

# MEMORIA DESCRIPTIVA

---

## ÍNDICE MEMORIA DESCRIPTIVA

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>2. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL ÁMBITO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS .....</b>	<b>3</b>
<b>3. OBJETIVO DEL PROYECTO .....</b>	<b>4</b>
<b>4. DESCRIPCIÓN EDAR CONVENCIONAL .....</b>	<b>4</b>
4.1. Línea de Agua .....	5
4.1.1. Obra de llegada .....	5
4.1.2. Desbaste .....	5
4.1.3. Bombeo .....	5
4.1.4. Pretratamiento .....	5
4.1.5. Tratamiento primario .....	5
4.1.6. Tratamiento secundario.....	5
4.1.7. Tratamiento terciario.....	6
4.2. Línea de Fangos .....	6
4.2.1. Espesamiento .....	6
4.2.2. Acondicionamiento .....	6
4.2.3. Deshidratación .....	6
<b>5. DISEÑO PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CONVENCIONAL     (Planta CASO I) .....</b>	<b>7</b>
5.1. Características de la contaminación .....	7
5.2. Objetivos propuestos .....	8
5.3. Descripción de planta diseñada .....	8
<b>6. ESTUDIO CONSUMO ENERGÉTICO .....</b>	<b>13</b>
<b>7. MEJORAS PARA MAYOR EFICIENCIA ENERGÉTICA .....</b>	<b>14</b>
7.1. Diseño de la instalación .....	14
7.2. Operación de la EDAR .....	16
7.3. Mantenimiento de equipos e instalaciones .....	17
7.4. Sistemas de control. ....	17
7.5. Nuevos equipos de producción de aire.....	18
7.6. Otras posibilidades de ahorro energético .....	18

<b>8. TRATAMIENTOS NO CONVENCIONALES .....</b>	<b>19</b>
8.1. Gastos energético .....	20
8.2. Casos a estudio y tecnología aplicada .....	20
8.2.1. Planta CASO 2 .....	20
8.2.2. Planta CASO 3 .....	23

## 1. INTRODUCCIÓN

El constante avance tecnológico, junto con la mayor concienciación de la sociedad en la materia medioambiental, y la escasez de recursos energéticos, nos lleva a plantearnos el importante reto de optimizar el consumo energético en múltiples instalaciones, edificios (iluminación, electrodomésticos, calefacción...), e industria.

El objetivo común es, la reducción del consumo de energía en los diversos ámbitos. Esto carrea a la vez, una disminución de costes de explotación, promoviendo así la sostenibilidad ambiental, económica y política, manteniendo siempre los mismos servicios energéticos, sin disminuir el servicio, el confort, y asegurando el abastecimiento.

Para regular esta nueva tendencia, el 25 de Octubre de 2012, el Parlamento Europeo aprobó la Directiva 2012/27/UE, donde se establece un marco común, cuyo fin es fomentar la eficiencia energética dentro de la Unión, y definir acciones concretas para alcanzar el ahorro de energía deseado.

## 2. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL ÁMBITO DEL TRATAMIENTO DE AGUAS

Centrándonos en lo relativo a la depuración de aguas residuales, esta se realiza mediante una combinación de tecnologías de tratamiento (físico, químico y biológico), que se aplicaran según las características del agua residual a tratar.

Debemos distinguir según el origen de las aguas, entre tratamiento de aguas residuales urbanas y tratamiento de aguas residuales industriales, puesto que las diferencias entre ambos, llevan también a encontrar grandes diferencias de consumo, que no permite hacer una prospectiva común de tecnologías que permitan reducir el consumo eléctrico.

Si se estudia el consumo total de explotación de una planta, se observa que los costes de energía pueden llegar a suponer entre un 20- 45%, tal y como se refleja en la imagen 1.

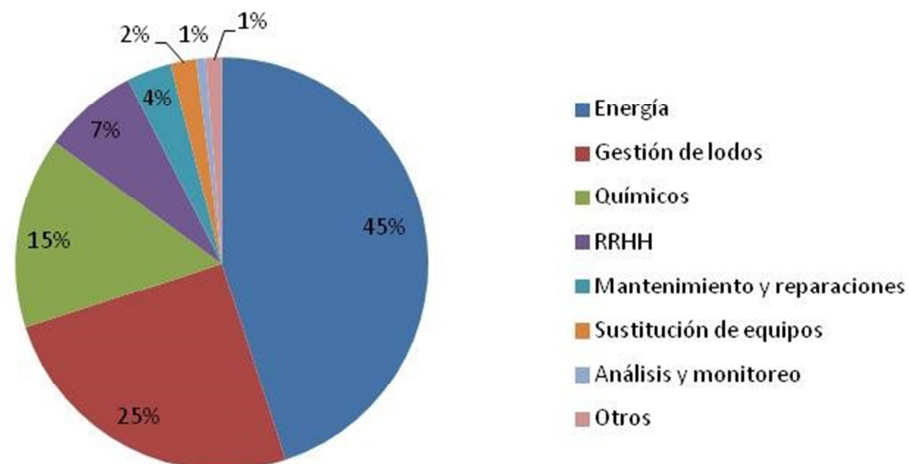


Imagen 1. Costes porcentuales de explotación de una EDAR

Datos obtenidos de <http://www.iagua.es/>

Este consumo dependerá en gran medida de las tecnologías empleadas, que a su vez viene determinada por distintos factores, entre los que cabe destacar:

- El tamaño de población servida
- La carga contaminante
- Los límites de vertido aplicables

El gasto suele desglosarse principalmente entre los arranques cíclicos de los equipos, el consumo de las impulsiones de bombeos, la necesidad de mantener la aireación de reactores, y en la falta de buen mantenimiento de las instalaciones.

Se tiene entonces la necesidad de realizar un adecuado diseño de las plantas, que permita alcanzar unos ratios energéticos adecuados en su posterior explotación.

También se han visto modificados los criterios de funcionamiento de ciertas EDAR, revisando sus necesidades de oxígeno, y la transferencia de este a la fase líquida, minimizando así la exigencia de aireación, implantándose sistemas de regulación de la aireación con software de control de procesos, o introduciendo equipos con una mayor eficiencia.

Al realizar el estudio energético individualizado de los distintos procesos de una EDAR, se puede determinar cómo contribuye cada uno al consumo global de la instalación, obteniendo finalmente un patrón de consumo, y cuáles son los factores que influyen sobre este. Con los datos aportados por este estudio, se puede determinar de manera general, que se consume en torno al 44% de energía en aireación, un 23% en deshidratación y un 33% en el pretratamiento.

### **3. OBJETIVO DEL PROYECTO**

En este caso abordaremos el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales convencional, para realizar un estudio de su consumo eléctrico, y posteriormente plantear posibles modificaciones, que lleven a una mejora en la eficiencia energética. Realizando finalmente, una comparativa con plantas de menor tamaño (menor nº de habitantes equivalentes) en las que se aplican tecnologías de depuración no convencionales.

### **4. DESCRIPCIÓN EDAR CONVENCIONAL**

Dentro de una Estación depuradora de Aguas residuales, podemos distinguir principalmente, dos líneas de tratamiento, las que denominamos, *Línea de Agua*, y *Línea de fangos*.

#### 4.1. Línea de agua

Está compuesta por las siguientes etapas tratamiento:

- 4.1.1. Obra de llegada:** tiene como función la recepción del agua residual, donde se eliminan los sólidos de mayor tamaño mediante el uso de reja manual, evitando así, posibles problemas en los tratamientos posteriores.
- 4.1.2. Desbaste:** el agua bruta recogida en la obra de llegada, pasa al canal o canales de desbaste, donde se eliminan los sólidos más finos.
- 4.1.3. Bombeo:** en el caso de que el colector de llegada del agua residual, se encuentra a una cota inferior a la necesaria, se debe instalar un sistema de bombeo que permita elevarla hasta la entrada de la planta, para que así una vez canalizada, el agua pueda verterse en mayor medida por gravedad. Este sistema de bombeo debe estar diseñado, para poder impulsar el caudal máximo a tratar. Suele instalarse un equipo de reserva, en caso de futuras averías, o mantenimiento de dichos equipos.
- 4.1.4. Pretratamiento:** comprende una gran variedad de operaciones físicas, cuya finalidad es retirar del agua, arenas y grasas (desarenado y desengrasado). Como dato orientativo, en esta etapa, se eliminan los sólidos cuyo tamaño es superior a 200  $\mu\text{m}$ , y la mayor parte de las grasas.
- 4.1.5. Tratamiento primario:** en el que se incluye la Decantación primaria. Su cometido principal es eliminar los sólidos en suspensión, por acción de la fuerza gravitatoria. En esta unidad de la EDAR, se llega a retirar hasta un 65% de los sólidos en suspensión que se encuentran en el agua, acarreado a su vez, la eliminación del 35% de la  $\text{DBO}_5$ , puesto que en la composición de estos sólidos eliminados hay materia orgánica. Los fangos retirados en la decantación primaria, también conocidos como, Fangos Primarios, son recogidos y pasan posteriormente a su correspondiente línea de tratamiento.
- 4.1.6. Tratamiento secundario:** está compuesto, por dos unidades, *reactor biológico* y *decantador secundario*, que deben entenderse como un único conjunto. En esta parte de la planta, se trata el agua procedente del tratamiento primario, más el agua recirculada del decantador secundario.
  - **Reactor biológico:** la materia orgánica que queda en el agua tras el tratamiento primario, es eliminada en un proceso biológico, denominado Fangos Activos, mediante la intervención de microorganismo, y sus reacciones de síntesis y oxidación. Para que esto se lleve a cabo, debemos realizar dentro de esta unidad, un aporte de oxígeno, mediante la instalación de soplantes y difusores.

- **Decantador secundario:** durante el recorrido del agua por el reactor biológico, se produce una agregación de bacterias floculantes, que en conjunto con el agua, componen el conocido como Licor mezcla. En esta unidad de tratamiento, se separan ambas fases del licor mezcla, mediante la sedimentación del fango en el fondo del mismo decantador.

El agua clarificada pasa por rebose, a las siguientes unidades de tratamiento, mientras que los fangos se extraen de forma continua, reenviando parte a la cabecera del reactor biológico (recirculación para mantener concentración adecuada de sólidos), y otra cantidad que pasa a la línea de fangos.

**4.1.7. Tratamiento terciario:** consiste en la desinfección del agua, llevando entonces a la eliminación de patógenos, evitando así el riesgo de posibles epidemias.

#### **4.2.Línea de fangos**

En esta línea, se realiza el tratamiento de los fangos generados en la decantación primaria, así como los recogidos en exceso tras el tratamiento secundario.

Suele estar compuesto de las siguientes unidades:

**4.2.1. Espesamiento:** haciendo uso de centrifugadoras, se elimina gran parte del agua contenida en el fango, llevando a una disminución considerable del volumen.

**4.2.2. Acondicionamiento:** el agua que acompaña a los fangos, puede encontrarse libre o ligada a otras partículas. El objetivo en este caso, es romper la estabilidad coloidal, y aumentar artificialmente el tamaño de las partículas. El hecho de realizar un buen acondicionamiento del fango, nos puede llevar a obtener mejores rendimientos en la deshidratación.

**4.2.3. Deshidratación:** se trata de eliminar los fangos de la manera más práctica y menos costosa posible, aumentando el porcentaje de materia seca, y reduciendo su volumen al máximo. Se consiguen entonces fangos con un 20-40% en peso de materia seca.

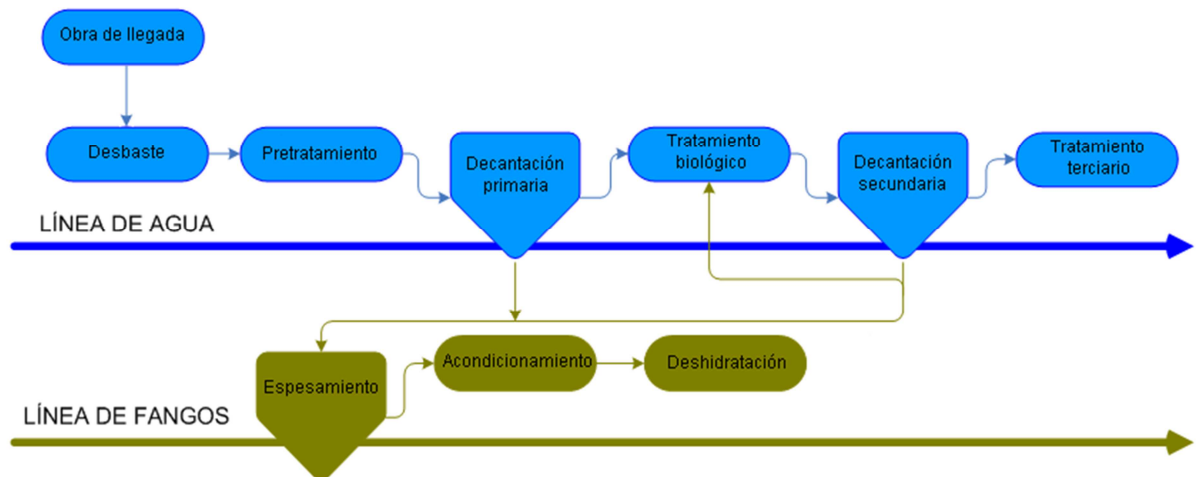


Imagen 2. Croquis EDAR

## 5. DISEÑO PLANTA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES CONVENCIONAL (Planta CASO 1)

Con vistas a poner en práctica diferentes métodos de ahorro energético, ajustándonos lo máximo posible a la realidad, se realiza el diseño de la Planta CASO 1 (detallado en la *Memoria de Cálculo*), y que sigue el esquema desarrollado en el punto anterior. Esta EDAR, con un tamaño medio-grande, viene definida según las siguientes características:

- Población equivalente:..... 75000 hab.eq. (60gDBO<sub>5</sub>/hab.Eq./d)
- Caudal de tratamiento diario..... 15000 m<sup>3</sup>/d
- Caudal medio..... 625 m<sup>3</sup>/h
- Caudal punta..... 1075 m<sup>3</sup>/h
- Caudal máximo..... 1103 m<sup>3</sup>/h
- T<sup>a</sup> mínima del reactor biológico..... 12°C
- T<sup>a</sup> máxima del reactor biológico..... 25°C

### 5.1. Características de la contaminación

Las características del vertido de aguas residuales doméstico, se define por lo siguientes parámetros:

- DBO<sub>5</sub>: ..... 300 mg/l.
- DQO: ..... 750 mg/l.
- M.E.S: ..... 350 mg/l.
- Aceites y grasas:..... 122 mg/l.
- N (\*):..... 60 mg N/l.
- P (\*):..... 11 mg N/l.



## 5.2. Objetivos propuestos

Según la Directiva 91/271/CEE, y su transposición al Derecho español, contenida en el Real Decreto-Ley 11/1995, el R.D. 509/1996, que lo desarrolla, y el R.D. 2116/1998 que modifica el anterior, que definen los sistemas de recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas; las características a cumplir por el agua efluente de la EDAR son las indicadas a continuación:

- DBO<sub>5</sub>: ..... 25 mg/l.
- DQO: ..... 125 mg/l.
- M.E.S: ..... 35 mg/l..
- Aceites y grasas:..... 6 mg/l.

No contemplamos en este caso la eliminación de nitrógeno o fósforo, puesto que consideramos la instalación de la planta en una zona no sensible, no siendo entonces un tratamiento exigido.

## 5.3. Descripción de planta diseñada

Partiendo de los datos anteriores, con el objetivo de conseguir la reducción de los contaminantes del agua, en el grado exigido por la normativa y siguiendo el esquema planteado en el punto 4, la EDAR diseñada consta de los siguientes elementos:

- ❖ Obra de llegada: el agua recogida entra a la planta por un único canal con un ancho de 1'40 m, y un calado de 0'25 m.

<i><b>PARÁMETRO</b></i>	<i><b>VALOR</b></i>
Ancho	<b>1,40 m</b>
Calado	<b>0,25 m</b>

Tabla 1. Dimensiones Canal de llegada

Tras el canal de llegada a planta, se encuentra instalado un pozo de gruesos, con su correspondiente reja, que permite retirar los sólidos de mayor tamaño del agua. Las dimensiones de este pozo son 4'84x3'23x1'67m, con una reja cuyos barrotes miden 12 mm y se encuentran distanciados entre sí, por 80 mm.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Largo	<b>4,84 m</b>
Ancho	<b>3,23 m</b>
Profundidad	<b>1,67 m</b>

Tabla 2. Dimensiones Pozo de gruesos

Los residuos generados en esta parte de la instalación son recogidos por una cuchara bivalva, que los deposita en un contenedor de capacidad 0'5m<sup>3</sup>.

Se instala un aliviadero lateral, que permite la recirculación del agua en exceso a la cabecera de la planta, y cuya longitud total es de 1'59m.

El posterior bombeo y elevación del agua, hasta la cota de inicio del tratamiento, se realiza mediante bombas tipo Tornillo de Arquímedes. En vistas a posibles sobrevenidas de agua, averías y/o mantenimiento, se instalan 5 bombas, de las cuales en caso del caudal medio estipulado, se encuentran en funcionamiento 2, con un caudal de impulsión seleccionado de 360m<sup>3</sup>/h.

- ❖ Desbaste: tras la elevación del agua, esta pasa a los canales de desbaste. En el caso de la EDAR CASO 1, encontramos 2 canales, del que solo se encuentra en uso 1. Las dimensiones calculadas son 2'36x0'30m

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Largo	<b>2,36 m</b>
Calado	<b>0,30 m</b>

Tabla 3. Dimensiones Canal de Desbaste

A lo largo de este canal de desbaste se instalan dos láminas, una para el desbaste de gruesos (con barrotes de 12mm, y luz de 30mm), y un tamiz, para el desbaste de finos (barrotes de 3mm y 3mm de luz).

El método de recogida de residuos varía entre ambas láminas: cinta transportadora en el caso del desbaste de gruesos, y tornillo de hélice hueca para el desbaste de finos.

Todos estos residuos son recogidos en un contenedor cuya capacidad de almacenamiento es de 5m<sup>3</sup>.

- ❖ Pretratamiento: consta del canal de tratamiento de desarenado y desengrasado de las aguas. Esto se realiza en 2 canales, en los cuales se encuentran instalados difusores, que mediante soplantes, inyectan aire al

agua, manteniendo el movimiento de las aguas dentro de los canales, y fomentando la separación de la materia orgánica de las partículas de arena. Las dimensiones del canal, 12'79x4'07x3'26 m.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Largo	<b>12,79 m</b>
Ancho	<b>4,07 m</b>
Altura total	<b>3,26 m</b>

Tabla 4. Dimensiones Pretratamiento.

La extracción de arenas se realiza mediante 1 bomba, con un canal unitario de impulsión de al menos 62,5m<sup>3</sup>/h. Una vez retiradas las grasas de los canales pasan al desengrasador, cuyas dimensiones son 1'34x2'01x1'15m, para llevarlas finalmente al correspondiente contenedor.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Largo	<b>1,34 m</b>
Ancho	<b>2,01 m</b>
Altura total	<b>1,15 m</b>

Tabla 5. Dimensiones desengrasador

- ❖ Decantador primario: se encuentran instaladas en la planta, 2 unidades previas al reactor biológico.

Los decantadores instalados son circulares de rasquetas. Las dimensiones unitarias calculas para los decantadores, en función del caudal medio, y el tiempo de retención, son, diámetro 16'29m, con una altura recta de 3'75m.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Diámetro	<b>16,29 m</b>
Altura	<b>3,75 m</b>

Tabla 6. Dimensiones Decantador primario

Los fangos recogidos en esta instalación pasan a tratamiento en la Línea de Fangos, donde se mezclan con los fangos en exceso del tratamiento secundario.

- ❖ Reactor biológico: en el presente diseño, se considera que no se elimina nitrógeno, ni fósforo, por lo cual realizamos el cálculo del reactor biológico de media carga, sin nitrificación, ni desnitrificación.

El suministro de aire se realiza mediante soplantes, instalándose 2, de los cuales solo se encuentran en funcionamiento simultáneo 2. El aire es inyectado en el agua mediante domos difusores de membrana de 178mm de diámetro. En este caso los reactores instalados y en funcionamiento coinciden en número, por lo tanto tenemos 2 unidades en uso.

Las dimensiones unitarias de diseño obtenidas en este caso son 4'50x12x31'19m.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Altura	<b>4,50 m</b>
Ancho	<b>12 m</b>
Longitud	<b>31,19 m</b>

Tabla 7. Dimensiones Reactor biológico

Se considera una recirculación del 200%, dado que aunque el uso normal es de entre el 150-175%, se necesita un sobredimensionamiento que permita el tratamiento de aguas de mayor contaminación. En el bombeo de recirculación, se instala un conjunto de 3 bombas, donde solo 2 de ellas se encuentran en funcionamiento en el uso normal de la planta, impulsando un caudal unitario de 625m<sup>3</sup>/h.

- ❖ Decantador secundario: se decide instalar el mismo tipo de decantador que el del tratamiento primario, es decir, circular de rasquetas. Las dimensiones, son diámetro de 23'84 m, con una altura recta de 2'10m. El número de unidades instaladas coincide con el número de reactores biológicos, siendo siempre igual o mayor, para evitar problemas de conducción y recogida desde la salida de los reactores, hasta el decantador.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Diámetro	<b>23,84 m</b>
Altura	<b>2,10 m</b>

Tabla 8. Dimensiones Decantador secundario

- ❖ Desinfección: la desinfección de las aguas se realiza mediante una instalación discontinua automática de hipoclorito, y que regula la dosificación en función del caudal a tratar. La bomba dosificadora, es un pistón de membrana hidráulica con válvula de seguridad.

Se diseña la instalación con 2 bombas, aunque solo mantenemos en uso simultáneo una, con un caudal de impulsión de 45 l/h. La dilución se realiza mediante un rotámetro.

El canal de cloración, es de tipo laberinto, compuesto por 5 canales, cuyas dimensiones son, 1'5m de anchura, 1'25m de profundidad, y una longitud de 66'67m.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Ancho	<b>1,5 m</b>
Profundidad	<b>1,25 m</b>
Altura	<b>66,67 m</b>

Tabla 9. Dimensiones Canal de cloración

- ❖ Bombeo fangos: debemos instalar una bomba que nos permita desplazar a lo largo de la planta, los fangos recogidos de la decantación primaria, 1.837'50 kg, y los fangos en exceso procedentes del tratamiento biológico 2.403'01 kg, en total 4.241 kg. En volumen: 707 m<sup>3</sup>/día.
- ❖ Espesamiento: para poder realizar el tratamiento de los fangos, instalamos en la planta un espesador circular de rasquetas, que actúa por gravedad.

Conociendo la cantidad, y el volumen de fangos a tratar, se dispone que las dimensiones de dicho espesador son, diámetro de 13'69m y altura de 5m.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Diámetro	<b>13,69 m</b>
Altura	<b>5 m</b>

Tabla 10. Dimensiones Espesador

- ❖ Acondicionamiento: en la EDAR diseñada, se decide realizar este tratamiento mediante polielectrolito catiónico. La preparación y dosificación de la mezcla diluida es llevada a cabo por un sistema automático compacto, se instala una unidad.
- ❖ Deshidratación: los fangos son recogidos de la unidad anterior, por un tornillo helicoidal, del cual instalamos 2 unidades, aunque una queda en reserva. El destino de los fangos, es una de las 3 unidades de centrifugación, que se utiliza para deshidratación de los fangos. La regulación de estos deshidratadores, es automática.

Una vez deshidratados, los fangos pasan mediante cinta transportadora a una tolva de almacenamiento, con capacidad de almacenamiento adoptado de 50m<sup>3</sup>, lo que corresponde a 2 días.

## 6. ESTUDIO CONSUMO ENERGÉTICO

Tal y como se detalla en la *Memoria de cálculo* del presente proyecto, tras realizar el diseño de la planta *CASO I*, con los datos de partida indicados, y con el objetivo de obtener un efluente depurado que cumpla las normativas vigentes, se puede realizar un estudio somero del consumo eléctrico.

Para ello se toman en consideración diversos datos de consumo de las distintas instalaciones registrados en el estudio de diversas plantas, realizado por el Grupo TAR.

Con estos datos de consumo, siendo además conocido el número de unidades instaladas, y el de unidades en funcionamiento en la planta diseñada, y estipulando el nº de horas en funcionamiento de cada una de estas unidad, se obtiene el que será el consumo energético total de la planta.

El resumen es el indicado en la tabla 11:

<b>RESUMEN</b>	<b>Consumo diario kWh/día</b>
PRETRATAMIENTO y BOMBEO	1.437,44
DECANTACION PRIMARIA	53,66
REACTOR BIOLOGICO Y DESHIDRATACION	3442
DECANTACION 2ª y DESINFECCION	448
SERVICIOS GENERALES	177,90
<b>TOTAL</b>	<b>5.558,55</b>

Tabla 11. Resumen Consumo energético

En la imagen a continuación, se indica el estudio porcentual del consumo eléctrico en cada parte de la planta, en función de los datos anteriores. Como se puede observar, los mayores porcentajes de consumo en la instalación *CASO I*, se produce en aquellos conjuntos que tienen incluidos los consumos del reactor biológico y el bombeo.

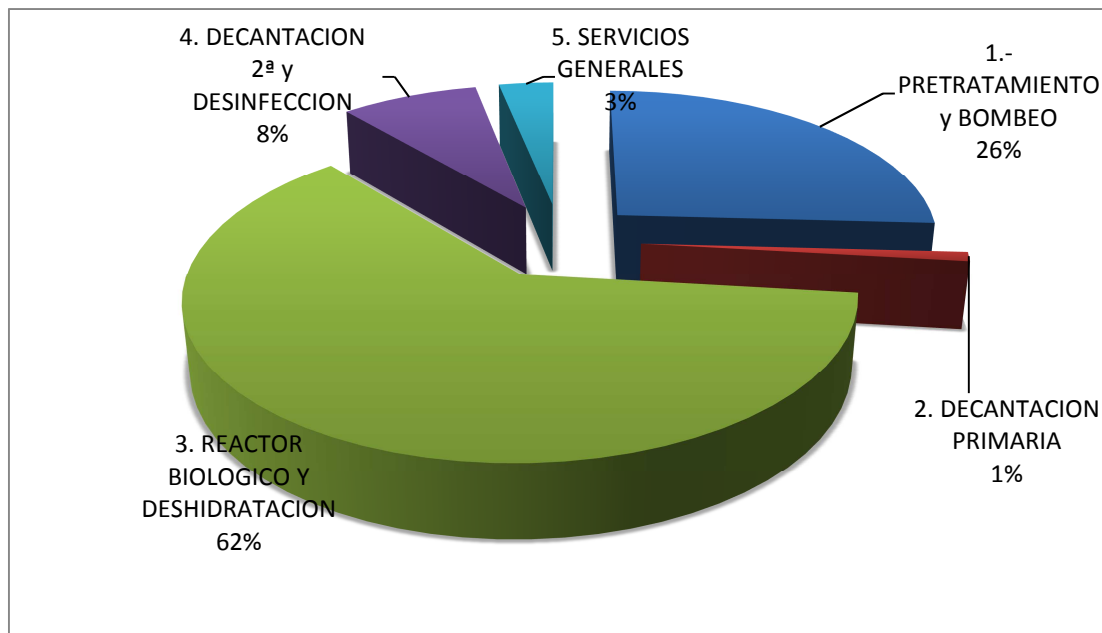


Imagen 3. Estudio porcentual del Consumo eléctrico en la planta *CASO 1*

Con este consumo total calculado en el diseño, se pueden estipular los siguientes parámetros, que permitirán realizar la comparación con el consumo de otras plantas.

- Coeficiente “consumo/agua tratada” =  $\frac{\text{Consumo}}{\text{Caudal de tratamiento}} = \frac{5.558,55}{15000} = 0,37 \frac{kWh}{m^3}$
- Rendimiento =  $\frac{\text{Consumo}}{\text{Contaminación eliminada}} = \frac{5.558,55}{4125,15} = 1,35 \frac{kWh}{kg DBO_5}$

El coeficiente y rendimiento calculados, que definen en algún modo el correcto diseño y estudio energético de la planta, se encuentra dentro de los valores normales de estudio del consumo de diversas plantas estudiadas dentro Grupo TAR.

## 7. MEJORAS PARA MAYOR EFICIENCIA ENERGÉTICA

### 7.1. Diseño de la instalación

El diseño de la estación depuradora marca desde el inicio la capacidad de optimización, en la posterior etapa de operación, ya que si bien es cierto, que es necesario tener presente durante el desarrollo de los cálculos el posible crecimiento progresivo posterior de la carga a tratar, o los coeficientes de seguridad para puntas de caudal o carga, esto puede llevar al sobredimensionamiento de la EDAR, que no permite alcanzar el mínimo consumo energético. Entre los factores que es necesario tener en cuenta durante el diseño de la instalación:

- Definir la capacidad de los equipos según la demanda real del sistema, ya que es habitual, que en ciertas plantas se realice el diseño con un caudal por encima del real. Esto conlleva la instalación de equipos que operan con cargas de trabajo inferiores a las de diseño, llevando esto a un rendimiento menor. Un ejemplo claro, se observa en los equipos de bombeo, en los que si hay un sobredimensionamiento, el consumo puede ser incluso mayor, por lo que es necesario considerar la instalación de equipos de potencia escalonada, que permita abarcar hasta los caudales punta esperados, pero simultáneamente permita optimizar el consumo energético diario, al operar con equipos de menor potencia, que están trabajando en su punto óptimo de funcionamiento.
- Modularidad de la instalación, esto viene a indicar, que es necesaria la instalación de varios equipos de menor potencia, que permitan adecuar su funcionamiento según la variabilidad de las cargas de entrada. Esto puede conllevar un mayor coste en la fase de construcción, pero luego durante la fase de explotación, se evita el sobrecoste de los equipos cuya capacidad cubre las necesidades globales de la explotación. Esto puede aplicarse en la línea del tratamiento biológico, llevando a la instalación de varias líneas de tratamiento, de distintos tamaños, que permitan amoldar su uso, a las características del agua a tratar.
- Dado que la mayor parte del consumo de las instalaciones, se produce en las instalaciones de aireación, se debe mantener el aporte de oxígeno requerido, pero reduciendo el caudal de aire necesario. A medida que aumenta el caudal de aire alimentado por cada difusor, disminuye la eficacia de transferencia, ya que aumenta el tamaño de la burbuja aportada, y en consecuencia la pérdida de carga. Nos interesa entonces, aumentar el nº de difusores en los reactores, pero que estos operen con un caudal unitario en condiciones medias de  $1,5\text{-}2 \text{ Nm}^3/\text{h}$ . Esto acarrea también como consecuencia, un mejor aprovechamiento del aire por las bacterias, que reciben de manera más homogénea el oxígeno, que en los casos en los que el suministro se realiza por picos de caudal.
- Cobra importancia también los materiales seleccionados, que al igual que en cualquier instalación deben adecuarse a las condiciones ambientales, y a las características de trabajo. En los procesos de depuración, donde se trabaja en presencia de agua, así como con posibles terrenos y gases agresivos, es posible un deterioro más rápido de los equipos de la instalación. Esto trae como consecuencia, una bajada del rendimiento en su operación, aumentando el consumo energético de la instalación.



## 7.2. Operación de la EDAR

Dentro de la operación de cualquier EDAR, una de las instalaciones que acarreen un mayor consumo, y sobre las que hay que realizar un mayor esfuerzo para su optimización, es la aireación.

Una de las posibles mejoras en la operación de esta instalación, es la minimización del requerimiento de oxígeno por parte de los microorganismos. El requerimiento de oxígeno por parte de los microorganismos, se divide en la suma de dos procesos (síntesis celular + respiración endógena). El primer factor viene impuesto como consecuencia de las características del agua a tratar, por lo cual, el segundo término de esta suma, es sobre la cual se tiene capacidad de actuación.

La capacidad de minimizar el requerimiento de oxígeno en la respiración endógena, se consigue modulando la Edad del Fango de trabajo, es decir, la concentración de sólidos en el reactor biológico.

- La modificación de la Edad del Fango, depende normalmente de la temperatura. La concentración de sólidos dentro del reactor biológico disminuye conforme aumenta la temperatura, reduciéndose el consumo de la respiración endógena por ende. Esto trae como consecuencia una disminución del consumo de energía.

Entonces, para definir si se trabaja a Edad de fango fija o variable, se debe conocer el coste de la energía eléctrica y de la gestión del fango. Cuando los gastos de gestión del fango sean elevados, es conveniente trabajar a una Edad de fango fija, mientras que en caso contrario, es adecuado operar con una Edad de fango, que varíe en función de la temperatura.

- Minimizar el caudal de aire a suministrar al sistema para que los microorganismos dispongan del oxígeno requerido, es otra posible modificación en el proceso de operación, que lleva a una mejora en la eficiencia energética.

Si existen en la planta, varias líneas de tratamiento biológico, es preferible su uso, aunque este no sea estrictamente necesario, ya que así, se estaría llevando a cabo el uso de un mayor número de difusores, y también, se realizaría un reparto de la biomasa requerida, que supondría una menor concentración en cada reactor. Esto influye de manera positiva sobre el factor que relaciona la transferencia de oxígeno en el fango activado, y la transferencia en agua destilada, conocido como factor  $\alpha$ .

Esta posible mejora en la eficiencia de la aireación del tratamiento biológico, en función del nº de líneas en operación, dependerá también del consumo de los impulsores del corriente instalados en cada caso.

### **7.3. Mantenimiento de equipos e instalaciones**

El rendimiento de cualquier equipo disminuye, conforme discurre su ciclo de vida útil. Esto se debe principalmente a los desgastes mecánicos, los fenómenos de oxidación, las posibles incrustaciones, y otros posibles deterioros sufridos por dichos equipos durante su operación.

Es por esto, que el mantenimiento de los equipos instalados, es determinante sobre el buen funcionamiento de los procesos de la EDAR, y por tanto sobre la capacidad de optimización energética de esta.

Tal y como se ha indicado con anterioridad, el mayor porcentaje de consumo en una EDAR, se produce en la operación de los procesos biológicos. Por esto es de suma importancia, que tanto los equipos de suministro, como los elementos distribuidores del aire, se encuentren en condiciones óptimas de mantenimiento.

Es muy importante, a su vez, realizar un control exhaustivo sobre la pérdida de carga de los sistemas de aireación, compuesto por soplantes y difusores, manteniéndolos en buenas condiciones de limpieza, puesto que a mayor ensuciamiento de estos, se aprecia aumentos en la pérdida de carga. Barajando entre las distintas posibilidad, se puede considerar, bien la limpieza mecánica o la limpieza química (aplicación de ácido débil, con alta biodegradabilidad). Indistintamente ambas consiguen la función que se les requiere, aunque la limpieza química desde el punto de vista operacional, es más sencilla y rápida.

No se debe obviar en este mantenimiento, la gran importancia de este, sobre los equipos electromecánicos, y sobre su rendimiento. Una bomba de agua residual puede presentar una rápida pérdida de rendimiento, debido a holguras y desgastes asociados a su funcionamiento. El realizar una correcta actuación, sobre estos elementos de desgaste, puede permitir recuperar el rendimiento hidráulico de dicha bomba, y mantenerla en servicio, pues se evitara así, averías que la dejen fuera de uso.

El correcto mantenimiento, lleva asociado un desembolso económico de forma periódica, sin embargo, a largo plazo, el coste asociado a realizar actuaciones correctivas, junto con la menor eficiencia de los equipos, hacen que se considere interesante mantener el esfuerzo preventivo sobre estos equipos.

### **7.4. Sistemas de control**

Los sistemas de control instalados en la planta depuradora, tendrá una gran influencia, tanto en el seguimiento, y aseguramiento de que se cumplen con los estándares de calidad en el agua efluente obtenida, como en la eficiencia energética. Una de las funciones principales de estos sistemas, será el control sobre cuando entran en funcionamiento los equipos de aireación.

Las posibilidades de control son variadas, desde las más rudimentarias, que se basan en temporizaciones de marcha y paro en los equipos, pasando por sondas, llegando en la actualidad a equipos mucho más complejos y potentes, como se consideran los sistemas, Plataforma ATL o Sistema Nipho.

### **7.5. Nuevos equipos de producción de aire**

Como se ha venido indicando hasta el momento, los equipos de aireación, son los que suponen un mayor consumo en las EDAR, por ello, se considera, como un punto más en el estudio de posibles mejoras para la optimización del consumo energético, la instalación de nuevos equipos de producción de aire.

En la planta a estudio, se encuentran instaladas soplantes, los equipos instalados más habitualmente, en depuradoras de tamaño medio-grande.

En la actualidad, se han presentado en el mercado alternativas, que pretenden ser más eficientes, y con mejores prestaciones que las aportadas por los equipos tradicionales.

Entre estos nuevos equipos destacan los turbos de levitación magnética, que tienen mayor compacidad, un menor índice de contaminación acústica, un menor coste de mantenimiento, así como un mayor rendimiento energético.

Su funcionamiento está basado en la teoría del electromagnetismo. Los electroimanes, son alimentados por una fuente de corriente alterna, que con el paso de la corriente, generan una fuerza magnética repulsiva, que hace que el rotor se mantenga levitando. La alimentación de los electroimanes, y la fuerza magnética, se encuentra regulada por un sistema de sensores, que permite calcular la posición del rotor, y según sea esta, aplicar mayor o menos potencia, para mantener el rotor en la posición óptima de funcionamiento.

### **7.6. Otras posibilidades de ahorro energético**

Para finalizar cabe citar otras posibles medidas que conllevan un ahorro en el consumo eléctrico de la EDAR:

- Realizar un estudio del consumo de la planta en las franjas horarias, intentando instaurar en aquellas en las que el precio de la electricidad es menor aquellas operaciones que acarreen consigo un mayor consumo, como serían las instalaciones con altos picos de arranque, y consumo durante el funcionamiento, por ejemplo las deshidratadoras de fangos, así como de forma inversa, durante los periodos en los que la energía tiene precios más elevados, reducir el número de instalaciones operativas,

desplazando la demanda a periodos con menor coste. Todo esto irá siempre supeditado a que las condiciones de la planta lo permitan.

- Enviar los reboses de centrífuga y espesadores, al reactor biológico, en lugar de a la cabecera de planta, evitando el consumo de energía del desplazamiento de estos, que finalmente pasaran de nuevo por el reactor biológico.
- Centrífugas trabajando con la mayor carga de sólidos posibles, siempre que las condiciones de operación lo permitan, y no se empeore la sequedad final de fangos obtenida. O bien intentar concentrar los fangos lo máximo posible en los decantadores, llegando a valores de recirculación inferiores al 50%.
- Considerar la posibilidad de suministro de apoyo, mediante energías alternativas, como serían la energía eólica y solar.

## 8. TRATAMIENTOS NO CONVENCIONALES

Es usual, que cuando se pretende implantar un sistema de tratamiento de aguas residuales en pequeños núcleos de población, el diseño realizado sea simplemente una modelo a escala reducida de las grandes plantas de tratamiento.

Esta manera de actuar, lleva a que las estaciones depuradoras de las pequeñas aglomeraciones urbanas, tengan altos consumos energéticos, costes de explotación, y de mantenimiento, no siendo asumible por parte de las administraciones locales.

Se precisan entonces actuaciones que permitan compaginar las condiciones exigidas al efluente depurado, con técnicas de funcionamiento simple, que lleven consigo costes de explotación y mantenimiento asumibles y presenten un gasto energético mínimo

Las tecnologías que reúnen estos requisitos, se conocen como *Tecnologías no convencionales*.

En comparación con las tecnologías convencionales, las no convencionales requieren actuaciones de bajo impacto ambiental, lográndose una reducción de la carga contaminante, manteniendo unos costes de operación, inferiores, y con un mantenimiento más sencillo desde el punto de vista técnico.

A la hora de la explotación, las tecnologías convencionales, actúan a velocidades aceleradas, lo que implica un alto consumo de energía, sin embargo, las tecnologías no convencionales operan a velocidad natural, sin aporte de energía.

Aunque lleven consigo un menor consumo energético, se debe tomar en cuenta, que las tecnologías no convencionales será necesario disponer de una mayor superficie de tratamiento.

## 8.1. Gasto energético

Como se ha indicado en puntos anteriores, en las tecnologías convencionales el coste energético supone aproximadamente un tercio de los costes totales de explotación y mantenimiento. Este coste varía de forma inversamente proporcional al tamaño de la planta, pudiendo ser en plantas pequeñas 6-7 veces mayor que en plantas grandes.

En el tratamiento convencional, la aireación puede llegar a suponer casi un 75% del consumo total de la planta, mientras que en las tecnologías no convencionales se recurre a métodos naturales de oxigenación de las aguas a tratar, que llevan asociados costes de operación nulos o reducidos.

Comparando ambas posibilidades, vemos una significativa reducción del consumo cuando se decide implantar las tecnologías no convencionales. Sin embargo uno de las desventajas o inconvenientes de este tipo de tratamientos naturales, es que requieren mayores superficies de implantación, para contrarrestar las menores velocidades de transferencia de oxígeno.

## 8.2. Casos a estudio y tecnología aplicada

Tomando como otros casos de estudio dos poblaciones de tamaño inferior a la diseñada en el punto 5, y las consideraciones de aplicación de tratamientos no convencionales pequeños núcleos urbanos, por su menor consumo, se tiene que:

### 8.2.1. Planta CASO 2:

- Población equivalente:.....5000 hab.eq. (60gDBO<sub>5</sub>/hab.Eq.)
- Caudal de tratamiento diario.....1000 m<sup>3</sup>/d.

Se decide implantar el tratamiento mediante lechos bacterianos, cuyo rango de uso es igual o inferior a 5000 habitantes equivalentes.

La planta en este caso no difiere mucho en esquema de las *Tecnologías Convencionales*, debe contar con un pretratamiento (incluyendo obra de llegada, desbastador, desengrasado y desarenado) un decantador primario, el lecho bacteriano, al que le podemos anexar un decantador secundario, y finalmente tratamientos de desinfección.

En las estaciones depuradoras diseñadas con Lechos Bacterianos, el esquema anteriormente referido, puede verse modificado si se sustituye el Tratamiento Primario por Tamizado o Lagunas anaerobias.

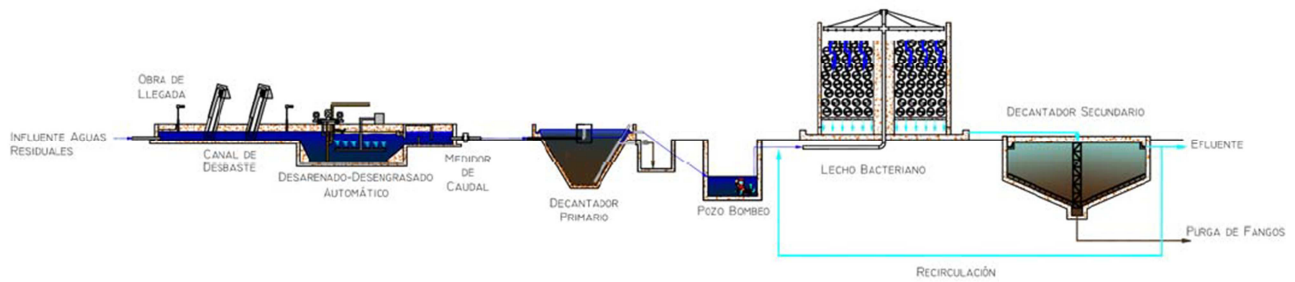


Imagen 4: Diagrama de flujo de instalación de Lechos Bacterianos

El tratamiento mediante lecho bacteriano, también conocido como filtro percolador, consiste en un depósito, normalmente de forma cilíndrica y abierto por la parte superior, donde se introduce un relleno con alta superficie específica (de origen natural o plástico), sobre el cual se desarrolla una capa de microorganismos de espesor variable, denominado biopelícula, y a través de la cual discurre el agua residual de manera transversal por goteo.

Para el correcto funcionamiento es necesario que haya aire entre los huecos del medio de soporte, que permite la correcta oxigenación de la biopelícula que se desarrolla adhiriéndose al material soporte. Como método para asegurar esta ventilación, se incluyen unas ventanas en la parte inferior del depósito, produciéndose la ventilación de manera natural por efecto de la diferencia de temperatura, entre el interior y el exterior del lecho.

Una vez el agua residual ha atravesado el lecho, se recoge por la parte inferior del depósito, junto con flóculos bacterianos desprendidos de los materiales de soporte. Este conjunto pasa al decantador secundario, donde se obtendrá por separado, un efluente clarificado, y los lodos del proceso.

Parte del agua clarificada suele ser recirculada, y mezclarse con el agua residual de entrada al lecho bacteriano.

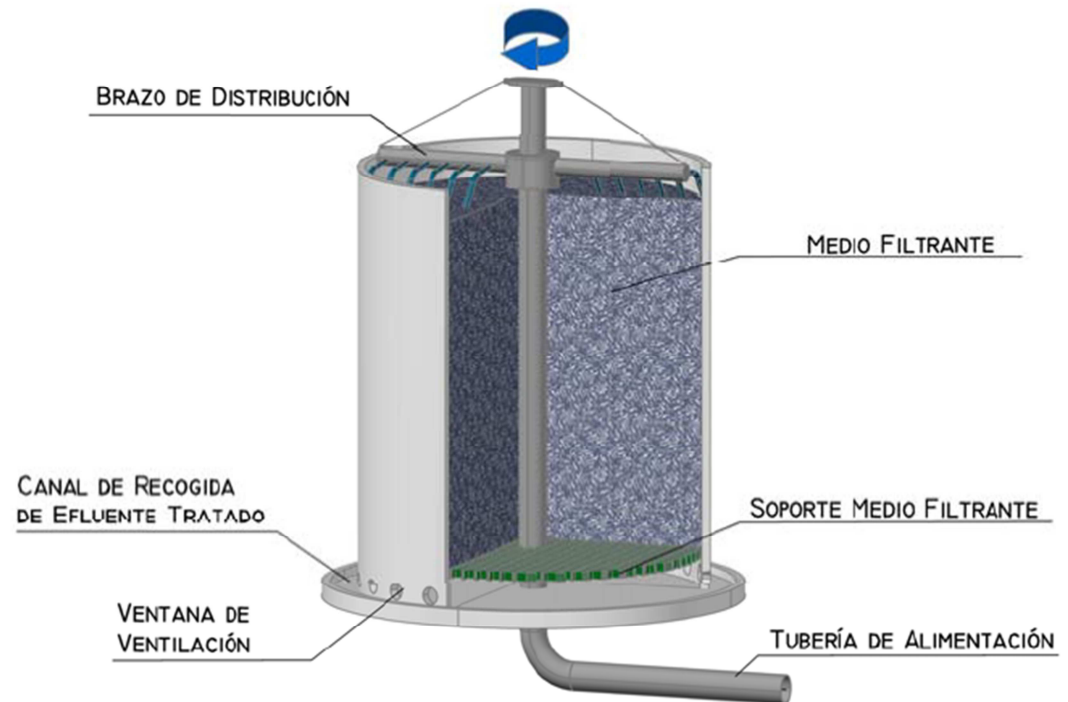


Imagen 5. Sección Lecho Bacteriano

Es usual que al final del tratamiento, previa entrada del agua en el lecho bacteriano, sea necesario instalar un pozo de bombeo, para el envío de las aguas a la parte superior de este. Esto se produce siempre y cuando la orografía del terreno lo requiera.

Este sistema de tratamiento presenta las siguientes ventajas respecto a las Tecnologías Convencionales:

1. El consumo energético es menor. Este dependerá del grado de recirculación que se decida aplicar, y oscila entre, 1,12 kWh/kg DBO<sub>5</sub> eliminado, en depuradoras con recirculación parcial del efluente, con eliminación de DBO<sub>5</sub> del 85-90%; y 1'65 kWh/kg DBO<sub>5</sub> cuando el lecho nitrifica, tiene un alto grado de recirculación y eliminación de nitrógeno amoniacal del 80%.
2. La explotación de la planta es más sencilla, al menos más sencilla que el proceso de fangos activos estudiado anteriormente, ya que no precisa de recirculación de fangos, ni es necesario control exhaustivo del nivel de oxígeno disuelto o la concentración de los sólidos en el reactor.
3. Es necesaria una menor potencia instalada, lo que conlleva un menor nivel de ruidos.
4. Buena tolerancia a sobrecargas hidráulicas.



Aunque también se considera que presenta ciertas desventajas, como las relacionadas a continuación:

1. Altos costes de implantación, debido a la adquisición del material de relleno.
2. Aunque los consumos eléctricos son menores que en las Tecnologías Convencionales, se sigue precisando la instalación de ciertos equipos electromecánicos, que precisan mantenimiento, cosa que no ocurre en otros sistemas naturales extensivos.
3. Si se producen grandes variaciones respecto a las condiciones de diseño, el proceso es menos flexible que los procesos de fangos activos.

### 8.2.2. Planta CASO 3:

- Población equivalente:.....2500 hab.eq. (60gDBO<sub>5</sub>/hab.Eq.)
- Caudal de tratamiento diario.....500 m<sup>3</sup>/d.

Se toma como Tecnología No Convencional a aplicar Lecho de Turba.

Este tratamiento está basado en la filtración de las aguas residuales a través de lechos que emplean turba como material filtrante.

Cuando las aguas residuales a tratar, pasan por una capa de turba, sufren un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos, que dan como resultado final, un efluente depurado. Este efluente, es recogido en el fondo, mediante canales o tuberías de drenaje, que lo evacúan a la obra de salida

La depuración de las aguas se consigue gracias a algunas de las propiedades de la turba, como son su elevada polaridad, y porosidad, que le confieren un alto potencial para la eliminación de contaminantes.

La constitución normal de una turba, suele ser una serie de capas filtrantes cuya composición es turba, gravilla y grava, de arriba abajo.



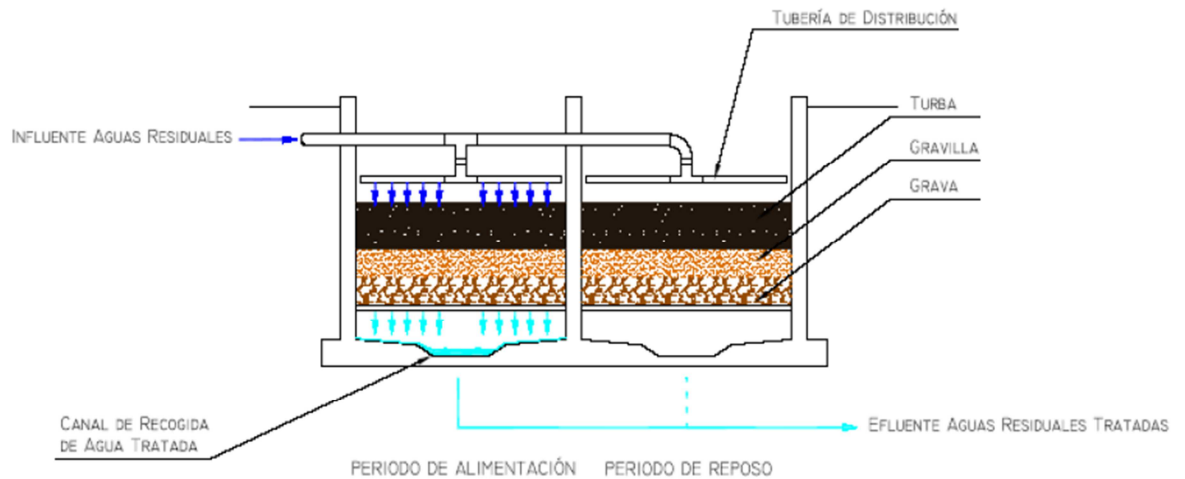


Imagen 6. Sección transversal de un Filtro de Turba

Cuando se pone en funcionamiento este tipo de tratamiento, los sólidos retenidos en la superficie de la turba, y la biomasa desarrollada, van obstruyendo el paso del agua, y por consiguiente, disminuyendo la velocidad de infiltración, por lo que cada cierto tiempo, normalmente un periodo de 10 ó 12 días, es necesario parar el filtro en operación, poniendo en funcionamiento las unidades que se encuentra en reposo.

Al instalar este tipo de tratamiento, se debe realizar un pretratamiento, donde se incluye un desbaste, con rejillas de limpieza automática, cuyo objetivo es la eliminación de los objetos de mayor tamaño presentes en las aguas, y tras este un tamizado o desarenado.

El agua pasa entonces al tratamiento primario, necesario para eliminar la gran mayoría de partículas sedimentables y flotantes, que provocarían la colmatación de la superficie de los filtros muy rápidamente. Para evitar esto, se instalan tanques Imhoff, que cuentan con una doble función, divida en dos cámaras; la primera donde se realiza la sedimentación, y la segunda donde se realiza la digestión de fangos.

Una vez finalizado el tratamiento primario, se realizará una medida de caudal, previa al envío del agua al filtro de turba.

La alimentación a los Filtros de Turba se lleva a cabo mediante un bombeo o sifones de descarga, que permiten que esta se produzca de manera intermitente.

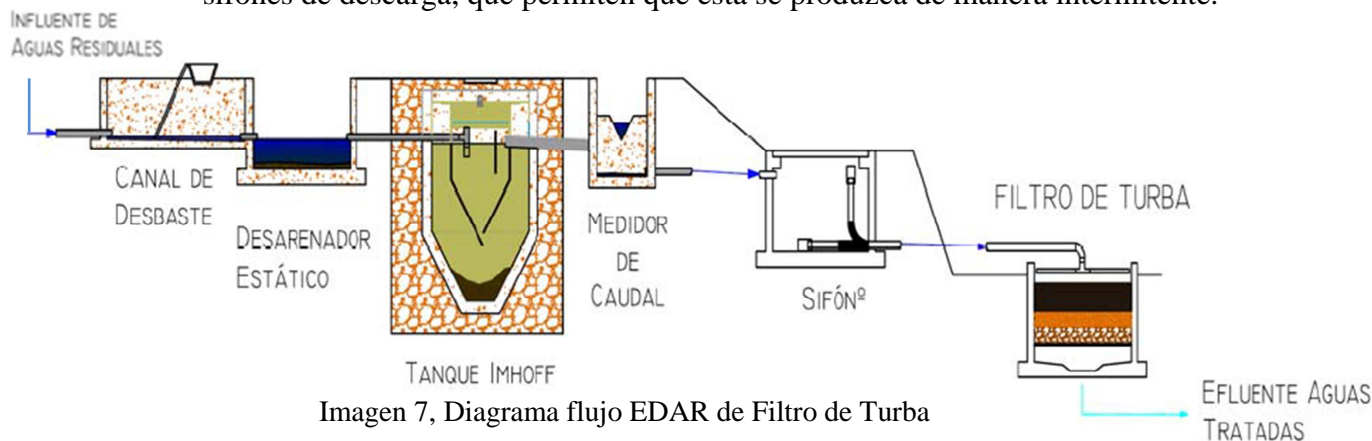


Imagen 7, Diagrama flujo EDAR de Filtro de Turba

El consumo energético de este tipo de tratamiento, depende principalmente de la orografía del terreno, es decir si el agua puede discurrir por acción de la gravedad a través de la instalación. Si esta condición se cumple, la planta puede operar casi sin consumo energético, pues no se necesitan apenas equipos electromecánicos en su funcionamiento.

Solo en el caso de necesidad de instalación de una bomba de alimentación al filtro de turba, se considera un consumo de potencia reducida, del orden de 1kW, puesto que no es necesario ni el transporte a gran altura, ni el transporte de grandes caudales. A este debemos añadir, el consumo de la reja de desbaste con limpieza automática, con un consumo de 0'5kW.

En total se estima entonces un consumo total de 0'5- 1 kW/kg DBO<sub>5</sub> eliminado.

Las ventajas de implantación de este tratamiento consideradas, son las relacionadas a continuación:

1. Bajos costes de explotación y mantenimiento.
2. De los tratamientos no convencionales, es uno de los que menor superficie de implantación requiere.
3. Su operación es muy sencilla, pues solo es necesario el cambio de los filtros en operación conforme se acaban sus ciclos operativos.
4. Se puede trabajar, sin apenas consumo energético, si el agua a tratar discurre gracias al efecto de la gravedad.
5. El riesgo de avería es ínfimo, pues únicamente se pueden encontrar instalados el mecanismo de limpieza automático del desbaste, y la bomba de alimentación al filtro.

Entre los inconvenientes que presenta este tratamiento, se destaca que el efluente puede presentar un color amarillento, debido al arrastre de componentes de la propia turba.