por eliminar en el agua.

Volumen del tanque de aireación

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \frac{L \frac{\text{Kg}}{d}}{\frac{\text{Kg}}{\text{CM}(\frac{d}{\text{Kg}}) * X(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})}}$$

$$\text{Volumen (m}^3\text{)} = \frac{10000 \frac{\text{Kg}}{d}}{\frac{\text{Kg}}{0.15(\frac{d}{\text{Kg}}) * 4,75(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3})}}$$

V=1435 m³ que se redondea a 14000 m³

El tiempo de residencia hidráulico (tiempo que el agua esta en el tanque)= (Tr)= $\frac{Vm^3}{Q \frac{m^3}{h}}$

$$\text{Tr} = \frac{14000m^3}{50000 \frac{m^3}{h}} = 0,28 \text{ días} = 6,7 \text{ horas, es decir unas 7 horas}$$

Las necesidades de oxígeno que tiene la biomasa del tanque para descomponer la materia orgánica del agua se calcula.

Consumo de O2

OR ($\frac{\text{Kg}}{d}$) = a*L*($\frac{R}{100}$) + b*V*X si no se nitrifica pero en este caso se va a nitrificar, por lo tanto la ecuación quedará,

$$\text{OR} (\frac{\text{Kg}}{d}) = a*L (\frac{\text{Kg}}{d}) * (\frac{R(\%)}{100}) + b*M + 4.57*Ln$$

Donde: “a” para $0,15(\frac{d}{\text{Kg}}) = 0,620$

“L”= 10 000 $\frac{\text{Kg}}{d}$ de DBO en el influente.

“R”=92,5%

$$\text{"b"} \text{ para } 0,15 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{Kg}} \right) = 0,085$$

$$\text{"M"} = V * X = 14000 \text{ m}^3 * 4,75 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{"Ln"} \left(\frac{\text{Kg}}{d} \right) = X \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) * Q \left(\frac{\text{m}^3}{d} \right) \Rightarrow 40 \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) * 50000 \left(\frac{\text{m}^3}{d} \right) = 2000 \frac{\text{Kg}}{d}.$$

Conociendo estos valores,

$$\text{OR} \left(\frac{\text{Kg}}{d} \right) = 0,620 * 10000 \frac{\text{Kg}}{d} * \left(\frac{92,5}{100} \right) + 0,085 * 14000 \text{ m}^3 * 4,75 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} + 4,57 * 2000 \frac{\text{Kg}}{d}$$

$$\text{OR} = 20527,5 \frac{\text{KgO}_2}{d} \text{ que se redondea a } 20530 \frac{\text{KgO}_2}{d}$$

$$20530 \frac{\text{Kg}}{d} * \frac{d}{24h} = 855 \frac{\text{KgO}_2}{h} \text{ que se necesitará cuando venga un caudal medio.}$$

Hay que hacer el cálculo para cuando llegue un pico de caudal, que en oxidación total será de entre 1,2 y 1,3 veces más ya que la balsa sirve de amortiguación por lo que la cantidad de oxígeno será de

$$855 \frac{\text{KgO}_2}{h} * 1,3 = 1112 \frac{\text{KgO}_2}{h}$$

El volumen del reactor es de 14000 m^3

Se colocará un reactor de 6m de profundidad que corresponde a un 40% de rendimiento de la transferencia de O_2 teórico.

El que se calcula es un 65% de este ya que los valores dados por el fabricante corresponden a agua limpia, a 20°C a nivel del mar, etc. y en la planta no se cumplen estas condiciones.

Al pasarlo a condiciones reales quedaría que,

$$40\% * 0,65 = 26\% \text{ de rendimiento por lo que } 40\% * 0,65 = 26\% \text{ de rendimiento.}$$

$$\text{Con el } 26\% \text{ se tienen } 1112 \frac{\text{KgO}_2}{h}$$

El 100% será

$$\frac{111200}{26} = 4276,9 \text{ que se redondea a } 4280 \frac{\text{KgO}_2}{h}$$

Como se inyecta aire, el O_2 es el 23% de la composición del aire, se necesitaran,

$$4280 \frac{KgO_2}{h} * \frac{100}{23} = 18608.69 \text{ que se redondea a } 18610 \frac{Kgaire}{h}$$

El V de aire que se necesita es,

$$V (m^3) = \frac{P \frac{Kg}{h}}{\text{densidad}}$$

$$\frac{18610 \frac{Kg}{h}}{1.2} = 15510 m^3$$

Para saber el número que difusores, como cada difusor tiene una capacidad de entre 3,5 y 4,5, se elige

el valor $4 \frac{m^3}{h}$

$$N^{\circ} = \frac{15510 \frac{Kg}{h}}{4 \frac{Kg}{h}} = 3880 \text{ difusores}$$

Para una mayor facilidad de operación de los reactores, en este caso se van a colocar dos, por lo que se deben poner

$$\frac{3880 \text{ difusores}}{2} = 1940 \text{ difusores en cada reactor.}$$

El volumen total necesario es de $14000 m^3$, por lo tanto cada reactor tiene un volumen de $7000 m^3$

La altura = 6 m

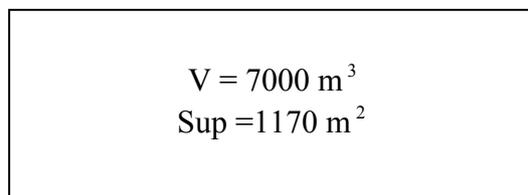
$$\text{sup.} = \frac{V}{h} = \frac{7000}{6} = 1170 m^2 * 2 \text{ reactores} = 2340 m^2 \quad 50m \text{ de largo.}$$

Ancho = 24 m

Largo = 50 m

$$24 m * 50 m = 1200 m^2$$

Se va a seccionar en tres 24 m



$$\frac{1200}{3} = 400 m^2 \text{ cada uno.}$$

$$\frac{24m}{3} = 8 m \text{ de ancho cada sección}$$

Se colocan el 42% de los difusores en el 1º, 35% en el segundo y 23% en el tercero.

La relación entre el largo y el ancho es de $\frac{50m}{8m} = 6.25$, es decir, aproximadamente 1:6

1°

42 % de 1940 \Rightarrow 1940 difusores * 0.42 = 814.8 = 815 difusores

Como la relación es 1:6, para saber las filas y las columnas que se deben colocar,

Numero de columnas * 6 Numero de columnas = 815 difusores

Numero de columnas = $\sqrt{\frac{815}{6}} = 11.65$ es decir 12 filas

Columnas = filas * 6 = 72 columnas

12 filas* 72 columnas = 864 difusores

2°

El 35% de los 1940 difusores se calcula, 1940 difusores * 0.35 = 679 difusores

Numero de columnas * 6 Numero de columnas = 679 difusores

Numero de columnas = $\sqrt{\frac{679}{6}} = 10.63$ es decir 11 filas

Columnas = filas * 6 = 11*6 = 66 columnas

11 filas *66 columnas = 726 difusores

3°

El 23 % de los 1940 difusores será, 1940 difusores * 0.23 = 446,2= 446 difusores

Numero de columnas * 6

Numero de columnas = 446 difusores

Numero de columnas = $\sqrt{\frac{446}{6}} = 8.63$ es decir 9 filas

Columnas = filas * 6 = 54 columnas

54 columnas*9 filas= 486 difusores

864+726+486 = 2076 difusores en cada reactor *2= 4152 difusores totales.

REDIMENSIONADO DEL REACTOR, INTRODUCIENDO LA ZONA DE NITRIFICACIÓN

El nitrógeno y el fósforo son elementos nutritivos para el desarrollo de vegetales acuáticos. El incremento de la temperatura favorece considerablemente el desarrollo de plantas cuando el contenido en nutrientes (nitrógeno y fósforo) en el agua es importante. Durante el día la fotosíntesis fija el CO_2 gaseoso y libera oxígeno y durante la noche la respiración consume el oxígeno disuelto en el agua, produciendo una desoxigenación que es mortal para muchos peces, por este motivo es interesante, siempre que sea necesario, eliminar estos elementos del agua antes de verterla al río.

Una parte de los cursos fluviales de nuestro país han estado declarados zonas sensibles por el plan de saneamiento. El motivo es, o bien porque esta zona se destinará a la obtención de agua potable, o bien porque posea un carácter autotrófico o pueda llegar a adquirirlo en caso de no recibir protección adecuada. En estos casos es cuando se debe proceder a la eliminación de los nutrientes presentes en el agua. Se trata de evitar el crecimiento masivo de algas que causan la posterior problemática del agua de los ríos y embalses (fenómeno llamado eutrofización).

La eliminación del nitrógeno, a través de un proceso de nitrificación-desnitrificación, se consigue por sistemas biológicos empleando variantes de los sistemas de fangos activos. Se basa en dos fases sucesivas:

-La primera consiste en transformar el nitrógeno orgánico y amoniacal del tanque de aireación en nitratos, cosa que se consigue al poner en contacto agua residual y fangos activos con oxígeno disuelto, después de un tiempo unas bacterias se encargan de llevar a cabo esta transformación.

-Una segunda fase se encargará de desnitrificar el agua, en este caso sin presencia de oxígeno disuelto, para facilitar que los nitratos sean transformados a compuestos gaseosos de nitrógeno, nitrógeno gas y óxidos de nitrógeno, que serían liberados espontáneamente a la atmósfera. La desnitrificación se produce gracias a unas bacterias que, ante la falta de oxígeno disuelto en el agua son capaces de usar los nitratos y nitritos para obtener el oxígeno preciso para su desarrollo.

Gracias a esto, ha sido posible diseñar sistemas capaces de eliminar el nitrógeno del agua residual.

La eliminación de los compuestos de fósforo (desfosfatación) se consigue, generalmente, por sistemas físico-químicos: incorporando el fósforo a los sólidos en suspensión, haciéndolo precipitar a base de algún agente coagulante, como el cloruro férrico (III), que se dosifica en el fango del reactor biológico antes de entrar en los decantadores, y eliminando a continuación el conjunto de estos elementos en forma de lodos. También existen sistemas biológicos eficaces para la eliminación del fósforo, que consiste en introducir unas determinadas condiciones para que proliferen los microorganismos del fango activo, de manera que absorba la máxima cantidad de fósforo, que posteriormente también se eliminará en forma de lodo.

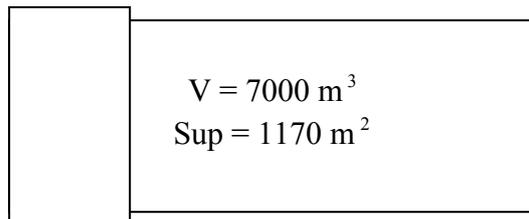
Como se va a nitrificar-desnitrificar, se aprovecha el mismo reactor para que realice ambas funciones. Se utiliza un 20% de la capacidad del reactor para desnitrificar. Se hace una separación.

La superficie de cada reactor es de,

$$S = \frac{V}{h} = \frac{7000}{6} = 1170 \text{ m}^2 * 2 \text{ reactores} = 2340 \text{ m}^2 \quad 50\text{m}$$

El ancho = 24 m

El largo = 50 m



Al seccionarlo en dos partes, una del 20% y la otra del 80%, quedará que,

El largo de la zona anóxica = 10m y

El largo de la zona óxica = 40m

24 m * 40 m = 960 m² de zona óxica

24 m * 10 m = 240 m² de zona anóxica

$$\frac{24}{3} = 8 \text{ m de ancho cada sección}$$

Se colocan el 42% de los difusores en el 1º, 35% en el segundo y 23% en el tercero.

La relación entre el largo y el ancho es de $\frac{40}{8} = 5$, es decir 1:5

1º

42 % de 1940 => 1940 * 0.42 = 814.8 = 815 difusores

Como la relación es 1:5, para saber filas y las columnas,

Numero de columnas * 5 Numero de columnas = 815 difusores

$$\text{Numero de columnas} = \sqrt{\frac{815}{5}} = 12.76 \text{ es decir } 13 \text{ filas}$$

Columnas = filas * 5 = 65 columnas

$$13 * 65 = 845 \text{ difusores}$$

2°

35% de 1940 entonces $1940 * 0.35 = \Rightarrow 679$ difusores

Numero de columnas * 5 Numero de columnas = 679 difusores

$$\text{Numero de columnas} = \sqrt{\frac{679}{5}} = 11.65 \text{ es decir } 12 \text{ filas}$$

Columnas = filas * 5 = 60 columnas

$$12 * 60 = 679 \text{ difusores}$$

3°

23 % de 1940 $\Rightarrow 1940 * 0.23 = 446,2 = 447$ difusores

Numero de columnas * 5 Numero de columnas = 447 difusores

$$\text{Numero de columnas} = \sqrt{\frac{447}{5}} = 8.63 \text{ es decir } 9 \text{ filas}$$

Columnas = filas * 5 = 45 columnas

$$9 * 45 = 405 \text{ difusores}$$

$$845 + 720 + 405 = 1970 \text{ difusores en cada reactor } * 2 = 3940 \text{ difusores totales.}$$

III.b.-Decantador secundario

La decantación secundaria se encarga de eliminar la materia formada por pequeños flóculos sedimentables. El sistema es, básicamente, igual que en la decantación primaria.

El agua entra en el decantador secundario llena de pequeños flóculos que, tras unas horas de reposo, van decantando en el fondo. Después, unas rasquetas se encargan de arrastrar los fangos depositados en el fondo del decantador.

Aquí es donde termina el proceso de depuración del agua en la mayoría de las plantas depuradoras, después de este tratamiento se vierte al río con unos niveles de contaminación despreciables.

Se van a utilizar cuatro decantadores circulares.

La carga hidráulica, CH= Velocidad ascensional del agua,

$$0'5 \frac{m}{h} \text{ a caudal medio}$$

$$\text{y } 1'5 \frac{m}{h} \text{ a caudal máximo.}$$

Y el tiempo de residencia = Tr,

$$5 \text{ h a caudal medio}$$

$$\text{y } 2'5 \text{ h a caudal máximo}$$

$$\frac{Q_{med}}{4} = 525 \frac{m^3}{h} \text{ y } \frac{Q_{max}}{4} = 797 \frac{m^3}{h}$$

Se calcula la superficie de cada decantador,

$$\text{Superficie } m^2 = \frac{Q \frac{m^3}{h}}{Vel \frac{m}{h}}$$

$$\text{A caudal medio, la superficie será, } S (m^2) = \frac{525 \frac{m^3}{h}}{0'5 \frac{m}{h}} = 1050 m^2 \text{ cada decantador}$$

Los dos decantadores = 2100 m²

$$\text{A caudal máximo, superficie } (m^2) = \frac{797 \frac{m^3}{h}}{1'5 \frac{m}{h}} = 532 m^2$$

El volumen de los decantadores será:

$$V m^3 = Q \left(\frac{m^3}{h} \right) * Tr (h)$$

$$\text{A caudal medio } 525 \frac{m^3}{h} * 5 h = 2625 m^3 \text{ cada decantador } *4 = 10500 m^3$$

$$\text{y a caudal máximo, } 797 \frac{m^3}{h} * 2'5 h = 1994 m^3$$

También se sabe que:

$$V m^3 = S_h m^2 * \text{altura } m$$

Si se igualan las dos ecuaciones anteriores se obtiene que

$$\text{Altura } m = Q \frac{m^3}{h} * \frac{Trh}{S_h m^2}$$

$$\text{a caudal medio, la altura, altura (m)} = \frac{Vm^3}{Sm^2} = \frac{2625m^3}{1050m^2} = 2.5 m$$

$$\text{y a caudal máximo, la altura (m)} = \frac{Vm^3}{Sm^2} = \frac{1994m^3}{532m^2} = 3.75 m,$$

Quedarían cuatro decantadores de 3,75 de profundo, con un volumen de 2625 m³ y una superficie de 1050 m².

Se necesita saber el diámetro del decantador que va a ser circular.

Sabiendo que el área del círculo, que corresponde a la superficie es:

$$A = \eta * r^2 \rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\eta}} \quad r = \sqrt{\frac{1050}{3'14}} \quad r = 18 m.$$

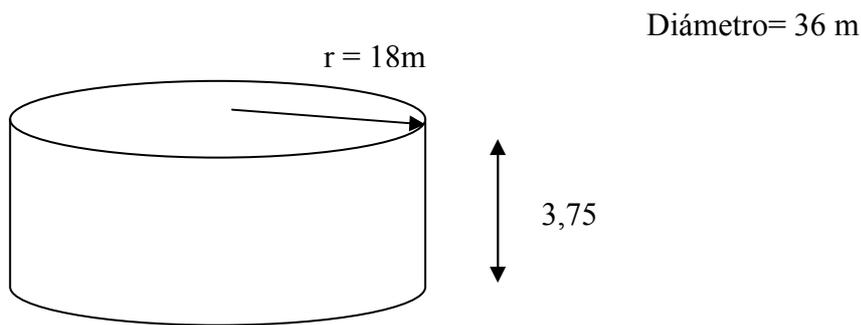
$$\text{Diámetro} = 36 m$$

Se comprueba que coincide aproximadamente con el volumen que se necesita.

Como es una forma cilíndrica, se sabe que el volumen del cilindro es,

$$V = \sqrt{\eta * r^2 * h} \rightarrow V = \sqrt{3'14 * 18^2 * 3,75} \rightarrow V = 3938 m^3$$

Se tienen entonces cuatro decantadores de:



LINEA DE FANGOS

DATOS INICIALES

Los fangos que hay que tratar provienen del tratamiento primario y del tratamiento secundario.

En la siguiente tabla se resumen los datos que se necesitan.

	Sólidos totales	%	Caudal
Del primario	A	2	E
Del secundario	B	0.6	F
	A+B		1800

A.- Para obtener los sólidos totales del tratamiento primario, se sabe que se han eliminado 240 ppm de las 360 ppm que entraron, y que el caudal es de $50\,000 \frac{m^3}{d}$.

De esta manera se obtiene la masa,

Masa = Concentración * Caudal = $0,24 \frac{Kg}{m^3} * 50\,000 \frac{m^3}{d} = 12\,000 \frac{Kg}{d}$ de fangos salen del tratamiento primario a una concentración del 2%.

B.- Para obtener los sólidos totales que salen del tratamiento secundario, una vez que el sistema esta en equilibrio, es igual que la cantidad de fangos generados, que se determinan según la formula empírica de Huisken que sigue,

$$AS \frac{KgFango}{d} = 1,2 * (CM)^{0.23} * Kg. DBO eliminados$$

$$AS \frac{KgFango}{d} = 1,2 * 0.15^{0.23} * 10000 * 0.925 Kg. DBO eliminados$$

$$AS \frac{KgFango}{d} = 7175 \frac{KgFango}{d} \text{ que se redondea a } 7200 \frac{KgFango}{d} \text{ que están a una concentración del } 0,6 \%$$

$$\text{Sumando ambos, se tienen } 12\ 000 + 7\ 200 = 19\ 200 \frac{KgFango}{d}$$

Estos fangos se producen cada día y se deben purgar.

$$\text{Se obtienen los caudales de fangos sabiendo que } \text{Caudal} \left(\frac{m^3}{d} \right) = \frac{\frac{Kg}{d} * 100\%}{\%}$$

$$\text{E.- Caudal de fangos primarios, } \frac{12 \frac{m^3}{d} * 100\%}{2\%} = 600 \frac{m^3}{d}$$

$$\text{F.- Caudal de fangos secundarios, } \frac{7.2 \frac{m^3}{d} * 100\%}{0.6\%} = 1200 \frac{m^3}{d}$$

El caudal de recirculación se calcula,

Caudal * Concentración + Caudal de recirculación * concentración = Caudal de recirculación * concentración de recirculación.

$$50000 \frac{m^3}{d} * 4.75 \frac{Kg}{m^3} + Q_r * 4.75 \frac{Kg}{m^3} = 190000 \frac{m^3}{d}$$

IV.-ESPEAMIENTO

En los tratamientos anteriores se generan una cantidad de residuos en los que se concentra la contaminación eliminada (fangos). Al retirarlos, tienen una gran cantidad de agua (aproximadamente un 99%) por lo que ocupan volúmenes importantes y facilitan la descomposición de los mismos. La finalidad del espesamiento o espesado es reducir el volumen de los fangos mediante la eliminación parcial de esta agua.

Los tipos de espesamiento más utilizados son:

Espesamiento por gravedad: En este proceso los fangos son conducidos a un espesador, generalmente circular, por medio de tuberías. Su diseño es parecido al de un decantador y tiene un mecanismo giratorio con unas rasquetas de fondo para el barrido de los fangos y su conducción a una poceta situado en el centro desde donde se extraen.

En el espesador los fangos permanecen unas horas y en este tiempo se van depositando en el fondo, quedando por una parte agua y por otra los fangos que son extraídos. El agua que sale de este proceso se vuelve de nuevo al principio de la depuradora para que vuelva a ser depurada.

Este tipo de espesamiento se usa en fangos primarios y mixtos (primarios y secundarios) debido a su capacidad para sedimentar.

Espesamiento por flotación: Este proceso se basa en que se introduce aire a presión en un líquido con cierto contenido de sólidos y posteriormente se despresuriza. Parte de las burbujas se fijan a esos sólidos y los hacen flotar. Los fangos más pesados y que no se fijan a las burbujas tienden a sedimentar.

Más tarde un rascador superficial se encarga de retirar los fangos que quedan flotando en el líquido. Los fangos sedimentados son recogidos por un rascador de fondo y conducidos hacia el centro del tanque, donde son retirados.

Espesamiento mediante métodos mecánicos: Existen otros métodos mecánicos como centrifugas espesadoras, espesadores rotativos, etc. que se basan en los mismos métodos que la deshidratación mediante centrifugas.

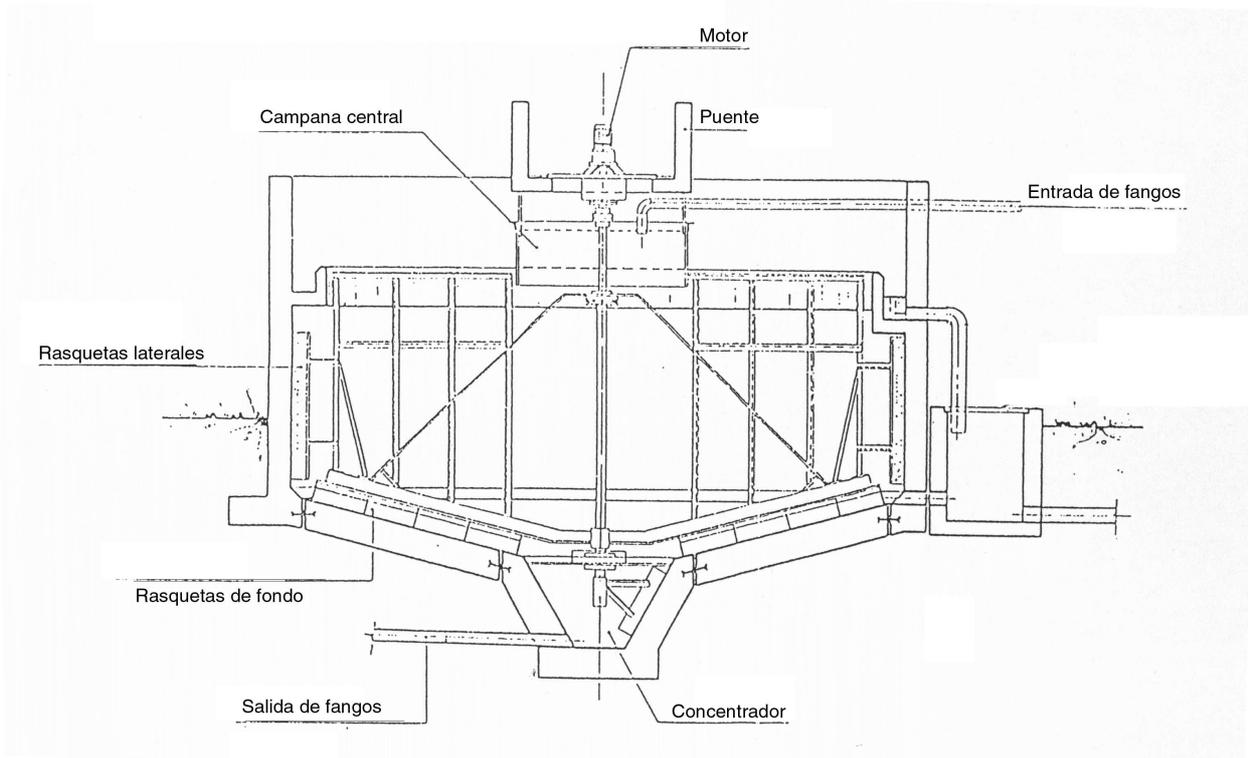


Fig.25: Espesador

La cantidad de fangos que van a entrar en el espesador es de $19200 \frac{Kg}{d^3}$, con una carga de solidos de $30 \frac{Kg}{m^2 d}$

Se necesita un espesador con una superficie, $S = \frac{Masadesolidos(\frac{Kg}{d})}{Cargadesolidos \frac{Kg}{m^2 d}}$, $S = 640 m^2$.

Debido a que la superficie es demasiado grande, se colocarán 2 espesadores de $320 m^2$ que son circulares.

$$\text{Radio} = \sqrt{\frac{\text{superficie}}{\pi}} = \sqrt{\frac{320}{3,14}} = 10 \text{ m.}$$

Se colocarán dos espesadores de 20 m de diámetro.

El caudal de fango que hay que tratar es de $1800 m^3$ por día y el tiempo de retención será de 30 horas.

Se obtiene el volumen del reactor, $V = \text{Caudal} \frac{m^3}{d} * n^{\circ} \text{ de días} = 1800 m^3 * 1.25 \text{ días} = 2250 m^3$.

Como hay 2 espesadores, habrá 2 espesadores de $1125 m^3$

Teniendo superficie y volumen se tiene la altura, $H = \frac{\text{Volumen}(m^3)}{\text{Superficie}(m^2)} = 3.5 \text{ m de altura}$.

Se tendrán dos espesadores de 20 m de diámetro con $1125 m^3$, una superficie de $320 m^2$ y una altura de 3,5 m.

V.-ESTABILIZACIÓN

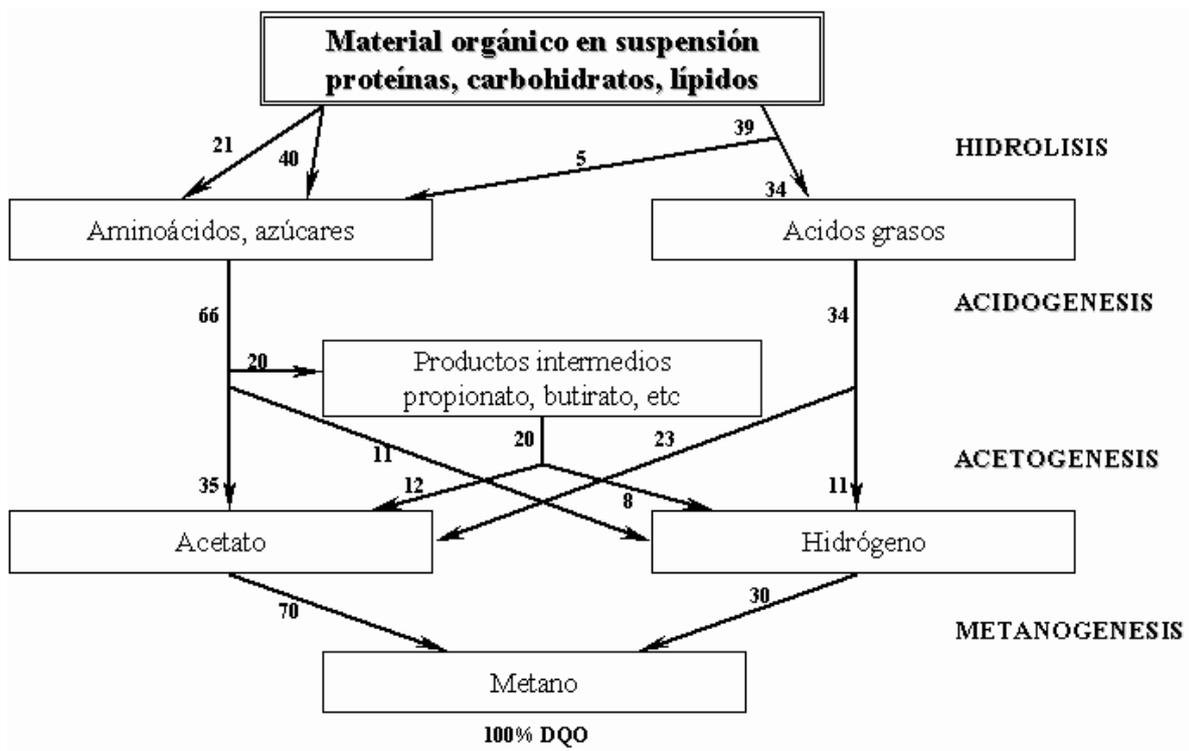


Fig.26: Reacciones del digestor anaerobio

Los fangos, después de pasar por el espesador, son llevados a unos depósitos, llamados digestores anaerobios, donde se procede a su estabilización. Esta estabilización se consigue mediante un procedimiento biológico que permite una degradación importante de la materia orgánica por medio de una fermentación llevada a cabo por unos microorganismos en un recinto cerrado y en ausencia

de oxígeno. De esta fermentación se obtienen ciertos gases, sobre todo: metano y dióxido de carbono.

Este es un proceso lento y que requiere ciertas condiciones de temperatura, un pH adecuado, tiempo de duración... con el fin de que las bacterias proliferen y puedan metabolizar la materia orgánica correctamente.

Los lodos que llegan al digestor contienen abundantes alimentos y microorganismos, que durante el proceso de digestión se convierten en elementos más simples y estables. Como el proceso se desarrolla en ausencia de aire, el oxígeno contenido en la materia orgánica, junto con el presente en nitratos, sulfatos... es utilizado por los organismos anaerobios, produciendo elementos que se emplean en el propio proceso de digestión, como son: metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y agua.

Para que esto se lleve a cabo se requiere al menos dos grupos distintos de organismos, que descompongan la materia orgánica y que produzcan metano, quedando así los lodos estabilizados.

Como se ha dicho antes, el fango debe estar dentro del digestor a una temperatura adecuada (de unos 35 °C) para que los microorganismos degraden la materia orgánica a una velocidad adecuada. Esto se consigue mediante un intercambiador de calor principal que suba la temperatura del fango en la alimentación y uno secundario que compense las pérdidas de calor por la superficie. Estos intercambiadores obtienen la energía necesaria para calentar el fango del mismo biogás que se extrae del proceso de digestión, llevándolo a unas calderas que calientan agua y esta a su vez, calentará los fangos. El biogás se almacena en un tanque llamado gasómetro y si sobra se quema mediante una antorcha.

Debido a que estos fangos están espesados por gravedad, su concentración es de un 6% por lo que el caudal de fango que entra será,

$$\frac{\text{Masa}(\frac{\text{Kg}}{\text{d}}) * 100\%}{6\%} = 320\ 000 \frac{\text{Kg}}{\text{d}^3} = 320 \frac{\text{m}^3}{\text{d}^3} \text{ en total.}$$

El tiempo de retención en cada uno de los digestores es de 10 días.

En cada digestor el caudal será de,

$$\text{Caudal } \frac{m^3}{d} * \text{n}^\circ \text{ de días} = 320 \frac{m^3}{d} * 10 \text{ días} = 3200 \frac{m^3}{d}$$

Se colocan tres digestores cilíndricos sobredimensionados para evitar problemas de seguridad, que tendrán un volumen de 3500 m^3

Tendrán, cada uno, un diámetro de 19 m y una altura de 13 m

Con este tratamiento se consiguen eliminar de los $19200 \frac{Kg}{d^3}$

De los solidos totales que entran, el 75% es materia orgánica = $14\ 400 \frac{Kg}{d^3}$,

de este valor, el 50% se ha eliminado = $7200 \frac{Kg}{d^3}$,

por lo que quedan $19\ 200 \frac{Kg}{d^3} - 7200 \frac{Kg}{d^3} = 12\ 000 \frac{Kg}{d^3}$ o $12 \frac{m^3}{d^3}$

Se producen durante 7 días de la semana, de los cuales 5 son laborables que serán los que trabaje la centrífuga y durante un periodo de 8 horas, por lo que el caudal de fango que pasa a la

centrifugadora será de $\frac{12000 \frac{Kg}{d} * 7 \text{ dias a la semana}}{5 \text{ dias laborables} * 8 \text{ horas}} = 2100 \frac{Kg}{h^3}$ o $2,1 \frac{m^3}{h^3}$ que al estar al 6%,

realmente el caudal será de $\frac{2,1 \frac{m^3}{h} * 100\%}{6\%} = 35 \frac{m^3}{h}$

Se instalarán dos centrifugas de $20 \frac{m^3}{h}$

VI.-DESHIDRATACIÓN

De los tratamientos anteriores de fangos, la reducción de agua en ellos es mínima y esto hace que tengan un gran volumen, por lo que es necesario eliminarla. La deshidratación se encarga de eliminar, en buena parte, el agua de los fangos.

Existen varios tipos de máquinas para deshidratar los fangos, como los filtros de banda o las centrífugas que actualmente el más usado.

Filtros banda: De una manera muy resumida, los filtros de banda son dos rodillos por los que pasa el fango, los rodillos se encargan de escurrirlo y separa, por un lado el fango deshidratado y por otro el agua. Esta agua sobrante es llevada de nuevo al principio de la planta para que vuelva a depurarse.

Este tipo de tratamiento está en desuso debido a su coste de mantenimiento y su bajo rendimiento en comparación con los resultados obtenidos con los deshidratadores centrífugos.

Centrífugas: Consisten, esencialmente, en un tambor cilindro-cónico de eje horizontal girando a gran velocidad. El fango a deshidratar se introduce en la cuba a través de la conexión de entrada por medio de un tubo de alimentación; una vez en el interior del tambor y debido a la fuerza centrífuga producida por el giro de éste, la parte más pesada de la mezcla se deposita en las paredes, de donde es arrastrada a la salida de sólidos por un tornillo helicoidal que gira a diferente velocidad que el tambor.

El agua, al tener un peso específico distinto que el de los sólidos, ocupa dentro del tambor distintas zonas, formando un anillo interior al formado por los sólidos

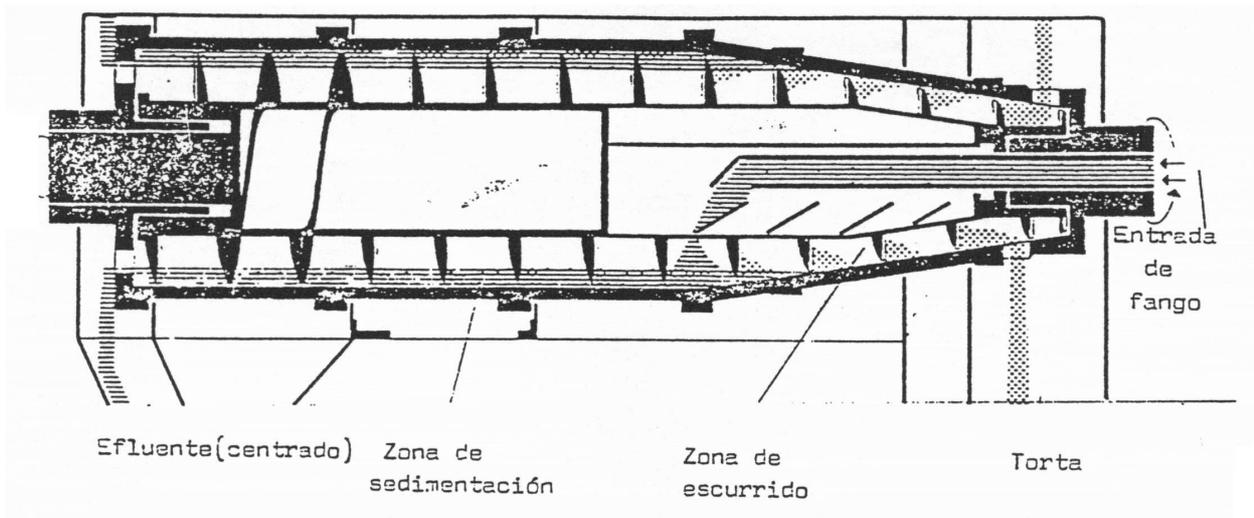


Fig.27: Centrifuga

Después de este proceso, los fangos salientes contienen un porcentaje de agua del 75%.

Como ya se ha dicho, la depuración de agua genera unos fangos que han de ser tratados. Estos fangos tratados pueden tener varios destinos:

- Vertederos
- Incineradoras
- Plantas de compostaje

A diferencia de los vertederos y las incineradoras, que se limitan a eliminar los residuos, las plantas de compostaje tratan estos fangos con el fin de hacerlos útiles, convirtiéndolos en energía o abonos.

Compostaje

El compostaje es un proceso por el cual la materia orgánica experimenta una degradación biológica hasta dar lugar a un producto final estable que se puede usar en forma de abonos. El fango, después del compostaje, es un material que no comporta problemas para la salud y sin malos olores. Actualmente, el compostaje, va en aumento y cada vez se le dan más usos.

La mayoría de procesos de compostaje constan de tres partes:

Preparación de los residuos a tratar: En esta etapa el fango se clasifica, separa y se reduce su volumen.

Descomposición de los residuos preparados: Para llevar a cabo la descomposición, los residuos preparados se acumulan formando unos montones dispuestos en un campo abierto. Estos montones son removidos una o dos veces por semana durante un periodo de aproximadamente 5 semanas. Dos o tres semanas después los residuos están estabilizados.

Preparación y comercialización del producto: El último tratamiento que reciben los residuos antes de su venta es una trituración fina, mezclado con diversos aditivos y un granulado final.

El fango puede ser convertido en compost solo tal como se ha tratado previamente, o bien en combinación con virutas de madera u otros residuos sólidos (compostaje combinado).

Compostaje combinado con virutas de madera: El compostaje combinado del fango con virutas de madera requiere, normalmente, la deshidratación previa del fango, antes de mezclarse con el material de relleno, que son las virutas de madera. El proceso de compostaje combinado con virutas de madera más usado parece ser el proceso de pilas aireadas. En él, el fango se mezcla con virutas de madera, el material mezclado se amontona en una pila y se cubre para que quede aislado y no desprenda olores. El siguiente paso es el curado de la mezcla, que dura unos treinta días, y el compost ya está preparado.

Compostaje combinado con residuos sólidos: Los fangos de alimentación pueden tener un contenido de sólidos variable entre el 5% y el 12%. Los residuos sólidos deben sufrir una clarificación y trituración en un molino de martillos antes de su mezcla con el fango. Después, la mezcla, se apila y se compacta.

LÍNEA DE GAS

La línea de gas se encarga de aprovechar los gases obtenidos en la digestión anaerobia de los fangos para equipos instalados en la misma planta o incluso (si se dispone de motores) generar electricidad.

Debido al poder calorífico del gas de digestión que oscila alrededor las 5.500 Kcal. / m³, es interesante emplearlo para diversos fines. El gas se recoge del digestor y por medio de unas tuberías se lleva hasta un gasómetro donde es almacenado. Más tarde es utilizado para alimentar las calderas de agua caliente que, mediante intercambiadores de calor agua-fango, comunicarán a éste la temperatura óptima para mantener el proceso de digestión.

En plantas depuradoras de gran tamaño, el gas producido en la digestión excede las necesidades para el calentamiento del fango, por lo que es posible emplearlo para otras finalidades. Una de estas posibilidades, la más usual hoy en día, es utilizarlo como combustible de alimentación a motores que hacen funcionar un generador de energía eléctrica para el aprovechamiento de la misma en la planta

El gas biológico contiene, fundamentalmente, metano, anhídrido carbónico y otros productos en baja proporción. Está generalmente saturado en agua. Su naturaleza varía en función de la calidad del efluente y del control de la fermentación. La composición media en volumen del gas biológico aproximadamente es:

Metano.....	65%
CO ₂	32%
N ₂	1-2%
H ₂ S.....	0,03%
Otros.....	0,07%

El metano tiene un poder calorífico de 8.560 Kcal. /m³ y es el que consigue que el poder calorífico del gas suba a valores de 5.500 Kcal. /m³ cuando se encuentra en una proporción de 65%.

El gas que realmente interesa es el metano que es el que hace aumentar el poder calorífico del biogás, los restantes gases son trazas indeseables que empeoran su calidad.

En el caso de emplearse gas para obtener energía eléctrica mediante motores, el gas carbónico y el vapor de agua por el volumen que ellos ocupan en el cilindro perjudican el funcionamiento del motor, reduciendo la potencia en los motores de aspiración natural. En los motores sobrealimentados, el gas carbónico actúa como retardador de la detonación, efecto favorable, y como relentizador de la combustión efecto desfavorable.

El anhídrido sulfhídrico, H₂S provoca corrosión sobre los sistemas de alimentación y las partes calientes de la máquina. Por este motivo, se debe limitar su contenido en el gas a un porcentaje lo más bajo posible. Para reducir el contenido de este gas se utilizan filtros de limonita o también se procede a realizar un lavado del gas con agua a contracorriente.

En este caso se han eliminado $7\,200 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}$ de fangos que generan $900 \frac{\text{L de gas}}{\text{Kg de M : O : eliminada}} = 7$

$200 * 900 = 6\,480\,000$ Litros de gas al día.

Como el poder calorífico es de $5500 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3}$, la energía disponible será de $6800 \text{ m}^3 * 5500 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3} =$

37 400 000 Kcal.

BIBLIOGRAFÍA

WEBS

<http://www.lenntech.es/>

http://europa.eu/legislation_summaries/environment/water_protection_management/128008_es.htm

LIBROS

Juan Antonio Sainz Sastre. Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operacines unitarias en depuración de aguas residuales. Madrid. Fundación EOI. 2007.