

# Estación Regeneradora de Aguas Residuales Urbanas con recuperación energética



**Tutor del proyecto:**

**Juan Antonio Sáinz Sastre**

## Índice

<b>1. Introducción</b>	
<b>2. Datos de partida</b>	
Cálculo de caudales.....	5
Contaminantes.....	6
<b>3. Normativa aplicable</b>	
Normativa aplicable a la regeneración del agua:.....	8
Normativa aplicable a lodos de depuradora:.....	10
<b>4. Línea de aguas</b>	
Pozo de gruesos.....	11
Equipo de bombeo: tornillos de Arquímedes.....	16
Rejas.....	19
Tamices.....	22
Desarenador- aireador con separación de grasas y aceites.....	25
Decantador primario.....	30
Reactor biológico.....	34
Decantador secundario.....	39
<b>5. Línea de fangos</b>	
Espesado.....	44
Estabilización.....	52
Deshidratación.....	57
<b>6. Línea de gas</b>	
<b>7. Regeneración</b>	
Tanque de mezcla.....	67
Tanque de floculación.....	68
Decantación.....	70
Filtrado.....	70
Desinfección.....	73

# 1. Introducción

---

Una población de 200.000 habitantes consume aproximadamente unos 300 litros por habitante equivalente al día. El sistema de depuración de aguas con el que cuenta la población en la actualidad no es suficiente. El agua que se depura no llega a alcanzar las condiciones exigidas por la legislación. La población contamina el agua con materia orgánica, NTK, sólidos en suspensión y fosfatos. Si se vierte a un cauce agua con estos contaminantes podrían ocasionar daños sobre el medioambiente y la salud de los habitantes de la zona. El propósito de este proyecto es el diseño de una estación depuradora de aguas residuales para tratar los grandes caudales generados por esta población, que asegure la protección del medio.

La instalación cuenta con dos procesos especialmente importantes, la regeneración del agua y la generación de energía a través de los lodos. Incorporar estos procesos con llevara beneficios para la población, en la medida en que el agua y la energía son recursos básicos para el desarrollo de las sociedades. El agua es un recursos cada vez más escaso, sobre todo en climas secos, sin embargo el consumo de agua aumenta con el desarrollo y nivel de vida de la población, se disponga o no de abundantes recursos hídricos. Por este motivo, se hace necesaria una buena planificación, asegurando un máximo aprovechamiento del agua consumida. Por otro lado la energía de la que se dispone es principalmente proveniente de fuentes no renovables, por lo tanto no se puede asegurar que las generaciones futuras dispongan de estas fuentes de energía. La inversión en fuentes de energía renovables, como es el caso de la instalación de un sistema de generación de energía en la planta, asegura la sostenibilidad de la instalación.

Siguiendo las directrices fijadas por las nuevas tendencias tanto sociales como legislativas, se pone interés en que las estaciones depuradoras de aguas residuales incorporen un tratamiento terciario o regeneración. El agua que se trata en la planta pasa una serie de procesos para conseguir que el agua cumpla los parámetros de calidad fijadas por la legislación (RD 1620/2007) para su posterior reutilización. Se realiza la reutilización con el principal objetivo de aumentar la disponibilidad de recursos hídricos. Además esto repercute positivamente sobre el medio natural, económico y social, ya que contribuye al uso sostenible del recurso. En el caso de no utilizarse el agua, y verterla directamente a cauce, el impacto que causara es mínimo ya que las condiciones de calidad que se consiguen en la planta son altamente superiores a las alcanzadas en un proceso de depuración convencional.

La depuración del agua conlleva la generación de residuos no peligrosos, como las arenas generadas en los desarenadores, y peligroso, como los lodos. Tradicionalmente los lodos de depuradora eran tratados para reducir su peligrosidad, ya que están compuestos principalmente por materia orgánica, y por lo tanto son muy inestables. En esta instalación los fangos además de estabilizarlos, se utilizan de modo que, gracias a la acción natural de los microorganismos, se produzca un biogás que pueda ser utilizado para la generación de energía calorífica. La energía producida podrá ser utilizada posteriormente para el abastecimiento energético de la planta e incluso, en el caso de producir mas energía de la que la planta necesita, se podrá exportar a la red en forma de electricidad. Estos sistemas de recuperación de energía suponen una gran inversión, por lo que solo puede hacerse en plantas de gran tamaño, donde la producción masiva de fangos asegure la generación de biogás en grandes cantidades. El ahorro energético que esto conlleva, hará que la inversión realizada salga rentable.

## 2. Datos de partida

### Cálculo de caudales

#### Datos de partida

Población: 200.000 habitantes equivalentes

Dotación: 300 l/hab.eq.\*d

#### Caudal diario:

$$Q = \frac{D \times P}{1000 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right)}$$

$$Q = \frac{300 \times 200.000}{1.000} = 60.000 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right)$$

Donde:

Q= caudal diario, m<sup>3</sup>/d

P= población, hab.eq.

D= dotación, l/hab.eq.xd

#### Caudal medio:

$$Q_{\text{medio}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \frac{Q_{\text{diario}}}{24 \left( \frac{\text{h}}{\text{día}} \right)}$$

$$Q_{\text{medio}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \frac{60.000}{24} = 2.500 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donde:

Q<sub>medio</sub> = caudal medio, m<sup>3</sup>/h

Q<sub>diario</sub> = caudal diario, m<sup>3</sup>/d

#### Caudal máximo:

$$Q_{\text{max}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = Q_{\text{med}} * 1,15 + \frac{2,875}{Q_{\text{med}}^{0,48}}$$

$$Q_{\text{max}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 2.500 * (1,15 + \frac{2,875}{2.500^{0,48}}) = 3.785 \text{ m}^3/\text{h}$$

Donde:

$Q_{\max}$  = caudal máximo, m<sup>3</sup>/h

$Q_{\text{med}}$  = caudal medio, m<sup>3</sup>/h

En las aguas residuales urbanas la relación entre caudal máximo ( $Q_{\max}$ ) y caudal medio ( $Q_{\text{med}}$ ) varía entre:

$$\frac{Q_{\max}}{Q_{\text{med}}} = 1,5 - 2,5$$

En este caso la relación es igual a:

$$\frac{3.785}{2.500} = 1,5$$

por lo que está dentro de rango.

*Tabla resumen:*

Caudal diario ( $Q_{\text{diario}}$ )	60.000 m <sup>3</sup> /d
Caudal medio ( $Q_{\text{medio}}$ )	2.500 m <sup>3</sup> /h
Caudal máximo ( $Q_{\text{máximo}}$ )	3.785 m <sup>3</sup> /h

## Contaminantes

*Datos de partida:*

Vertido a aguas continentales a zona sensible por lo que se tendrán en cuenta NTK y P.

Valores en el vertido: los exigidos a este tipo de instalaciones, sin ningún requerimiento especial.

$$\text{DBO} = 75 \text{ gr. / hab.Eq.} \cdot \text{d} \times 200.000 \text{ hab.Eq.} \cdot \text{d} = 15.000 \text{ Kg/día}$$

$$\text{SS} = 90 \text{ gr. / hab.Eq.} \cdot \text{x} \times 200.000 = 18.000 \text{ Kg/día}$$

$$\text{NTK} = 15 \text{ gr. / hab.Eq.} \cdot \text{x} \times 200.000 = 3.000 \text{ Kg/día}$$

$$\text{P} = 4,5 \text{ gr. / hab.Eq.} \cdot \text{x} \times 200.000 = 900 \text{ Kg/día}$$

**Carga contaminante**

PARAMETROS DE DISEÑO	ENTRADA (gr/d*hab-eq)	Carga contaminante en la entrada (kg/día)	ENTRADA (ppm)	Carga contaminante a la salida (kg /día)	SALIDA (ppm)
DBO	75	15.000	250	58	25
SS	90	18.000	300	81	35
NTK	15	3.000	50	5	10
P	4.5	900	15	2	1

*Rendimientos:*

**RENDIMIENTO**

ENTRADA (ppm)	SALIDA (fijado por legislación)	Rendimiento (%)
DBO = 250	DBO = 25	90
SS = 300	SS = 35	88
NTK = 50	NTK = 10	80
P= 15	P = 1	93

## 3. Legislación aplicable:

---

### **Normativa aplicable a la regeneración del agua:**

La legislación que aplica a este proyecto consiste en una serie de directivas europeas, que son posteriormente traspuestas al derecho estatal.

#### *Derecho europeo:*

- Directiva 75/440, de 16 Junio de 1975 relativa a la calidad requerida para las aguas superficiales.
- Directiva 76/160, de 8 de Diciembre de 1975, relativa a la calidad de las aguas de baño.
- Directiva 78/659, de 18 de Julio de 1978, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces.
- Directiva 91/271/CEE, de 21 de Mayo de 1991, sobre tratamiento de aguas residuales urbanas, cuyo objeto es “la recogida, el tratamiento y el vertido de aguas residuales urbanas y el tratamiento y vertido de las aguas procedentes de determinados sectores industriales”. Todo ello con el objetivo de “proteger al medio ambiente de los efectos negativos de los vertidos de las mencionadas aguas residuales”.

Esta directiva establece un compromiso para los estados miembros de recoger las aguas residuales de aglomeraciones urbanas, de instalar sistemas de tratamiento adecuado para las mismas y define criterios para la determinación de zonas de vertido sensibles (lagos, arroyos, estuarios, bahías, zonas de eutrofización) y zonas menos sensibles. Así mismo, se fijan plazos para el cumplimiento de tales medidas en defensa del medio ambiente, que oscilan entre el 31 de Diciembre del año 2000 para aglomeraciones de más de 15.000 habitantes y el 31 de Diciembre del año 2005 para núcleos de 2000 a 15.000 habitantes.



- Directiva 2000/60/CE, del 23 de octubre, del Parlamento Europeo y del Consejo por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de las políticas del agua (Directiva Marco del Agua).

### *Derecho estatal*

Para la aplicación de las directivas se desarrollan planes, de los que surgen leyes decretos, reales decretos etc. Los planes que afectan al proyecto son los siguientes:

Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (1995-2005) aprobado en 1995 de 17 de Febrero.

- Real Decreto 49/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público que se desarrolla los Títulos Preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de aguas.
- Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo con los Títulos I y III de Ley 29/1985, de 2 de agosto, de aguas.
- RD Ley 11/1995 de 28 de Diciembre por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas (transposición de la Directiva 91/271/CEE).
- Real Decreto 509/1996, de 15 de Marzo, de desarrollo del Real Decreto-Ley 11/1995, de 28 de Diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Real Decreto 2116/1998, de 2 Octubre, por el que se modifica el RD-Ley 11/1995, de 28 de Diciembre por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Real Decreto Legislativo 1/2001 de 20 de Julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional.

- RD 606/2003, de 23 de mayo, por el que se modifica el RD 849/1986, de 11 de Abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los Títulos preliminar I,IV,V,VI y VIII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas.
- Ley 11/2005, de 22 de junio, por la que se modifica la Ley 10/2001, de 5 de julio, del Plan Hidrológico Nacional, contiene una modificación del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, en la que se ha dado nueva redacción del artículo 109.1 el Gobierno establecerá las condiciones básicas para la reutilización de las aguas, precisando la calidad exigible a las aguas depuradas según los usos previstos.
- 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 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

#### **Normativa aplicable a lodos de depuradora:**

Lodos de las depuradoras de aguas residuales-EDAR (LD), se clasifican con el código CER 190805 dentro del Catálogo Europeo de Residuos.

Para los lodos son de aplicación todas las normas en vigor relativas a los residuos, y en particular la Ley 10/1998, de 21 de Abril, de Residuos, que transpone al Derecho interno español la Directiva 91/156/CEE , de 18 de Marzo de 1991, y la Decisión 94/3/CEE, que establece el Catálogo Europeo de Residuos, incorporado a nuestro ordenamiento por Resolución del Ministerio de Medio Ambiente de 17 de noviembre de 1998.

A las instalaciones para la gestión de los lodos les es asimismo de aplicación la Directiva 96/61 (IPPC), que entre otras cosas contempla la utilización de las mejores técnicas disponibles (MTD) en las actividades de gestión de lodos. Esta directiva se traspuso a la formativa española en junio del 2002 mediante la Ley 16/2002, de 1 de Julio.

También hay que mencionar la ya citada Directiva del Consejo 91/271/CEE, de 21 de Mayo de 1991, sobre tratamiento de aguas residuales urbanas, en la que de una manera general se

establece que las vías de evacuación de los lodos se preverán minimizando los efectos nocivos sobre el medio ambiente, y que dichas vías deberán estar sometidas a normas, registros y/o autorizaciones; en todo caso, los Estados miembros deberían haber suprimido la evacuación de los lodos a las aguas de superficie antes de 1999.

## 4. Línea de aguas:

---

### Pozo de gruesos

#### *Descripción:*

El pozo de gruesos tiene la misión de evitar que los sólidos de mayor tamaño y densidad pasen a la depuradora y puedan causar problemas de funcionamiento o dañar los equipos.

Consiste en un pozo situado a la entrada de la depuradora, cuyo fondo tiene forma de tronco pirámide invertida y sus paredes tienen una pendiente de 60°, con el fin de concentrar los sólidos para que puedan ser extraídos de forma eficaz.

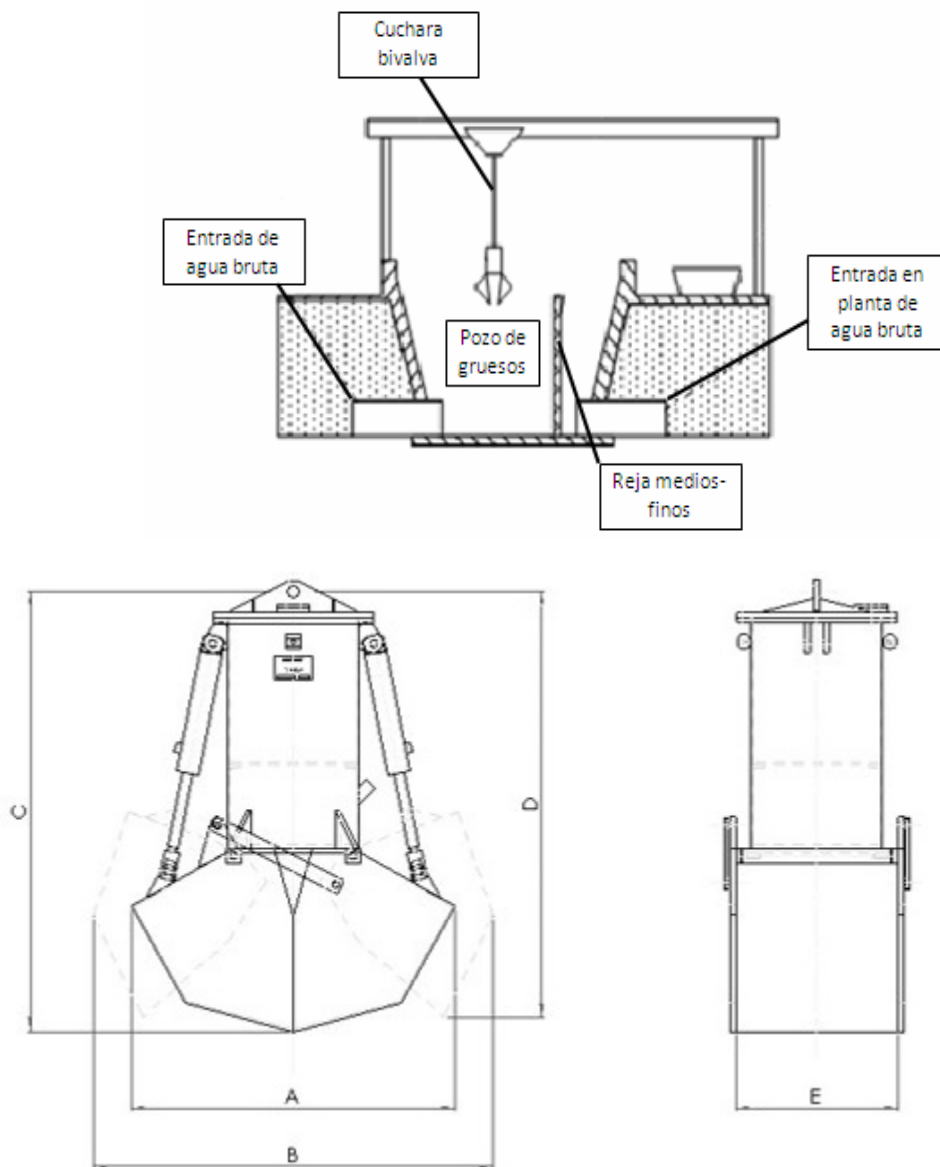
La extracción de los residuos se realiza con cuchara bivalva de 300l de capacidad, montada sobre un pórtico grúa.

Con el fin de no dañar la estructura en las tareas de limpieza, tanto las paredes como la solera del fondo tienen embebidos perfiles metálicos.

Los residuos separados se almacenan en contenedores tipo obra perforados en el fondo para que puedan escurrir los residuos. Se evacúan diariamente para evitar posibles fermentaciones y creación de malos olores.

También tiene una reja de muy gruesos instalada, que consiste en una serie de vigas de acero colocadas en vertical en la boca de entrada a la planta, que impiden la entrada de materiales demasiado grandes. Esta reja es de limpieza manual y la separación entre barrotes depende del tipo de bombas a utilizar.

La limpieza del pozo debe hacerse una o dos veces al día en tiempo seco y siempre que se produzcan lluvias.



TIPO	CAPACIDAD (Litros)	MOTOR (Kw)	PRESIÓN (Bars)	PESO (Kg)	DIMENSIONES (mm)				
					A	B	C	D	E
CP-100	100	1.1	120	450	870	1080	1175	1136	438
CP-150	150	1.5	100	550	956	1250	1275	1162	500
CP-300	300	2.2	100	610	1220	1580	1545	1438	620
CP-500	500	3	120	630	1520	2000	2020	1833	766
CP-600	600	4	100	670	1520	2000	2080	1920	800
CP-900	900	5	100	925	1720	2250	2340	2160	900
CP-1200	1200	7.5	100	1250	1920	2500	2600	2400	1000
CP-1500	1500	7.5	100	1350	2060	2680	2800	2580	1080
CP-1800	1800	10	100	1675	2200	2750	3000	2760	1160

*Datos de partida/Bases de diseño:*

**POZO DE GRUESOS**

CH ( $m^3/(m^2 \cdot min)$ )	Tr (min)	Qmax ( $m^3/h$ )	Qmedio ( $m^3/h$ )
------------------------------	----------	------------------	--------------------

---

1,2	1,5	3.785	2.500
-----	-----	-------	-------

---

*Dimensionado de equipos:*

Calculamos un volumen suficiente para soportar el caudal máximo ( $Q_{\max}$ ) con un tiempo de residencia de minuto y medio:

$$\text{Vol (m}^3\text{)} = \frac{Q_{\max} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \times \text{Tr (min)}}{60 \left(\frac{\text{min}}{\text{h}}\right)}$$

$$\text{Vol (m}^3\text{)} = \frac{3.785 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) \times 1.5(\text{min})}{60 \left(\frac{\text{min}}{\text{h}}\right)} = 94,6 \text{m}^3$$

Donde:

Vol: volumen,  $\text{m}^3$ .

$Q_{\max}$ : caudal máximo,  $\text{m}^3/\text{h}$ .

Tr: tiempo de residencia, min.

Teniendo en cuenta la carga hidráulica se calcula la superficie horizontal:

$$\text{Sh (m}^2\text{)} = \frac{Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{60 \left(\frac{\text{min}}{\text{h}}\right) \times \text{CH} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}\right)}$$

$$\text{Sh} = \frac{3.785 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{60 \left(\frac{\text{min}}{\text{h}}\right) \times 1,2 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}\right)} = 52,5 \text{m}^2$$

Donde:

Sh: superficie horizontal,  $\text{m}^2$ .

$Q_{\max}$ : caudal máximo,  $\text{m}^3/\text{h}$ .

CH: carga hidráulica,  $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ .

La altura se halla a partir de la superficie horizontal y volumen, previamente calculados:

$$h(m) = \frac{\text{Vol (m}^3\text{)}}{\text{Sh(m}^2\text{)}}$$

$$h(m) = \frac{94,6}{52,5} = 1,8 \text{ m.}$$

Donde:

h: altura, m

Vol.: volumen, m<sup>3</sup>

Sh: superficie horizontal, m<sup>2</sup>

Con estos datos y conociendo como posteriormente se explicará la anchura del equipo de bombeo se calcula la anchura del pozo de gruesos:

- Número de equipos de bombeo: 3
- Diámetro tornillo de Arquímedes: 2.600mm
- Número de espacios de seguridad entre canales: 4
- Espacio de seguridad entre canales: 250mm

Multiplicamos el diámetro de los tornillos por el número de tornillos:

$$3 \cdot 2.600(\text{mm}) = 7.800(\text{mm})$$

Multiplicamos el espacio de seguridad por el número de espacios que hay:

$$4 \cdot 250(\text{mm}) = 1.000(\text{mm})$$

Se suman los resultados:

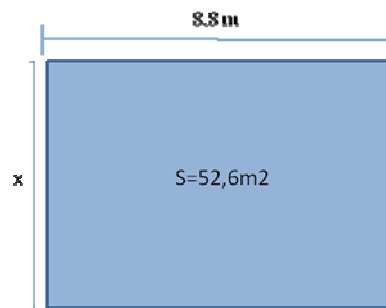
$$7.800(\text{mm}) + 1.000(\text{mm}) = 8.800(\text{mm}) = 8,8 \text{ m}$$

Anchura: 8,8 m

Ahora, con los datos de la anchura y la superficie se calcula el largo de la base del pozo de gruesos:

Superficie: 52,5m<sup>2</sup>

Anchura: 8,8 m



$$L = \frac{52,5(\text{m}^2)}{8,8(\text{m})} = 6 \text{ m}$$

Longitud: 6 m

**Tabla resumen:**

Volumen (Vol)	94,6 m <sup>3</sup>
Superficie horizontal (Sh)	52,5 m <sup>2</sup>
Anchura	6 m

Longitud (L)	8,8 m
Altura (h)	2m

### Equipo de bombeo: tornillos de Arquímedes

#### Descripción:

La llegada de agua a la EDAR se efectúa mediante colectores que se encuentran a varios metros por debajo de la cota del terreno, por lo que es necesaria su elevación.

Esta elevación se realiza hasta una altura suficiente para que al final del proceso de depuración el agua vierta por efecto de la gravedad.

Se instalarán varias unidades, más una de reserva para que se puedan adaptar a las diferencias de caudal que se producen a lo largo del día.

#### Dimensionado de equipos:

De acuerdo a los datos del fabricante se verá qué solución es mejor:

Colocar dos tornillos más uno de reserva:

Si se colocan dos tornillos más uno de reserva se dividirá el caudal máximo ( $Q_{max}$ ) entre dos:

$$\frac{Q_{max}}{2}$$

$$\frac{3.785}{2} = 1.892,5 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

Colocar tres tornillos más uno de reserva

Al igual que en el caso anterior se dividirá el caudal máximo ( $Q_{max}$ ) entre el número de tornillos que se quieren poner.

$$\frac{Q_{max}}{3}$$

$$\frac{3.785}{3} = 1.261,6 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

Observando los resultados sería más eficiente energéticamente instalar 3 equipos más uno de reserva ya que es más flexible a los cambios de caudal de la planta.

De este modo durante el periodo nocturno y las primeras horas de la mañana, cuando la planta trabaja por debajo del caudal medio, sólo estaría en funcionamiento uno de los tornillos, durante el resto del tiempo estarían trabajando dos equipos y solo durante el caudal punta se pondrían en funcionamiento los tres equipos a la vez.

A pesar de esto, se instalarán dos equipos más uno de reserva ya que estos equipos son caros y el ahorro energético no resulta tan rentable frente al elevado coste de instalación.

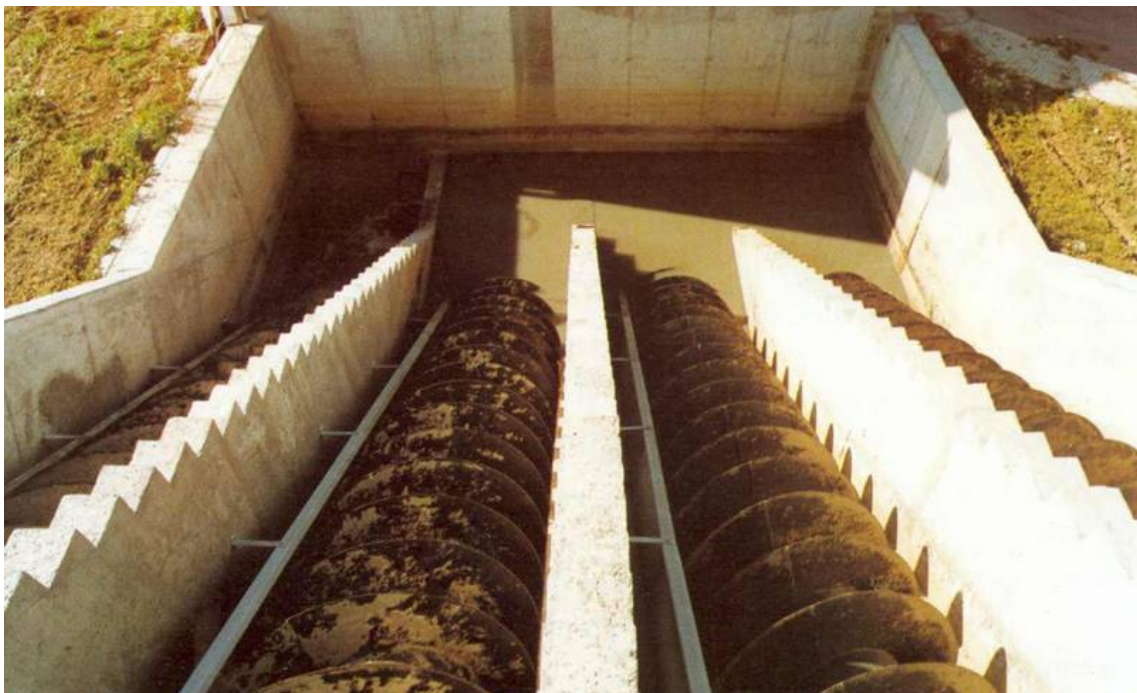


El tornillo de reserva se instala para los momentos en los que alguno de los tornillos se estropee o esté en mantenimiento.

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
1600-800	36	590	715
1700-820	35	695	845
1800-900	34	770	935
1900-920	33	880	1070
2000-1010	32	960	1170
2100-1030	31	1100	1350
2200-1100	30	1200	1450
2300-1130	29	1400	1750
2400-1200	28	1500	1800
2500-1300	27	1600	1900
2600-1330	26	1800	2150
2700-1355	26	2000	2400
2800-1400	25	2120	2500

3 equipos más  
1 de reserva.

2 equipos más  
1 de reserva.



## Rejas

### *Descripción:*

Las rejas consisten básicamente en un conjunto de barras metálicas de sección regular, paralelas y de separación uniforme entre ellas, situadas en un canal de hormigón, en posición transversal al flujo, de tal forma que el agua residual pase a través de ellas, quedando retenidos todos los sólidos presentes, con un tamaño superior a la separación entre barrotes.

Todas las barras de la reja están fijadas en un marco para rigidizar el sistema.

El objetivo del proceso de desbaste mediante rejas es la eliminación de aquellos sólidos en suspensión cuyo tamaño es superior al de la separación entre la luz de los barrotes con el fin de evitar la obstrucción de las líneas o problemas mecánicos en los equipos dinámicos.

En el diseño de las líneas de desbaste para la planta, se propone realizar tres líneas y una línea auxiliar, que se mantendrá cerrada y será utilizada cuando se encuentren en situaciones de mantenimiento, rotura o limpieza alguna de las otras líneas principales.

Destacar también que en los momentos en los que el caudal de entrada decrece, siendo normalmente por la noche, no se mantendrá el funcionamiento de las tres líneas, sino que solamente se mantendrá en funcionamiento una o dos de ellas; con el objetivo de mantener la velocidad del flujo de entrada y evitar así posibles problemas de decantaciones de arenas y sus posteriores consecuencias en el proceso.

Se instalará una reja de medios-finos de 12mm de luz fabricada en acero al carbono en un canal de sección rectangular, con una ligera inclinación y en tramo recto para conseguir una velocidad de aproximación lo más homogénea posible con el fin de evitar la creación de posibles turbulencias o colmataciones en las zonas de rodamientos.

Dadas las dimensiones de la depuradora se emplearán rejas de limpieza mecánica. En este tipo de rejas la limpieza se realiza mediante unos rastrillos que encastran entre los barrotes y se deslizan a lo largo de los mismos siendo arrastrados acoplados a una cadena sin fin. La limpieza se realiza de manera discontinua.

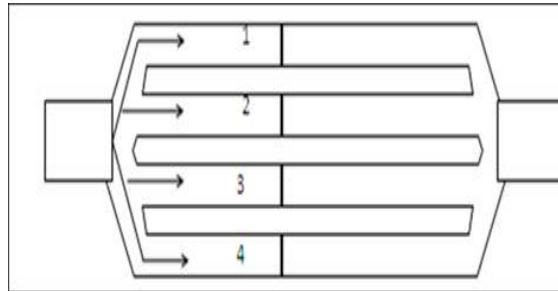
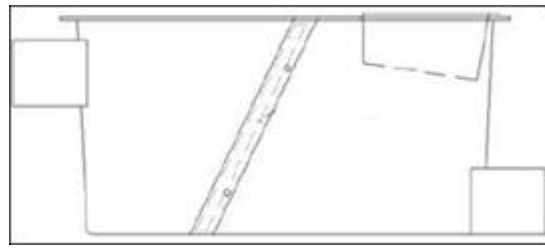
Con este tipo de rejas el ángulo del equipo con la solera del canal será de 75°.

En el caso del canal de reserva con el objetivo de abaratar costes se usará una reja de limpieza manual. Su limpieza se realiza con un rastrillo de púas que se encastran en los espacios abiertos de las rejas.

Para evitar la generación de malos olores las rejas se situarán en un recinto cerrado.

Las basuras generadas se eliminarán a través de unas cintas transportadoras colocadas a continuación de las rejas que depositarán los residuos en contenedores perforados en el fondo para que puedan escurrir el agua.





*Datos de partida/Bases de diseño:*

**REJAS**

$V_{\text{paso por la reja (m/s)}}$ A Qmed 30% colmatación.	$V_{\text{paso por la reja (m/s)}}$ A Qmax 30% colmatación.	Luz (mm)	Espesor (mm)	Coefficiente colmatación	Qmax (m <sup>3</sup> /h)	Qmedio (m <sup>3</sup> /h)
0,8	1,2	12	10	0,7	3.785	2.500

*Dimensionado:*

La superficie debe calcularse para el caudal medio y el caudal máximo, adoptándose el mayor de los valores obtenidos.

**Superficie a Qmax:**

Al disponer de tres canales se divide el Qmax entre tres:  $3.785/3 = 1.261,6 \text{ m}^3/\text{h}$

$$S = \frac{Q(\frac{\text{m}^3}{\text{h}})}{V} \times \frac{L(\text{mm}) + e(\text{mm})}{L(\text{mm})} \times \frac{1}{C} = \frac{1.261,6(\frac{\text{m}^3}{\text{h}})}{0,8} \times \frac{12(\text{mm}) + 10(\text{mm})}{12(\text{mm})} \times \frac{1}{0,7} = 0,76 \text{ m}^2$$

**Superficie a Qmed:**

Al igual que en el apartado anterior se dividirá el caudal entre tres:  $2.500/3 = 833,3 \text{ m}^3/\text{h}$

$$S = \frac{Q(\frac{\text{m}^3}{\text{h}})}{V} \times \frac{L(\text{mm}) + e(\text{mm})}{L(\text{mm})} \times \frac{1}{C} = \frac{833,3(\frac{\text{m}^3}{\text{h}})}{0,8} \times \frac{12(\text{mm}) + 10(\text{mm})}{12(\text{mm})} \times \frac{1}{0,7} = 0,75 \text{ m}^2$$

Se selecciona la de mayor superficie: **0,76 m<sup>2</sup>**

Esta superficie correspondería con una reja colocada perpendicularmente a la solera del canal, al estar colocada con cierto ángulo de inclinación hay que calcular la superficie mojada.

**Superficie mojada:**

$$S \text{ mojada (m}^2\text{)} = \frac{S(\text{m}^2)}{\text{sen}\alpha} = \frac{0,76}{\text{sen}75} = 0,78\text{m}^2$$

Siendo:

$\alpha$ : ángulo de la reja con la solera del canal

La altura de la reja se determinará en base a la superficie y a la anchura.

La anchura de la reja será igual a la anchura del tamiz:

Anchura del tamiz: 1 m

Superficie de la reja: 0,78m<sup>2</sup>

$$h = \frac{0,78 \text{ (m}^2\text{)}}{1 \text{ (m)}} = 0,78 \text{ m}$$

**Tabla resumen:**

Superficie (S)	0,76 m <sup>2</sup>
Superficie mojada (Smoj)	0,78 m <sup>2</sup>
Altura (H)	0,78m
Anchura	1m

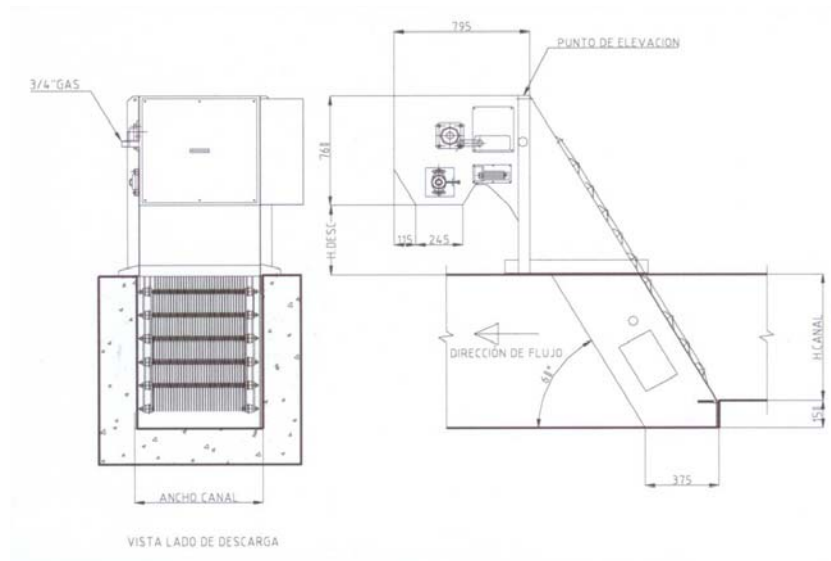
## Tamices

### Descripción:

Los tamices, al igual que las rejillas, son equipos para la eliminación de sólidos en suspensión. Hacen pasar el caudal a través de una placa perforada con ranuras de 1,0 a 3mm o por una malla de acero inoxidable, con luz entre 0,5 y 2mm.

En este caso se instalarán a continuación de las rejillas de medios-finos y en sustitución de las rejillas de finos dada su mayor capacidad de eliminación de basuras. Estos equipos pueden llegar a eliminar entre el 10-15% de los sólidos en suspensión gracias a que su luz es muy inferior a la de las rejillas.

A pesar de su mayor coste al retirar más sólidos en suspensión se ha optado por los tamices de escalera en vez de las rejillas.

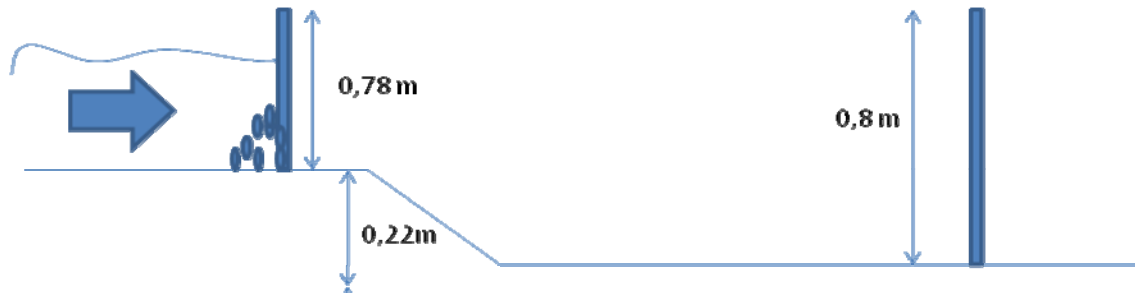


Al tener un  $Q_{max}$  de  $3.785,4 \text{ m}^3/\text{d}$  y viendo la tabla del fabricante se instalarán tres tamices de escalera y en la línea de reserva una rejilla de finos de limpieza manual para abaratar costes. De esta manera habrá tres canales con un caudal de  $1261,8 \text{ m}^3/\text{d}$  cada uno y un ancho de tamiz de 1m.



La pérdida de carga se considera 20 cm ya que es en ese momento en el que se activa la limpieza mecánica de la reja.

$$h_{\text{escalón}} = (0,8 - 0,78 \text{ (m)}) + 0,2 \text{ (m)} = 0,22 \text{ (m)}$$



*Tabla resumen:*

Altura	0,8 m
Anchura	1 m
Altura del escalón	0,22 m



## Desarenador- aireador con separación de grasas y aceites

### *Descripción:*

Se trata de un proceso en el que se produce una separación por decantación diferencial, de todos aquellos sólidos en suspensión de densidad elevada (compuestos inorgánicos, arenas) impidiendo la sedimentación de la materia en suspensión de baja densidad (compuestos orgánicos).

En esta separación de la materia inorgánica no se produce descomposición ya que son compuestos completamente estables

El desarenador elimina todos aquellos sólidos en suspensión con un peso específico superior o igual a 2,65 y un tamaño de partícula superior a 0,15-0,2 mm.

Con este proceso se evitan procesos de abrasión, deposiciones en canales y tuberías, presencia de sólidos inertes en la línea de fangos y facilita la evacuación de los sólidos inertes ya que su destino final será el vertedero de inertes.

En este caso al tratarse de una planta urbana de capacidad media alta se instalará un desarenador aireado, que por su configuración no se ve afectado por las variaciones de caudal y da una arena con un grado de lavado importante, con concentraciones mínimas de materia orgánica.

Estas unidades consisten en un canal de geometría determinada, con un colector provisto de difusores que crean un movimiento de tipo helicoidal al agua a su paso por el equipo.

La velocidad de giro del agua vendrá determinada por la cantidad de aire inyectado a través de los difusores. En este caso se diseñará el desarenador con menor velocidad de giro del agua para que se puedan separar las grasas y aceites por superficie, lo que conlleva que por el fondo se depositen con las arenas ciertas cantidades de sólidos en suspensión de carácter orgánico.

Para obtener una arena limpia, la arena extraída del desarenador se introduce en un lavador de arena donde se elimina la posible materia orgánica depositada. Las aguas de lavado se envían a cabecera de planta.

### *Datos de partida:*

#### DESARENADOR-AIREADOR CON SEPARACIÓN DE GRASAS Y ACEITES

Tr (min)	CH (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *h)	Caudal de aire (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> *h)	Tipo de difusores	Qmax (m <sup>3</sup> /h)	Qmedio (m <sup>3</sup> /h)
8-16	15-30	1,5	Burbuja media-fina	3.785	2.500

**Dimensionado:**

La superficie horizontal del equipo vendrá dada por:

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

donde:

$S_h$ : superficie horizontal,  $m^2$

Q: caudal a tratar,  $m^3/h$

CH: carga hidráulica,  $m^3/m^2 \cdot h$

Hay que determinar la superficie horizontal tanto para el caudal máximo ( $Q_{max}$ ) como para el caudal medio ( $Q_{med}$ ) y tomar la mayor de las dos superficies.

**Superficie horizontal a  $Q_{max}$  y  $CH_{max}$ :**

$$Sh(m^2) = \frac{3,795(\frac{m^3}{h})}{30(\frac{m^3}{m^2 \cdot h})} = 126 m^2$$

**Superficie horizontal a  $Q_{med}$  y  $CH_{min}$ :**

$$Sh(m^2) = \frac{2,500(\frac{m^3}{h})}{15(\frac{m^3}{m^2 \cdot h})} = 166 m^2$$

Se selecciona la mayor de las superficies obtenidas: **166  $m^2$**

Al obtenerse una superficie horizontal tan elevada se instalarán dos desarenadores con la mitad de superficie cada uno:

$$\frac{Sh(m^2)}{2}$$

$$\frac{166(m^2)}{2} = 83 m^2$$

Conocida la superficie horizontal, la anchura y la longitud se definen de acuerdo a los siguientes parámetros de diseño:

- La longitud varía entre 6 y 20 metros.
- La relación longitud/anchura está entre 2,5 y 5.

- La anchura varía entre 2 y 6 metros.

Teniendo en cuenta estos criterios las dimensiones de los dos desarenadores serán:

- Longitud (L) = 15m
- Anchura (a)=5,5m

De esta manera la relación entre longitud y anchura será:

$$\frac{L(m)}{a(m)} = \frac{15(m)}{5,5(m)} = 2,7$$

Esta dentro de rango.

El volumen preciso vendrá determinado por:

$$Vol(m^3) = \frac{Q \left( \frac{m^3}{h} \right) \times Tr (min)}{60 \left( \frac{min}{h} \right)}$$

Donde:

Vol: volumen, m<sup>3</sup>

Q: caudal a tratar, m<sup>3</sup>/h

Tr: tiempo de retención, min.

Al igual que en el cálculo de la superficie horizontal, el volumen hay que calcularlo para el caudal máximo (Q<sub>max</sub>) y el caudal medio (Q<sub>med</sub>) y coger el mayor de los dos volúmenes obtenidos para poder dar respuesta a la situación mas desfavorable.

**Volumen a Q<sub>max</sub> y Tr min:**

$$Vol(m^3) = \frac{3.785 \left( \frac{m^3}{h} \right) \times 8 (min)}{60 \left( \frac{min}{h} \right)} = 504,6m^3$$

**Volumen a Q<sub>med</sub> y Tr max:**

$$Vol(m^3) = \frac{2.500 \left( \frac{m^3}{h} \right) \times 16 (min)}{60 \left( \frac{min}{h} \right)} = 666 m^3$$

Se selecciona el mayor de los volúmenes obtenidos: **666 m<sup>3</sup>**

Al haber dos desarenadores se dividirá el volumen total entre dos para hallar qué volumen tendrá cada uno de los dos equipos:

$$\frac{\text{Vol. (m}^3\text{)}}{2}$$

$$\frac{666 \text{ (m}^3\text{)}}{2} = 333 \text{ m}^3$$

Para determinar la altura esta vendrá definida por:

$$h(\text{m}) = \frac{\text{Vol (m}^3\text{)}}{S(\text{m}^2)}$$

$$h(\text{m}) = \frac{333 \text{ m}^3}{83 \text{ m}^2} = 4 \text{ m}$$

La profundidad de estos equipos varía entre 3,0 y 4,5m por lo que se encuentran dentro de rango.

La cantidad de aire vendrá dada por:

$$Q_{\text{aire}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = \text{Vol}(\text{m}^3) * 1,5 \text{ (m}^3/\text{m}^3*\text{h)}$$

Donde:

$Q_{\text{aire}}$ : caudal de aire inyectado,  $\text{m}^3/\text{h}$

Vol.: volumen de agua,  $\text{m}^3$

$$Q_{\text{aire}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) = 666(\text{m}^3) * 1,5 \text{ (m}^3/\text{m}^3*\text{h}) = 999 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)$$

Al haber dos desarenadores se dividirá el caudal de aire total entre dos para hallar qué caudal tendrá cada uno de los dos equipos:

$$\frac{Q_{\text{aire}} \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right)}{2}$$

$$\frac{999 \text{ (m}^3\text{)}}{2} = 499,5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para calcular el número de difusores que habrá en cada uno de los desarenadores se dividirá el caudal de aire total entre el caudal medio de los difusores:

$Q_{\text{aire}}$ :  $500 \text{ m}^3/\text{h}$

$Q_{\text{difusor}}: 12\text{m}^3/\text{h}$

$$n^{\circ}\text{difusores} = \frac{500\text{ m}^3/\text{h}}{12\text{ m}^3/\text{h}} = 41 \text{ difusores}$$

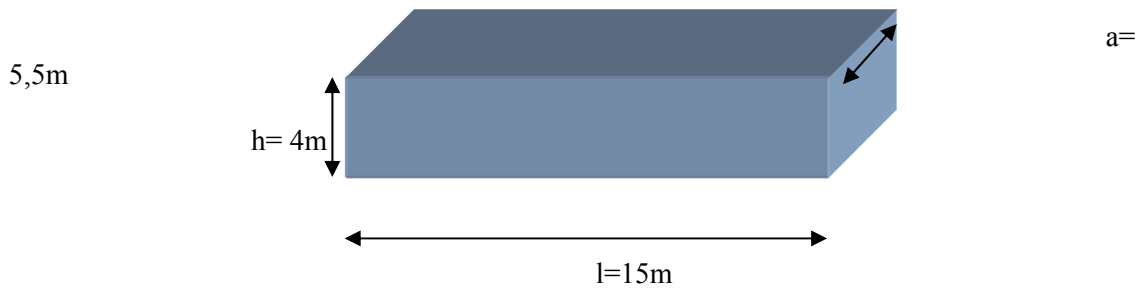
La distancia entre difusores será igual a la longitud del desarenador entre el número de difusores:

$$\frac{15\text{ (m)}}{41} = 0,4 \text{ m}$$

La distancia entre difusores será de 40cm

*Tabla resumen:*

Número de desarenadores	2
Volumen total ( $V_T$ )	666 m <sup>3</sup>
Volumen por unidad ( $V_{ud}$ )	333 m <sup>3</sup>
Superficie horizontal ( $Sh$ )	166 m <sup>2</sup>
Sh por unidad ( $Sh_{ud}$ )	83 m <sup>2</sup>
Longitud (L)	15 m
Anchura (a)	5,5 m
Altura (h)	4 m
Caudal de aire total ( $Q_{\text{aire T}}$ )	1000m <sup>3</sup> /h
Caudal de aire por unidad ( $Q_{\text{aire UD}}$ )	500m <sup>3</sup> /h
Número de difusores	41
Distancia entre difusores	40 cm



## Decantador primario

En el decantador primario tiene lugar un proceso físico conocido como decantación o sedimentación en el cual se eliminan los sólidos en suspensión por diferencia de densidad, de tal forma que las partículas con mayor densidad que el agua, son separadas por acción exclusiva de la gravedad. No se separan ni partículas muy finas, ni aquellos sólidos en suspensión que se encuentren en estado coloidal.

Por la parte superior del decantador se obtendrá el agua depurada y por el fondo se extraerán los lodos o fangos.

El proceso de decantación ayuda a proteger los procesos posteriores, sobre todo los procesos de oxidación biológica donde la presencia de inertes disminuiría el rendimiento del proceso. También ayuda a disminuir la DBO (entorno al 30-35%) asociada a los sólidos en suspensión sedimentables de carácter orgánico. Esto conlleva una reducción del tamaño de los procesos biológicos y una reducción del consumo energético.

Se instalarán dos decantadores circulares de hormigón con alimentación central y tracción periférica. La solera del fondo tendrá una pendiente de 1:12 para facilitar el desplazamiento de los fangos a la poceta central.

El decantador consta de:

**Campana:** Disipa la energía cinética con que entra el agua en el equipo y la distribución del flujo.

**Vertedero periférico:** Realizado en aluminio, con forma de dientes de sierra y protegido por una placa deflectora. Por él sale el agua clarificada.

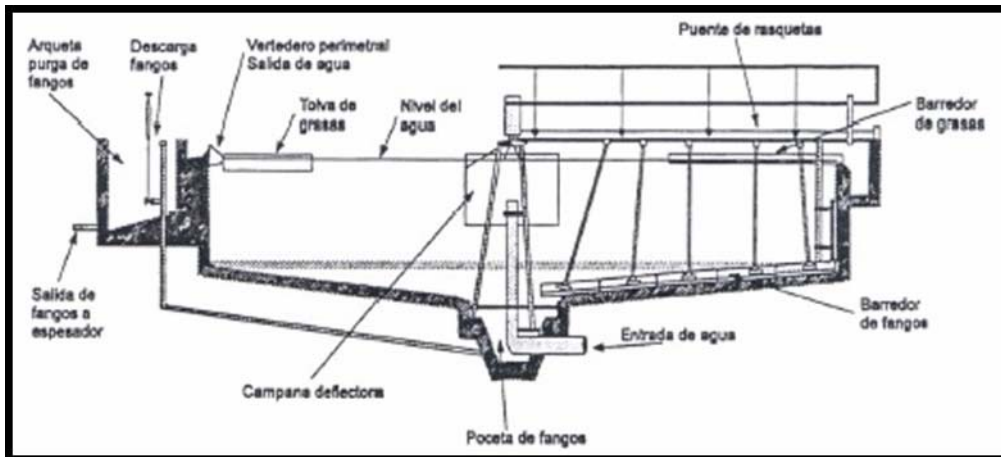
**Puente giratorio: se instala** Pivotando sobre la columna central. Se desplaza con un mecanismo de tracción sobre el muro exterior, sobre el cual se desplaza apoyado en ruedas. Está fabricado en acero de carbono y pintado con pintura epoxi bituminosas en las partes sumergidas.

**Rasquetas de barrido:** se encuentran colgando del puente radial y arrastra los fangos del fondo hasta la poceta central.

**Poceta Central de recogida de fangos**

**Barredera superficial:** Arrastra los posibles flotantes.

**Tolva de purga:** Purga las espumas y flotantes.



*Datos de partida:*

DECANTADOR PRIMARIO			
Tr (h)	CH (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *h)	Qmax (m <sup>3</sup> /h)	Qmedio (m <sup>3</sup> /h)
1,5-2,5	1,5-2,5	3.785	2.500

*Dimensionado:*

La superficie horizontal del equipo vendrá dada por:

$$S_h(m^2) = \frac{Q \left( \frac{m^3}{h} \right)}{CH \left( \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \right)}$$

Donde:

S<sub>h</sub>: superficie, m<sup>2</sup>

Q: caudal a tratar, m<sup>3</sup>/h

CH: carga hidráulica, m<sup>3</sup>/h

Hay que determinar la superficie tanto para el caudal máximo (Q<sub>max</sub>) como para el caudal medio (Q<sub>med</sub>) y tomar la mayor de las dos superficies.

**Superficie a Q max y CH max:**

$$S_h(m^2) = \frac{3785 \left( \frac{m^3}{h} \right)}{2,5 \left( \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \right)} = 1.514(m^2)$$

**Superficie a Qmed y CH min :**

$$Sh(m^2) = \frac{2.600(\frac{m^3}{h})}{1.8(\frac{m^3}{m^2})} = 1.666(m^2)$$

Se escoge el resultado mayor: **1666 m<sup>2</sup>**

A partir de la superficie se determina el diámetro, que es la forma habitual de definir los decantadores.

**Diámetro:**

$$S = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{S(m^2)}{\pi}} = \sqrt{\frac{1.666(m^2)}{\pi}} = 23m \longrightarrow D=2r=2 \times 23 = \mathbf{46m}$$

No es aconsejable utilizar tanques circulares con un diámetro tan elevado por lo que se utilizarán dos unidades. Se dividirá la superficie entre dos y se calculará de nuevo el diámetro.

$$\frac{Sh(m^2)}{2}$$

$$\frac{1.666(m^2)}{2} = \mathbf{833 m^2}$$

$$S = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{S(m^2)}{\pi}} = \sqrt{\frac{833(m^2)}{\pi}} = 16m \longrightarrow D=2r = 2 \times 16 = \mathbf{32 m}$$

Finalmente se instalarán dos decantadores primarios de 833 m<sup>2</sup>

Una vez definida la superficie se calcula el volumen de acuerdo a la siguiente ecuación:

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

Donde:

Vol: volumen, m<sup>3</sup>

Q: caudal a tratar, m<sup>3</sup>/h

Tr: tiempo de retención, h

Al igual que con el cálculo de la superficie, hay que calcular el volumen para el caudal máximo (Q<sub>max</sub>) y el caudal medio (Q<sub>med</sub>) tomándose la situación más desfavorable.



**Volumen a Qmax.y Trmín:**

$$\text{Vol}(\text{m}^3) = 3.785 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \times 1,5(\text{h}) = 5.677,5(\text{m}^3)$$

**Volumen a Qmed y Tr máx.:**

$$\text{Vol}(\text{m}^3) = 2.500 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \times 2,5(\text{h}) = 6.250(\text{m}^3)$$

Se escoge el resultado mayor: 6.250 m<sup>3</sup>

Al contar con dos decantadores primarios se dividirá el caudal por la mitad:

$$\frac{\text{Vol}(\text{m}^3)}{2}$$

$$\frac{6.250(\text{m}^3)}{2} = 3.125 \text{ m}^3$$

Una vez conocidos el volumen y la superficie de los equipos la altura vendrá definida por:

$$h(\text{m}) = \frac{\text{Vol}(\text{m}^3)}{\text{Sh}(\text{m}^2)}$$

Donde:

h: altura, m

Vol: volumen, m<sup>3</sup>

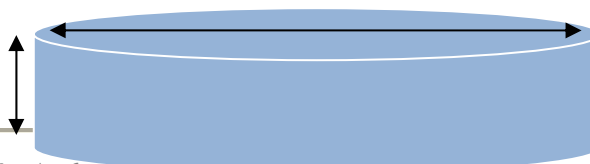
Sh: superficie horizontal

$$h(\text{m}) = \frac{3.125(\text{m}^3)}{833(\text{m}^2)} = 3,75 \text{ m}$$

**Tabla resumen:**

Número de decantadores	2
Volumen	3.750 m <sup>3</sup>
Superficie horizontal (Sh)	833 m <sup>2</sup>
Diámetro	32 m
Altura (h)	3,75m

D= 32m



h= 3,75m

Contaminante	Cantidad de entrada (kg/día)	% de eliminacion	Cantidad de salida (kg/día)
DBO	15000	33%	9900
NTK	3000	12%	2460
SS	18000	67%	5940

### Reactor biológico

Los procesos biológicos consisten en reducir la materia orgánica biodegradable presente en el agua mediante la acción de los microorganismos. En este caso se somete al agua a un proceso aerobio de oxidación total, mediante este proceso los microorganismos, utilizando el oxígeno como oxidante, asimilan la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. El proceso es el siguiente:

Materia orgánica+microorganismos+O<sub>2</sub> → productos finales + energía+nuevos microorganismos

La oxidación total necesita un aporte de oxígeno mediante difusores, de este modo facilita el contacto entre materia orgánica, oxígeno y microorganismos para que se dé el proceso.

Los 9900 kg/día de DBO en caso de no tener que realizar el proceso de nitrificación-desnitrificación tendría que reducirse a 1500 kg/día, esto supone un rendimiento del 85% y una carga másica de unos 0,5 ((kg DBO/día)/kg MLSS). Sin embargo, como se realiza el proceso de nitrificación en vistas a una posterior regeneración del agua para su utilización, se tendrá que diseñar el reactor con un rendimiento del 92% y una carga másica de 0,15 ((kg DBO/día)/kg MLSS)m de este modo se conseguirá una DBO en el efluente de 792 kg/día.

#### Datos de partida:

CM ((kg DBO/día)/kg MLSS)	% Rendimiento	X= MLSS (kg/m <sup>3</sup> )	Qmed (m <sup>3</sup> /h)
0,15	92	4,7	2.500

#### Reducciones de contaminantes:

Contaminante	Cantidad de entrada (kg/día)	Cantidad de salida (kg/día)
--------------	------------------------------	-----------------------------

<b>DBO</b>	9.900	792
<b>NTK</b>	2.640	211,2

*Dimensionado:*

El volumen del reactor se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Vol(m^3) = \frac{L \left(\frac{kg}{dia}\right)}{CM \left(\frac{kg\ DBO/dia}{kg\ MLSS}\right) \cdot X \left(\frac{kg}{m^3}\right)}$$

$$Vol(m^3) = \frac{9900 \left(\frac{kg}{dia}\right)}{0,16 \left(\frac{kg\ DBO/dia}{kg\ MLSS}\right) \cdot 4,7 \left(\frac{kg}{m^3}\right)} = 14042,5\ m^3$$

Donde:

Vol: volumen del reactor ( $m^3$ )

CM: carga másica ((kg DBO/día)/kg MLSS)

L: DBO en el influente (kg/día)

X: concentración de MLSS  $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

A continuación se calcula el tiempo de residencia:

Tiempo de residencia:

$$Tr\ (h) = \frac{Vol\ (m^3)}{Q\ (m^3/h)}$$

$$Tr\ (h) = \frac{14042,5\ (m^3)}{2500\ (m^3/h)} = 5,6\ h$$

**Oxígeno necesario:**

El proceso requiere un aporte de oxígeno para la eliminación de la DBO. Esta cantidad se calcula del siguiente modo:

$$OR(kg/dia) = a \cdot L \cdot R / 100 \cdot 1,2 + b \cdot M + 4,57 \cdot L_n$$

$$OR(kg/dia) = 0,62 \cdot 9900 \cdot (92/100) \cdot 1,2 + 0,075 \cdot 14942,5 \cdot 4,7 + 4,57 \cdot 2489 = 23.100\ kg/dia$$

Siendo:

OR: oxígeno requerido (kg/día)

a: coeficiente de síntesis endógeno

b: coeficiente de respiración endógena

L: DBO en el influente (kg/día).

R: rendimiento del proceso

M: biomasa en el reactor (kg)

Ln: nitrógeno amoniacal eliminado en el reactor Kg/día

Como lo que se va a introducir no es oxígeno puro, se calcula la cantidad de aire necesario teniendo en cuenta que el aire tiene un 23 % de oxígeno aproximadamente:

$$\text{Cantidad de aire (kg/h)} = \frac{OR \left( \frac{L}{\text{día}} \right) \cdot \left( \frac{4.59}{R} \right)}{24 \text{ h}} = 4.185 \text{ Kg/h}$$

El reactor se diseña con 6 metros de profundidad, por lo que los difusores funcionan a un 40 % de rendimiento. Este rendimiento es el rendimiento en agua pura, por lo que hay que aplicarle un factor de corrección del 0,6. Por lo tanto el rendimiento queda en 24 % (0,6 x 40%).

De este modo, la cantidad real que ha de inyectarse es de:

$$\text{Aire real inyectado} = 4185 \text{ kg/h} + 100/24 = 17437,5 \text{ kg/h.}$$

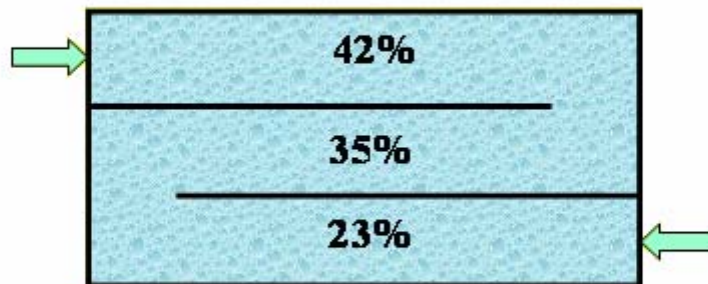
Para pasarlo a m<sup>3</sup>/h, se divide por la densidad del aire (1,23kg/m<sup>3</sup>):

Masa= volumen x densidad;

Volumen= 17437,5/1,23=14177 m<sup>3</sup>/h de aire reales. Como cada difusor cerámico que se instala inyecta 4 m<sup>3</sup>/h. Son necesarios

$$\frac{14177 \text{ m}^3/\text{h}}{4 \text{ m}^3/\text{h}} = 3544 \text{ difusores.}$$

La distribución de los difusores mantendrá el siguiente esquema:





### Producción de fangos:

Para mantener el equilibrio del sistema, una parte de los fangos se purga, llevándolos a un posterior tratamiento y otra parte se recircula para la generación de nuevos microorganismos.

La cantidad de fangos a purgar se calculan mediante la fórmula empírica de Huisken:

$$As(\text{kg}/\text{día}) = 1,2 * Le * CM^{0,23}$$

$$AS(\text{kg}/\text{día}) = 1,2 * 9.108 * 0,15^{0,23} = 7.065 \text{ (Kg}/\text{día)}$$

Siendo:

As: cantidad de fangos a purgar (kg/día)

Le: DBO eliminada en el proceso Kg/día

CM: carga másica ((kg DBO/día)/kg MLSS)

La cantidad de fangos de recirculación se calculan mediante un balance de materia en el decantador, para el balance se desprecia la concentración de MLSS en el efluente por su bajo valor, así, se calcula mediante la siguiente expresión:

$$(Q * X) + (Q_R * X) = Q_R * X_R$$

Siendo:

$Q$ = caudal influente ( $m^3/h$ )

$Q_R$ = caudal de recirculación ( $m^3/h$ )

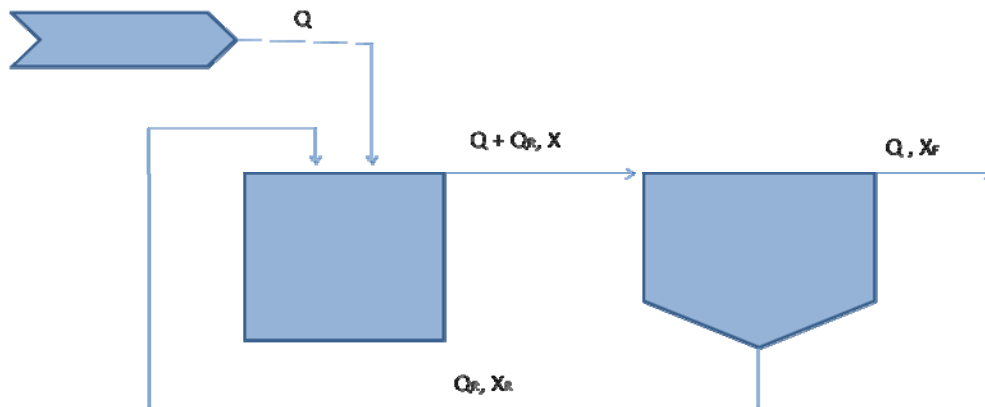
$X$ = concentración de MLSS en el reactor ( $Kg/m^3$ )

$X_R$ = concentración de MLSS en la recirculación ( $Kg/m^3$ ). Que toma un valor de aproximadamente  $6 kg/m^3$  en oxidación total.

Despejando  $Q_r$  queda:

$$Q_R = \frac{2800 + 4,7}{6 - 4,7} = 9.038 m^3/h$$

Por último, se calcula la cantidad de fangos que se obtienen para un posterior tratamiento:



## Decantador secundario

### Descripción:

Los decantadores secundarios se basan en los mismos principios que los decantadores primarios solo que en este caso la naturaleza de los fangos eliminados es muy distinta a la de los sólidos en suspensión eliminados en los decantadores primarios.

En el decantador secundario entra el exceso de biomasa del reactor biológico, que por sus características forma floculos sedimentables.

El fango se extrae por el fondo del decantador y es enviado de nuevo al reactor biológico para mantener la concentración apropiada o bien es purgado como fango en exceso.

### Datos de partida:

DECANTADOR SECUNDARIO			
Tr (h)	CH (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *h)	Qmax (m <sup>3</sup> /h)	Qmedio (m <sup>3</sup> /h)
3,5-5	0,5-1,0	3.785	2.500

### Dimensionado:

La superficie horizontal del equipo vendrá dada por:

$$Sh(m^2) = \frac{Q\left(\frac{m^3}{h}\right)}{CH\left(\frac{m}{h}\right)}$$

donde:

S<sub>h</sub>: superficie, m<sup>2</sup>

Q: caudal a tratar, m<sup>3</sup>/h

CH: velocidad ascensional del agua, o carga superficial, m/h

Hay que determinar la superficie tanto para el caudal máximo (Q<sub>max</sub>) como para el caudal medio (Q<sub>med</sub>) y tomar la mayor de las dos superficies.

**Superficie a Q max y CH max:**

$$Sh(m^2) = \frac{3.785\left(\frac{m^3}{h}\right)}{1.0\left(\frac{m}{h}\right)} = 3.785 (m^2)$$

**Superficie a Qmed y CH min :**

$$Sh(m^2) = \frac{2.500 \left(\frac{m^3}{h}\right)}{0,5 \left(\frac{m^3}{m^2}\right)} = 5.000 (m^2)$$

Cogemos el resultado mayor: **5.000 m<sup>2</sup>**

A partir de la superficie se determina el diámetro, que es la forma habitual de definir los decantadores.

**Diámetro:**

$$S = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{S(m^2)}{\pi}} = \sqrt{\frac{5.000(m^2)}{\pi}} = 39,89m \quad \longrightarrow \quad D=2r=2 \times 39,89 = \mathbf{80m}$$

No es aconsejable utilizar tanques circulares con un diámetro tan elevado por lo que se utilizarán unidades múltiples. Se dividirá la superficie entre cuatro y se calculara de nuevo el diámetro.

$$\frac{Sh(m^2)}{4}$$

$$\frac{5.000 (m^2)}{4} = \mathbf{1.250 m^2}$$

$$S = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{S(m^2)}{\pi}} = \sqrt{\frac{1.250 (m^2)}{\pi}} = 20 m \quad \longrightarrow \quad D=2r=2 \times 20 = \mathbf{40 m}$$

Al tratarse de decantadores secundarios con un diámetro superior a 35m el sistema de extracción de fangos será mediante unidades de succión, caracterizadas por extraer los fangos por toda la superficie del fondo de forma radial, lo que supone tiempos de retención de fangos menores.

Finalmente se instalarán cuatro decantadores secundarios de 1.250 m<sup>2</sup>

Una vez definida la superficie se calcula el volumen de acuerdo a la siguiente ecuación:

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

Donde:

Vol: volumen, m<sup>3</sup>

Q: caudal a tratar, m<sup>3</sup>/h



Tr: tiempo de retención, h

Al igual que con el cálculo de la superficie, hay que calcular el volumen para el caudal máximo ( $Q_{\max}$ ) y el caudal medio ( $Q_{\text{med}}$ ) tomándose la situación más desfavorable.

**Volumen a  $Q_{\max}$  y Tr mín:**

$$\text{Vol}(\text{m}^3) = 3.785 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \times 3,5(\text{h}) = 13.247,5 (\text{m}^3)$$

**Volumen a  $Q_{\text{med}}$  y Tr máx.:**

$$\text{Vol}(\text{m}^3) = 2.500 \left( \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right) \times 5(\text{h}) = 12.500 (\text{m}^3)$$

Se coge el resultado mayor:  $13.250 \text{m}^3$

Al contar con cuatro decantadores secundarios se dividirá el caudal:

$$\frac{\text{Vol}(\text{m}^3)}{4}$$

$$\frac{13.250 (\text{m}^3)}{4} = 3.312 \text{m}^3$$

Una vez conocidos el volumen y la superficie de los equipos la altura vendrá definida por:

$$h(\text{m}) = \frac{\text{Vol}(\text{m}^3)}{\text{Sh}(\text{m}^2)}$$

Donde:

h: altura, m

Vol: volumen,  $\text{m}^3$

Sh: superficie horizontal

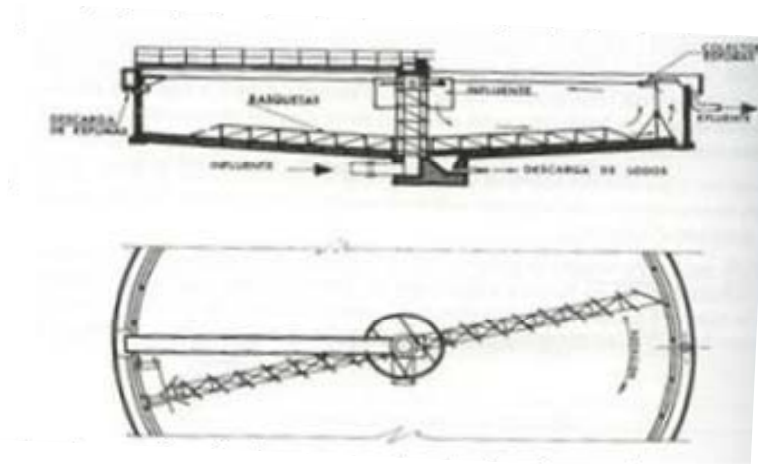
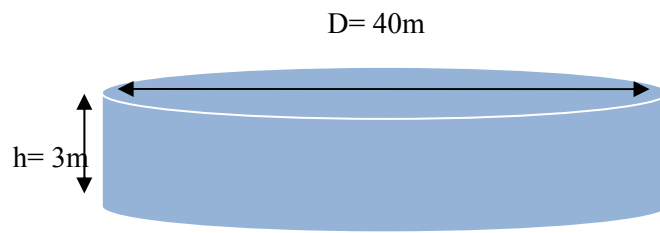
$$h(\text{m}) = \frac{3.312 (\text{m}^3)}{1.250 (\text{m}^2)} = 2,65\text{m}$$

Se instalará un decantador de altura igual a 3m.

**Tabla resumen:**

Número de decantadores	4
Volumen	$3.312 \text{m}^3$
Superficie horizontal (Sh)	$1.250 \text{m}^2$
Diámetro	40 m
Altura (h)	3 m





## 5. LÍNEA DE FANGOS:

### Espesado

Los lodos o fangos purgados en los diferentes procesos de la planta depuradora, presentan unas concentraciones muy bajas en sólidos en suspensión, siendo necesario aumentar dicha concentración para que los equipos de los tratamientos posteriores sean de menor tamaño y así abaratar costes.

En las plantas urbanas de gran tamaño, los fangos procedentes de decantación primaria se espesan por gravedad, mientras que los fangos biológicos lo hacen por flotación.

#### 1. Fangos del decantador primario: Espesado por gravedad

##### Descripción:

El espesamiento por gravedad se lleva a cabo en tanques similares a los de decantación, obteniéndose por el fondo un fango espesado y por superficie un líquido clarificado que se manda a cabecera de planta.

##### Producción de fangos en el decantador primario:

Entrada: 18.000 Kg.SS/día

Eliminación: 66%

Quedan en la purga de fangos: 15.840Kg/día

Concentración en peso 2%

$$\left\{ \begin{array}{l} 100\text{Kg} \longrightarrow 2 \\ x \longrightarrow 15.840 \end{array} \right. \Rightarrow 792.000\text{Kg/d} = 792\text{m}^3/\text{d} = 33\text{m}^3/\text{h}$$

##### Datos de partida:

ESPESADOR POR GRAVEDAD		
Tr (h)	CS (Kg/m <sup>2</sup> *d)	Q (m <sup>3</sup> /h)
24	80	33

*Dimensionado de equipos:*

Par determinar las dimensiones de estos equipos, se parte de la carga de sólidos que puede soportar la unidad.

La superficie del equipo se determina para la carga de sólidos (CS):

$$S(\text{m}^2) = \frac{A \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}}\right)}{CS \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}\right)}$$

Siendo:

A: Kilogramos de sólidos por día, Kg/d

CS: carga de sólidos, Kg/m<sup>2</sup>\*d

$$S = \frac{15.840 \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}}\right)}{80} = 198 \text{ m}^2$$

A partir de esta superficie se determinará el diámetro del equipo:

$$S = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{S(\text{m}^2)}{\pi}} = \sqrt{\frac{198(\text{m}^2)}{\pi}} = 8\text{m} \quad \longrightarrow \quad D=2r=2 \times 8=16\text{m}$$

El volumen de la unidad vendrá dado por:

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

Donde:

Vol: volumen, m<sup>3</sup>

Q: caudal, m<sup>3</sup>/h

Tr: tiempo de retención

$$\text{Vol}(\text{m}^3) = 33 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right) * 24 (\text{h}) = 792 \text{ m}^3$$

La altura de la unidad será:

$$H(m) = \frac{Vol(m^3)}{S(m^2)}$$

Siendo:

H: altura, m

Vol: volumen, m<sup>3</sup>

S: superficie, m<sup>2</sup>

$$H(m) = \frac{792(m^3)}{198(m^2)} = 4(m)$$

Teniendo en cuenta una concentración de salida del espesador del 6%.

$$Q_{salida} \left(\frac{m^3}{d}\right) = \frac{A \left(\frac{kg}{d}\right)}{1000 \left(\frac{kg}{m^3}\right)} \times \frac{100}{6}$$

$$Q_{salida} = \frac{15.840 \times 100}{1000 \times 6} = 264 \left(\frac{m^3}{d}\right)$$

*Tabla resumen:*

Volumen	792 m <sup>3</sup>
Superficie	198 m <sup>2</sup>
Diámetro	16 m
Altura (h)	4 m
Caudal de salida	264 m <sup>3</sup> /d
Concentración del fango	2%

## 2. Fangos biológicos: Espesado por flotación con presurización de la recirculación

*Descripción:*

Este sistema se utiliza para espesar los fangos biológicos de la decantación secundaria.

En esta variante de presurización de la recirculación una parte del efluente del tanque de flotación es recirculado e introducido en el sistema de presurización, pasando el agua a tratar directamente al mencionado tanque.

Este sistema requiere un equipo de presurización menor y en consecuencia menor consumo energético.



**Producción de fangos en el decantador secundario:**

Una parte de la materia orgánica eliminada por el sistema de fangos activos se utiliza en la síntesis de nuevos microorganismos, lo que supone la generación de sólidos en suspensión, eliminados como fangos en la decantación secundaria a través de la purga del sistema.

Los fangos a purgar diariamente del decantador secundario pueden determinarse mediante la fórmula empírica de Huisken:

$$AS \text{ (Kg/d)} = 1,2 \times Le \times CM^{0,23}$$

Donde:

AS: Fangos a purgar, Kg/d

Le: DBO eliminada en el proceso, Kg/d

CM: carga másica, Kg/Kg\*d

$$AS \text{ (Kg/d)} = 1,2 \times 9.108 \times 0,15^{0,23}$$

$$AS = 1,2 \times 9.108 \times 0,15^{0,23} = 7.065 \text{ Kg/d} = 294,5 \text{ Kg/h}$$

Concentración: 0,6%

$$\left\{ \begin{array}{l} 100\text{Kg} \rightarrow 0,6 \\ x \rightarrow 7.065\text{Kg/d} \end{array} \right. \Rightarrow 1.177.500\text{Kg/d} = 1.177,5 \text{ m}^3/\text{d} = 11 \text{ m}^3/\text{h} \text{ } 49 \text{ m}^3/\text{h}$$

**Datos de partida:**

**ESPEADOR POR FLOTACIÓN**

Tr calderín (min)	Presión de trabajo (kg/cm <sup>2</sup> )	Necesidades de aire (Kg/Kg SS)	Tr tanque (h)	CH (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *h)	Q (m <sup>3</sup> /h)
>3	5,0	0,05	>1	2,5	49

**Dimensionado de equipos:**

**ADICIÓN DE AIRE:**

La necesidades de aire por Kilogramo de contaminante vendrán definidas por:

$$A \text{ (Kg/h)} = p \text{ (Kg/Kg)} \times K \text{ (Kg /h)}$$

Donde:

A: kilos de aire por hora, precisos para flotación, Kg/h

p: necesidades de aire por kilo de contaminante a eliminar, Kg/Kg



K: kilogramos de contaminante a eliminar, Kg/h

$$A \text{ (Kg/h)} = 0,05(\text{Kg/Kg}) \times 294 \text{ (Kg /h)} = 14,7(\text{Kg/h})$$

Esta cantidad de aire deberá ser disuelta en el caudal de recirculación, por lo tanto para averiguar el caudal de recirculación habrá que dividir el valor de A entre la solubilidad del aire en el agua:

$$Q_r \text{ (m}^3\text{/h)} = \frac{A \text{ (Kg/h)}}{X_g^p \text{ (Kg/m}^3\text{)}}$$

Siendo:

$Q_r$ : caudal de recirculación, m<sup>3</sup>/h

A: kilos de aire por hora precisos para flotación, Kg/Kg

$X_g^p$ : Solubilidad del aire en agua a la presión y temperatura de trabajo, Kg/m<sup>3</sup>

Al no tratarse de agua pura, sino de agua residual habrá que multiplicarlo además por 5 y se divide entre 0,6 (concentración)

$$Q_r \text{ (m}^3\text{/h)} = \frac{14,7(\text{Kg/h}) \times 1000}{18,7 \text{ (Kg/m}^3\text{)} \times 5 \text{ (Kg/m}^3\text{)} \times 0,6 \text{ (Kg/m}^3\text{)}} = 262 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

Finalmente el caudal de agua a emplear para el cálculo de dimensionamiento del tanque de flotación será:

$$Q \text{ (m}^3\text{/h)} = Q_D \text{ (m}^3\text{/h)} + Q_R \text{ (m}^3\text{/h)}$$

Donde:

Q: caudal de alimentación al tanque flotador, m<sup>3</sup>/h

$Q_D$ : caudal de entrada a la planta, m<sup>3</sup>/h

$Q_R$ : caudal de recirculación, m<sup>3</sup>/h

$$Q \text{ (m}^3\text{/h)} = 49 \text{ (m}^3\text{/h)} + 262 \text{ (m}^3\text{/h)} = 311 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

### TANQUE DE FLOTACIÓN:

La superficie del flotador vendrá dada por:

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

Donde:

S: superficie, m<sup>2</sup>

Q: caudal a tratar, m<sup>3</sup>/h

CH: carga hidráulica, m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> \* h

$$S \text{ (m}^2\text{)} = \frac{311 \text{ (m}^3\text{/h)}}{2,5 \text{ (m}^3\text{/m}^2\text{h)}} = 124 \text{ m}^2$$

El diámetro será igual a:

$$S = \pi r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{S \text{ (m}^2\text{)}}{\pi}} = \sqrt{\frac{124,6 \text{ (m}^2\text{)}}{\pi}} = 6,3 \text{ m} \quad \longrightarrow \quad D=2r = 2 \times 6,3 = 12,6 = 13 \text{ m}$$

El volumen del tanque se determina a partir del tiempo de retención preciso en este equipo:

$$\text{Vol (m}^3\text{)} = (Q_D \text{ (m}^3\text{/h)} + Q_R \text{ (m}^3\text{/h)}) * Tr \text{ (h)} = Q \text{ (m}^3\text{/h)} * Tr \text{ (h)}$$

Donde:

Vol: volumen, m<sup>3</sup>

Tr: tiempo de retención, h

$$\text{Vol (m}^3\text{)} = 311,5 \text{ (m}^3\text{/h)} * 1 \text{ (h)} = 311,5 \text{ m}^3$$

Conociendo el volumen y la superficie del tanque de flotación, la altura del equipo vendrá determinada por:

$$h \text{ (m)} = \frac{\text{Vol (m}^3\text{)}}{S \text{ (m}^2\text{)}}$$

Donde:

h: altura, m

Vol: volumen, m<sup>3</sup>

S: superficie, m<sup>2</sup>

$$h \text{ (m)} = \frac{311,5 \text{ (m}^3\text{)}}{124,6 \text{ (m}^2\text{)}} = 2,5 \text{ m}$$

### *CALDERÍN DE PRESURIZACIÓN*

El volumen del calderín de presurización se determinará en función del tiempo de retención del agua en el mismo:

$$\text{Vol (m}^3\text{)} = Q_R \text{ (m}^3\text{/h)} * Tr \text{ (h)}$$

Donde:

Vol: volumen, m<sup>3</sup>

Q<sub>R</sub>: caudal de recirculación, m<sup>3</sup>/h

Tr : tiempo de retención, h

$$\text{Vol (m}^3\text{)} = 311,5 \text{ (m}^3\text{/h)} \times 0,1 \text{ (h)} = 31 \text{ m}^3$$

Teniendo en cuenta una concentración de salida del espesador del 3%.

$$Q_{\text{salida}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right) = \frac{A \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}}\right)}{1000 \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} \times \frac{100}{3}$$

$$Q_{\text{salida}} = \frac{7.065 \times 100}{1000 \times 3} = 235,5 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right)$$

*Tabla resumen:*

Volumen	311,5 m <sup>3</sup>
Superficie	124,6m <sup>2</sup>
Diámetro	13 m
Altura (h)	2,5m
Volumen del calderín	31 m <sup>3</sup>
Caudal de salida	235,5 m <sup>3</sup> /d

## Estabilización

Tanto los fangos primarios y muy especialmente los secundarios tienen en su composición elevadas cantidades de materia orgánica, que es necesario estabilizar o destruir antes de su evacuación de la planta depuradora, pues se produciría su descomposición con la consiguiente generación de gases y malos olores.

El sistema utilizado es la digestión anaerobia de los fangos. Este proceso tiene lugar en tanques cerrados, con unos tiempos de retención elevados y a altas temperaturas para acelerar el proceso.

El tipo de digestor empleado es de mezcla completa y alta carga, llevándose a cabo el proceso en dos etapas:

### **Primera etapa (digestor primario):**

Se utiliza un digestor de mezcla completa, provisto de agitación y calentamiento del fango, en el cual tiene lugar la eliminación del 90 % de los VSS eliminados en el proceso de digestión.

### **Segunda etapa:**

Consiste en un digestor secundario, sin agitación ni calefacción, donde tiene lugar además de la finalización del proceso, el espesamiento de los lodos y la obtención de un líquido clarificado que se envía a cabecera de planta.

### *Entrada de fangos al digestor:*

Una vez que los fangos han sido espesados independientemente, ambos fangos se juntan para los tratamientos posteriores. De este modo la cantidad de fangos a tratar en el digestor vendrá dada por:

$$\text{Entrada} = 15.840 + 7.065 = 22.905 \text{ Kg/d}$$

$$\text{Caudal} = 264 + 235 = 499 \text{ m}^3/\text{d}$$

75% son VSS :

$$\frac{22.905 \times 75}{100} = 17.178,7 \text{ Kg VSS/d}$$

Se eliminan el 45%:

Eliminados:

$$\frac{17.178,7 \times 45}{100} = 7.730 \text{ Kg/d}$$

Quedan:

$22.905 - 7.730 = 15.175 \text{ Kg/d}$

Concentración: 6%

$$\left\{ \begin{array}{l} 100\text{Kg} \rightarrow 6\% \\ x \rightarrow 15.175 \text{ Kg/d} \end{array} \right. \Rightarrow 252.916 \text{ Kg/d} = 253\text{m}^3/\text{d}$$

*Datos de partida:*

### DIGESTOR ANAEROBIO

Temperatura (°C)	Tr digestor primario (d)	Tr digestor secundario (d)	Eliminación VSS	Generación de gas (m <sup>3</sup> /Kg VSS eliminado)
38	20	10	45%	0,9

*Dimensionado de equipos:*

Los digestores de fangos de plantas depuradoras urbanas se diseñan a partir del tiempo de retención.

**DIGESTOR PRIMARIO:**

El volumen se determinará a partir del tiempo de residencia:

$$\text{Tr(d)} = \frac{\text{VOL(m}^3\text{)}}{Q(\text{m}^3/\text{d})}$$

Por lo que:

$$\text{VOL(m}^3\text{)} = \text{Tr (d)} * Q (\text{m}^3/\text{d})$$

Donde:

VOL: volumen, m<sup>3</sup>

Tr: tiempo de residencia, d

Q: caudal, m<sup>3</sup>/d

Normalmente se instalan dos digestores primarios y uno secundario por lo que los tres disponen del mismo volumen. De esta manera el tiempo de residencia en los decantadores primarios será de 10 días en cada uno, 20 días en total:

$$\text{VOL(m}^3\text{)} = 10 (\text{d}) * 499(\text{m}^3/\text{d}) = 4.990 (\text{m}^3)$$

A partir del volumen y sabiendo que el diámetro del digestor es 1,5 veces mayor que la altura se calcula el diámetro y la altura del digestor despejando de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Vol} = \frac{\pi * d^2}{4} * h$$

$$d=1,5*h$$

$$\text{Vol} = \frac{\pi*(1,5*h)^2}{4} * h$$

$$\text{Vol} = \frac{\pi * 1,5^2 * h^3}{4}$$

$$4.990 \text{ (m}^3\text{)} = \frac{\pi * 1,5^2 * h^3}{4}$$

$$h(\text{m}) = \sqrt[3]{\frac{4990(\text{m}^3)*4}{\pi*1,5^2}} = 14 \text{ m}$$

$$d=1,5*h$$

$$d=1,5* 14 =14,5$$

$$d=21\text{m}$$

#### *DIGESTOR SECUNDARIO:*

Al igual que en el digestor primario el volumen se determinará a partir del tiempo de residencia:

$$\text{VOL}(\text{m}^3) = \text{Tr} (\text{d}) * Q (\text{m}^3/\text{d})$$

Donde:

VOL: volumen, m<sup>3</sup>

Tr: tiempo de residencia, d

Q: caudal, m<sup>3</sup>/d

$$\text{VOL}(\text{m}^3) = 10(\text{d}) * 499 (\text{m}^3/\text{d}) = 4.990 \text{ m}^3$$

A partir del volumen y sabiendo que el diámetro del digestor es 1,5 veces mayor que la altura se calcula el diámetro y la altura del digestor despejando de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Vol} = \frac{\pi * d^2}{4} * h$$

$$d=1,5*h$$

$$\text{Vol} = \frac{\pi*(1,5*h)^2}{4} * h$$

$$\text{Vol} = \frac{\pi * 1,5^2 * h^3}{4}$$

$$4.990 \text{ (m}^3\text{)} = \frac{\pi * 1,5^2 * h^3}{4}$$

$$h\text{(m)} = \sqrt[3]{\frac{4990\text{(m}^3\text{)}*4}{\pi*1,5^2}} = 14 \text{ m}$$

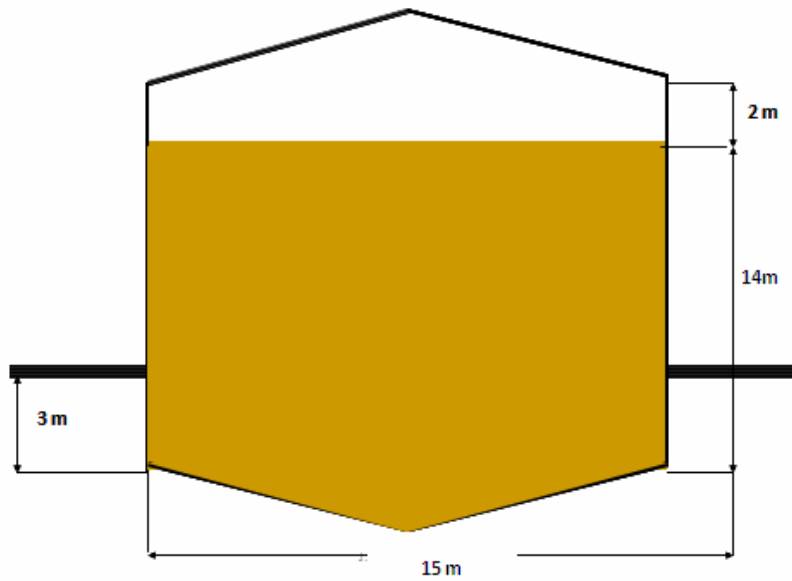
$$d=1,5*h$$

$$d=1,5* 14 =14,5$$

$$d=21\text{m}$$

En el digestor secundario se instalarán también los equipos de agitación y calefacción para poder usarlo como digestor primario en el caso de que alguno de ellos se estropeará.



**Tabla resumen:**

Digestores primarios	Volumen	4.990 m <sup>3</sup>
	Diámetro	21m
	Altura	14m
	Altura libre	2m
	Altura total	16m
	Altura enterrada	3m
	Forma techo fondo	Cónica
	Nº unidades	2
Digestor secundario	Volumen	4.990 m <sup>3</sup>
	Diametro	21
	Altura	14
	Altura libre	2m
	Altura total	16m
	Altura enterrada	3m
	Forma techo/fondo	Cónica
	Nº unidades	1

**Deshidratación****Descripción:**

Los fangos estabilizados en la digestión anaerobia deben ser deshidratados hasta una sequedad tal, que permita su evacuación de la depuradora mediante camión.

En este caso se realizará la deshidratación mediante centrifugas decantadoras, consistentes en la separación de las partículas sólidas de mayor densidad que el agua presentes en el fango, debido a fuerzas de tipo centrífugo, y utilizando una fuerza entre 500 y 3.000 veces la gravedad.

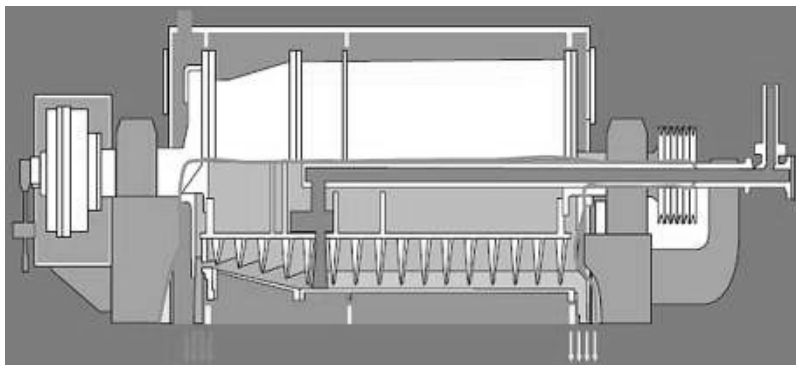
Para evitar la pérdida de las partículas más pequeñas con el efluente se añadirá polielectrolito sintético para fomentar su floculación y en consecuencia una mayor retención de partículas.

El consumo de electrolito es aproximadamente de 5,0 Kg/Tm MS

Las centrifugas decantadoras constan de una cuba horizontal que gira sobre dos cojinetes sujetos al bastidor. Tiene forma cilíndrica y al final termina en forma troncocónica. En el interior se encuentra un tornillo sinfín que gira a menor velocidad para arrastrar el fango.

El fango se introduce de forma continua por uno de los extremos y por la acción de la fuerza centrífuga los sólidos se concentran en la periferia, siendo arrastrados por el tornillo sinfín hacia el extremo troncocónico, donde son descargados para su posterior evacuación de la planta.

Tras el proceso, el fango alcanza una concentración entorno al 20-25%



Se ha seleccionado este sistema de deshidratación porque trabaja en continuo, es fácil de operar y las necesidades de mano de obra una vez ajustados los equipos son mínimas

#### *Dimensionado de equipos:*

Partiendo del caudal de fangos que entra al sistema de deshidratación (253 m<sup>3</sup>/d) se deduce que:

El caudal de fangos a tratar en una semana será:

$$253 \text{ (m}^3\text{/d)} * 7 \text{ (d/semana)} = 1.771 \text{ m}^3\text{/semana}$$

Sabiendo que se trabaja 5 días a la semana, 8 horas al día; al final de la semana el deshidratador habrá trabajado el siguiente número de horas:

$$5 \text{ (d)} * 8 \text{ (h/d)} = 40 \text{ (h/semana)}$$

Con este dato se puede calcular el caudal de fangos a tratar por cada hora de trabajo del deshidratador:

$$\frac{1.771 \text{ (m}^3\text{/semana)}}{40 \text{ (h/semana)}} = 44,3 \text{ (m}^3\text{/h)}$$

Finalmente se instalarán 2 equipos de deshidratación con una capacidad de 25 m<sup>3</sup> cada uno.

No se instalará equipo de reserva, en caso de rotura o mantenimiento de uno de los equipos el otro trabajará a doble tiempo.

Los lodos de la depuradora una vez deshidratados se enviarán en camiones a vertedero de residuos sólidos urbanos.

**Tabla resumen:**

Qfangos/ semana	1.771 m <sup>3</sup> /semana
Qfangos/h	44,3 (m <sup>3</sup> /h)
Nº equipos	2

## 6. LÍNEA DE GAS

---

### *Descripción:*

En el proceso de digestión anaerobia se obtiene un gas que tiene una capacidad calorífica de unos 5.250Kcal/m<sup>3</sup>. Este biogás tiene una composición en torno al 65-70% de metano, 25-30% de dióxido de carbono y el resto de vapor de agua, nitrógeno y pequeñas cantidades de sulfhídrico, amoníaco etc.

El biogás obtenido se almacena en la parte superior del digestor y en un gasómetro .

El biogás se emplea en la calefacción del digestor y para generar parte de la electricidad que se consume en la planta. El gas se quema en motores de combustión interna acoplados a un generador eléctrico donde se produce energía eléctrica. Mediante la recuperación del calor de los gases de combustión y del circuito de refrigeración de los motores se consigue calentar el digestor. El biogás sobrante o de baja calidad se quemará en la antorcha.

El gas producido debe ser lavado antes de su utilización para eliminar partículas, vapor de agua, etc.

El circuito de gas tendrá una capacidad como mínimo del doble de la producción de gas prevista.

### *Datos de partida:*

- 7.730 kg fangos eliminados/d
- Generación de gas: 0,9 m<sup>3</sup>/Kg VSS eliminados
- Poder calorífico del biogás : 5.250 Kcal/m<sup>3</sup>

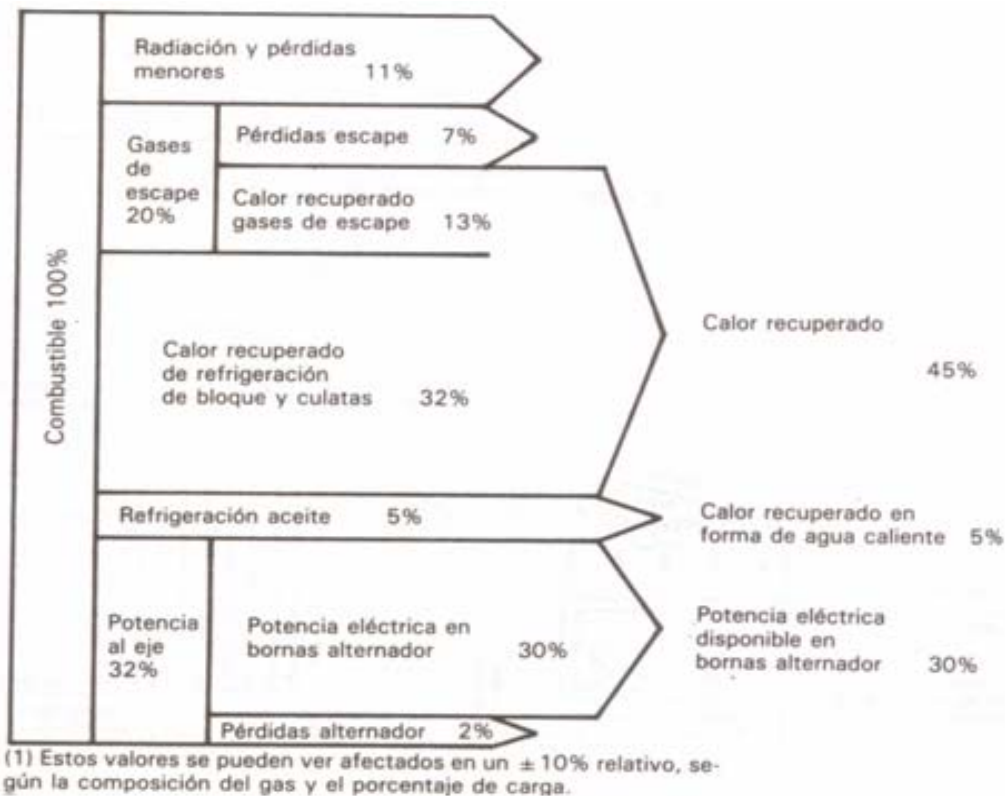
### *Dimensionado de equipos:*

Con la cantidad de fangos eliminados se generará la siguiente cantidad de biogás:

$$7.730 \text{ Kg VSS} * 0,9 \text{ m}^3/\text{Kg VSS} = 6.957 \text{ m}^3 \text{ de gas}$$

Con esta cantidad de biogás se producirán las siguientes kilocalorías:

$$6.957 \text{ m}^3 * 5.250 \text{ Kcal} = 36.524.250 \text{ Kcal/d}$$



En el gráfico anterior se puede observar que del 100 % del calor producido el 20 % se pierde por pérdidas del alternador, por radiación y por perdidas de escape. Del 80% restante un 50% se recupera en forma de calor para calentar el digestor y el otro 30% sirve para generar electricidad.

### Recuperación de calor:

El 45 % recuperable en forma de calor para el digestor equivaldría a:

$$36.524.250 \text{Kcal/d} * 50\% = 18.262.125 \text{ Kcal/d}$$

El calor necesario para el calentamiento del agua de alimentación viene determinado por:

$$Q(\text{Kcal}) = M * C_e * (T_{\text{dig}} - T_{\text{agua}})$$

Donde:

M: masa de fangos, Kg/d

Ce: calor específico

Tdig: Temperatura del digestor, °C

Tagua: Temperatura del fango

$$Q(\text{Kcal}) = 252.916 \text{ Kg/d} * 1 * (38 - 14) = 6.069.984 \text{ Kcal}$$

Las pérdidas de calor vienen determinadas por:

$$Q(\text{Kcal}) = S * CTC * (T_{int} - T_{ext})$$

Donde:

S: Superficie de contacto

CTC: Coeficiente transmisión de calor digestores, Kcal. / m<sup>2</sup> \* °C

T int: Temperatura interior del digestor, °C

T ext: Temperatura exterior

**Pérdidas de calor en el cilindro exterior:**

$$Q(\text{Kcal}) = 857,6 (\text{m}^2) * 1,75 (\text{Kcal}/\text{m}^2 * ^\circ\text{C}) * (38 - 12 ^\circ\text{C}) = 39.023 \text{ Kcal}$$

**Pérdidas de calor en el cilindro enterrado:**

$$Q(\text{Kcal}) = 197,7 (\text{m}^2) * 0,8 (\text{Kcal}/\text{m}^2 * ^\circ\text{C}) * (38 - 12 ^\circ\text{C}) = 4.112 \text{ Kcal}$$

**Pérdidas de calor en el cono superior:**

$$Q(\text{Kcal}) = 350 (\text{m}^2) * 2,5 (\text{Kcal}/\text{m}^2 * ^\circ\text{C}) * (38 - 12 ^\circ\text{C}) = 22.750 \text{ Kcal}$$

**Pérdidas de calor por la solera:**

$$Q(\text{Kcal}) = 350 (\text{m}^2) * 0,6 (\text{Kcal}/\text{m}^2 * ^\circ\text{C}) * (38 - 12 ^\circ\text{C}) = 5.460 \text{ Kcal}$$

**Pérdidas totales:** 71.345 Kcal

Al tener dos digestores primarios las pérdidas totales serán:

$$71.345\text{Kcal} * 2 = 142.690 \text{ Kcal}$$

Las necesidades totales resultarán de la suma de las pérdidas más el calor necesario para calentar el digestor:

$$6.069.984 + 142.690 = 6.212.674 \text{ Kcal}$$

Este valor hay que incrementarlo un 10% por las pérdidas en conexiones, líneas, instrumentos, etc.:

$$6.212.674 + 10\% = 6.833.941 \text{ Kcal/d}$$

Comparando este valor de consumo con el valor de regeneración se observa que la regeneración cubrirá la totalidad del calor necesario en el digestor.

Calor necesario: 6.833.941 Kcal/d

Calor	recuperado:	18.262.125	Kcal/d
-------	-------------	------------	--------

**Generación de electricidad:**

El 30% recuperable para la generación de electricidad equivaldría a:

$$36.524.250\text{Kcal/d} * 30\% = 10.957.275 \text{ Kcal/d}$$

Sabiendo que 1Kcal equivale a 1,16 Wat, se obtendrían la siguiente cantidad de electricidad:

$$\frac{10.957.275 \text{ Kcal/d}}{1.16 \text{ Wat}} = 9.450 \text{ Kwat.h}$$

Al tratarse de una planta de oxidación total cada metro cúbico de agua tratada consume entorno al 0,3- 0,4 KWat/h por lo que el consumo total de la planta será:

$$60.000(\text{m}^3/\text{d}) * 0,3(\text{KWat/h}) = 18.000 \text{ Kwat/h}$$

$$60.000(\text{m}^3/\text{d}) * 0,4(\text{KWat/h}) = 24.000 \text{ Kwat/h}$$

Regeneración de la planta: 9.450Kwat. h cada día

La planta generará entre 40-50% de la energía consumida.

*Tabla resumen:*

Producción de gas	Recuperación de calor	18.262.125 Kcal/d
	Consumo de calefacción	6.833.941Kcal/d
	%	100%
	Consumo de electricidad	18.000- 24.000 KWat. h
	Generación eléctrica	9.450Kwat. h cada día
	%	40-50%



## 7. Regeneración:

---

El tratamiento para la regeneración de agua consiste en un conjunto de procesos físico-químicos con el fin de conseguir agua de unas características aptas para poder utilizar el agua posteriormente para diversos usos, como por ejemplo: riego, recarga de acuíferos o baldeo de calles. Se realizan procesos de precipitación, coagulación- floculación, decantación, filtrado y desinfección.

Precipitación:

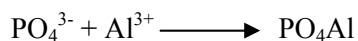
Los procesos de precipitación en aguas residuales urbanas se limitan a la eliminación de fosfatos en plantas que vierten, como es el caso, a zona sensible.

En este proceso se dosifica un reactivo químico que al reaccionar con el agua residual produzca sales insolubles de fosfatos que serán separadas posteriormente por decantación.

Los compuestos de fósforo presentes en el agua residual urbana, proceden fundamentalmente de la orina y heces humanas, detergentes y en menor medida de compuestos anticorrosivos utilizados en circuitos de agua.

Las sales normalmente utilizadas son los sulfatos y cloruros tanto de aluminio como de hierro. En este caso concreto se usarán sales de aluminio para evitar la coloración que producirían las sales de hierro.

La reacción con sales de aluminio es:



Coagulación floculación:

En este proceso, los coloides y emulsiones presentes en el agua se agrupan en flóculos, que posteriormente podrán ser eliminados del agua en tratamiento. Esto se realiza mediante la

adición de compuestos que neutralizan las cargas de los coloides y emulsiones, neutralizando las cargas se consigue que las partículas, que antes se mantenían separadas por la carga eléctrica, ahora puedan juntarse formando un flóculo.

La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico, el cual, neutralizando sus cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí.

La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microfloculos y después en los flóculos más grandes que tienden a depositarse.

Los compuestos que se utilizan en el coagulador son sales de hierro o de aluminio.

Filtrado:

El proceso de filtrado consiste en hacer pasar el agua por un lecho de arena que retiene los sólidos en la superficie de la arena. El material del lecho utilizado es una cama de arena de cuarzo

Desinfección:

Consiste en la eliminación de bacterias virus y protozoos, es desde el punto de vista de la salud la etapa más importante. Elimina los microorganismos patógenos, se utiliza la bacteria E. Coli como indicador.

La instalación se describe a continuación. Consta de dos tanques de mezcla, dos de floculación un precipitador lamelar y un equipo de desinfección con rayos ultravioleta.

### Tanque de mezcla

El tanque de mezcla consiste en dos cámaras de mezcla en paralelo, con agitadores de hélice de velocidad lenta, de menos de 200 r.p.m. En estas cámaras se añadirá al agua los reactivos. Los agitadores facilitan el contacto del agua con los reactivos.

Datos de partida:

Se instalan dos tanques de mezcla, por lo que los caudales se dividen entre dos.

REACTOR DE MEZCLA		
Tr (min)	Qmax (m <sup>3</sup> /h)	Qmedio (m <sup>3</sup> /h)
1 -2	1893	1.250

Dimensionado de equipos:

El volumen del reactor de precipitación vendrá dado por:

$$Vol (m^3) = \frac{Q (m^3/h) * T_r (min)}{60 (h/min)}$$

Donde:

Q: caudal, m<sup>3</sup>/h

T<sub>r</sub>: tiempo de retención, min

El volumen se calculará para el caudal máximo y medio y se tomará como resultado el mayor.

Volumen a Qmax. y Trmín:

$$Vol (m^3) = \frac{3.785 (m^3/h) * 1 (min)}{60 (h/min)} = 32 m^3$$

Volumen a Qmed y Tr máx.:

$$Vol (m^3) = \frac{2.500 (m^3/h) * 2 (min)}{60 (h/min)} = 42 m^3$$

Se coge el resultado mayor: 42 m<sup>3</sup>

Al tratarse de un equipo de sección cuadrada cada uno de los lados vendrá dado por:

$$L (m) = \sqrt[3]{Vol (m^3)}$$

Siendo:

L: lado del equipo, m

Vol: volumen, m<sup>3</sup>

$$L(m) = \sqrt[3]{42(m^3)} = 3,5 \text{ m}$$

Para garantizar la seguridad del proceso en todas condiciones se suelen sobredimensionar los equipos entre un 15-20% por lo que las nuevas dimensiones del equipo serían:

Volumen:

$$42 (m^3) + 18\% = 50 m^3$$

Lado de los equipos:

$$L(m) = \sqrt[3]{50(m^3)} = 3,7 \text{ m}$$

Además a la altura habrá que añadirla unos 50 cm para evitar las salpicaduras debidas a la agitación:

$$\text{Altura: } 3,5+0,5=4,2 \text{ m}$$

Tiempo de retención	1-2 minutos
Volumen	42 m <sup>3</sup>
Sección	Cuadrada
Lado	3,5 m
Agitadores	Velocidad lenta (menos de 200 rpm)

### Tanque de floculación

Son dos tanques de en paralelo, también con agitadores. Los agitadores se utilizan para el contacto entre los flóculos, la velocidad que se les da a los agitadores (menos de 0,8 m/s) evita la sedimentación de los flóculos en el tanque, y la rotura de los ya creados.

Las dimensiones de los tanques de floculación se calculan del mismo modo que los tanques de mezcla, pero en este caso se toman unos tiempos de retención de 10 y 20 minutos para caudal máximo y medio respectivamente:

Datos de partida:

#### REACTOR DE FLOCULACIÓN

Tr (min)	Qmax (m <sup>3</sup> /h)	Qmedio (m <sup>3</sup> /h)
----------	--------------------------	----------------------------

20 -10	1893	1.250
--------	------	-------

**Dimensionado de equipos:**Para caudal máximo:

$$Vol(m^3) = \frac{1893(m^3) \cdot 10(mdn)}{60h/mdn} = 315 m^3$$

Para caudal medio:

$$Vol(m^3) = \frac{1250(m^3) \cdot 20(mdn)}{60h/mdn} = 417 m^3$$

Se toma de nuevo el de mayor volumen, 417 m<sup>3</sup>. El tanque de floculación también es cubico, por lo que se calcula la longitud de cada lado:

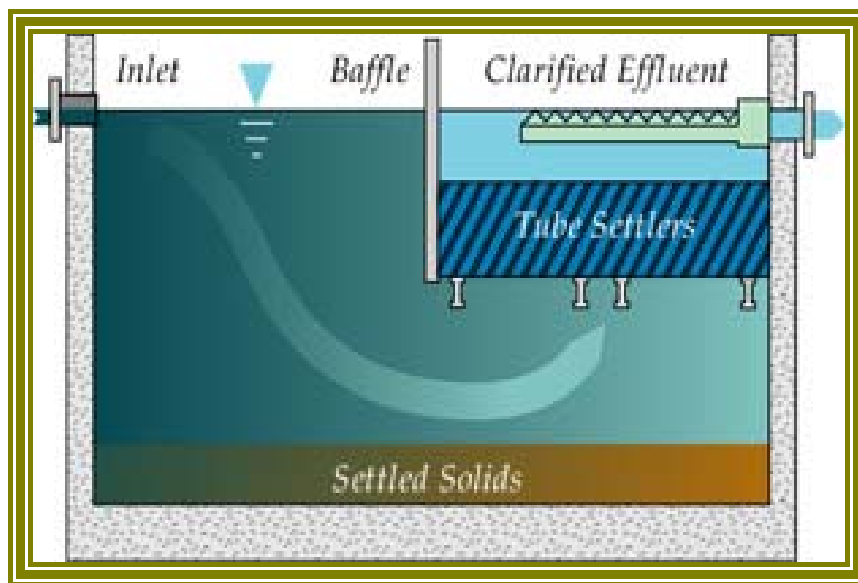
$$L(m) = \sqrt[3]{vol(m^3)}$$

$$L(m) = \sqrt[3]{417(m^3)} = 7,5 m$$

Tiempo de retención	10-20 minutos
Volumen	417 m <sup>3</sup>
Sección	Cuadrada
Lado	7,5 m
Agitadores	Menos de 0,8 m/s

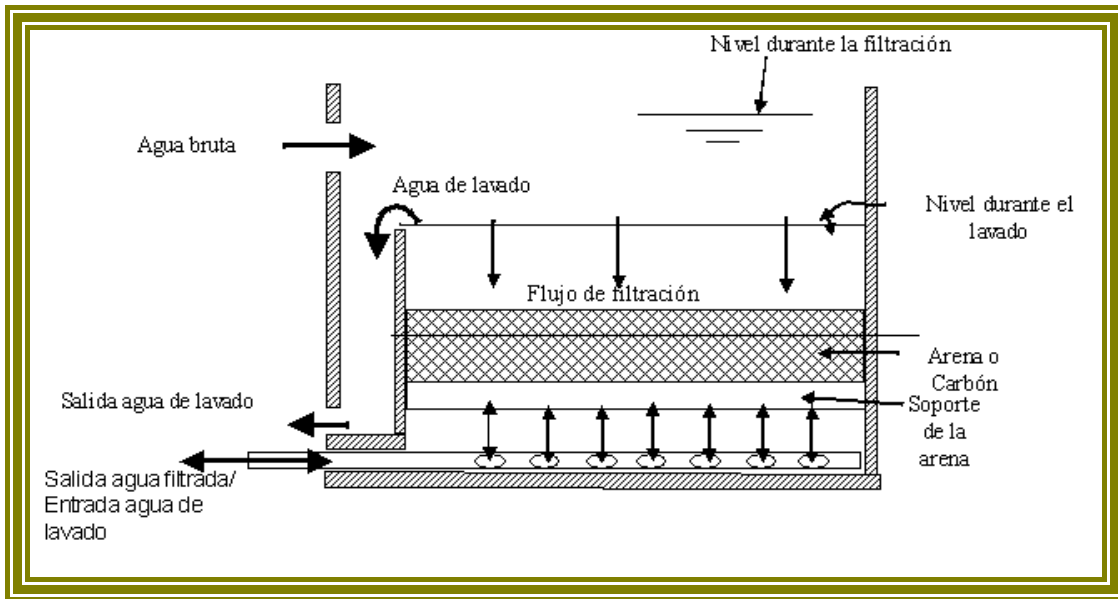
### Decantación:

Es un equipo que por un procedimiento físico separa los sólidos del agua, en un espacio de un tercio de lo que lo hace un clarificador convencional. Después de la floculación, estos sólidos reposan en las placas inclinadas y por gravedad resbalan al fondo. Pueden ser con fondo cónico o cilíndrico. Su construcción es acero al carbono con recubrimientos epóxicos internos y externos, o bien, acero inoxidable.



### Filtrado

Debido al tamaño de la instalación, se utilizan filtros horizontales, estos filtros tienen mayor superficie que los filtros verticales por lo que pueden tratar mayores caudales.



**Datos de partida:**

Filtros de arena		
C.H ( $m^3/(m^2 \cdot min)$ )	Qmax ( $m^3/h$ )	Qmedio ( $m^3/h$ )
6 – 8	3785	2.500

La superficie necesaria por lo tanto será:

$$S (m^2) = \frac{Q \left( \frac{m^3}{h} \right)}{60 \left( \frac{min}{h} \right) \times C.H \left( \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \right)}$$

Para Qmax y C.H max:

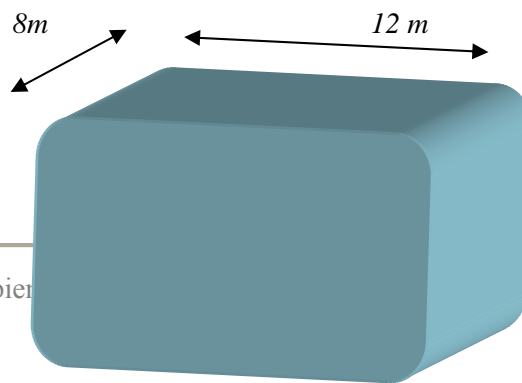
$$S (m^2) = \frac{3785 \left( \frac{m^3}{h} \right)}{60 \left( \frac{min}{h} \right) \times 8 \left( \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \right)} = 505 m^2$$

Para Qmedio y C.H max:

$$S (m^2) = \frac{2500 \left( \frac{m^3}{h} \right)}{60 \left( \frac{min}{h} \right) \times 6 \left( \frac{m^3}{m^2 \cdot h} \right)} = 250 m^2$$

Se toma la mayor superficie 505 m<sup>2</sup>.

Los filtros miden 8 metros de ancho y 12 metros de largo, por lo que la superficie de cada filtro es de



$$S (m^2) = 8 \times 12 = 96 m^2$$

*Por lo tanto el número de filtros necesarios son:*

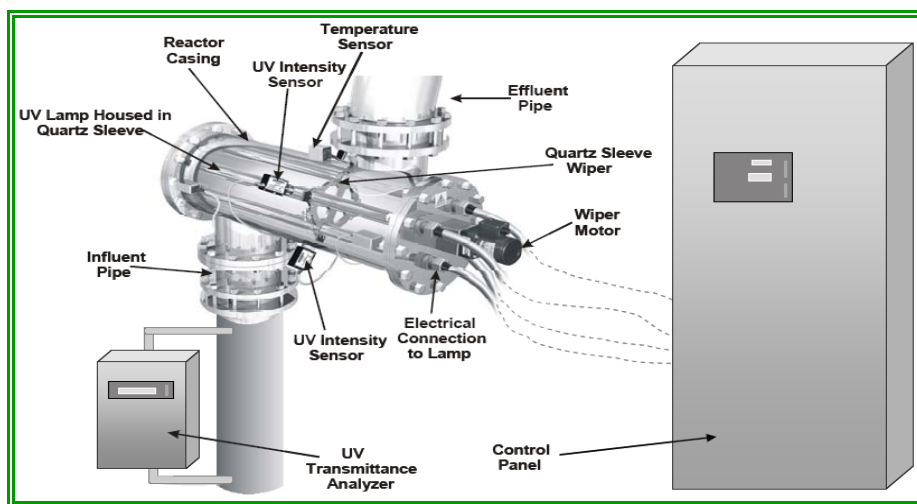
$$N^{\circ} \text{ de filtros} = 505/96 = 6 \text{ filtros}$$

*El lavado de los filtros se realiza con agua y aire a contracorriente.*



## Desinfección

Para el proceso de desinfección en este caso se utiliza la radiación ultravioleta. La radiación en este espectro (150-400 nm) produce un efecto germicida, ya que incide sobre el ADN de los microorganismos, lo modifica, y provoca una inhabilitación de la función reproductora. La ventaja de utilizar radiación ultravioleta, frente a otros desinfectantes como el cloro, es que el tiempo en producirse la reacción es muy breve (2 o 3 segundos).



### Parámetros de calidad tras la regeneración:

Tras la regeneración el agua tratada cumplirá una serie de parámetros de calidad, que dependiendo de su uso posterior serán más o menos restrictivos. En general se controlan los huevos de nematodos, las unidades formadoras de colonia de E.coli, la turbidez y los sólidos en suspensión.

El agua regenerada en este caso, se va a utilizar posteriormente para riego de campos de golf, por lo que cumplirá las siguientes condiciones exigidas por la legislación:

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
<b>4.- USOS RECREATIVOS</b>					
CALIDAD 4.1 <sup>1</sup> a) Riego de campos de golf.	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	OTROS CONTAMINANTES contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas deberá asegurarse el respeto de las NCAs. Si el riego se aplica directamente a la zona del suelo (goteo, microaspersión) se fijan los criterios del grupo de Calidad 2.3 <i>Legionella spp.</i> 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)