



# **MEMORIA DESCRIPTIVA**

## MEMORIA DESCRIPTIVA

### 1. Introducción

#### 1.1 Objetivo general

El objetivo global de la actuación, donde se enmarca el objetivo de este proyecto, es la transformación, puesta en funcionamiento y arranque de la EDAR de Pruna (Sevilla). Actualmente la EDAR se encuentra completamente en desuso por deterioro y abandono de las instalaciones.



Imagen 1. Vista aérea del municipio de Pruna.

#### 1.2 Situación

La localidad de Pruna se encuentra situada al Sur de la provincia de Sevilla, cerca del límite con las provincias de Cádiz y Málaga. Se emplaza en las proximidades de la Sierra de las Harinas y de la Sierra del Tablón, en la carretera nacional C-342 que une las localidades de Olvera (Cádiz) y Morón de la Frontera (Sevilla). A 34 Km de este último en dirección Sureste. Pruna cuenta con una población, según datos oficiales del 2.008, de 2.955 habitantes.

Su extensión en superficie es de 100 Km<sup>2</sup> y tiene una densidad de población de 29,36 habitantes/Km<sup>2</sup>. Sus coordenadas geográficas son 58' N, 5º 13' O. Se encuentra situada a 663 metros sobre el nivel del mar.

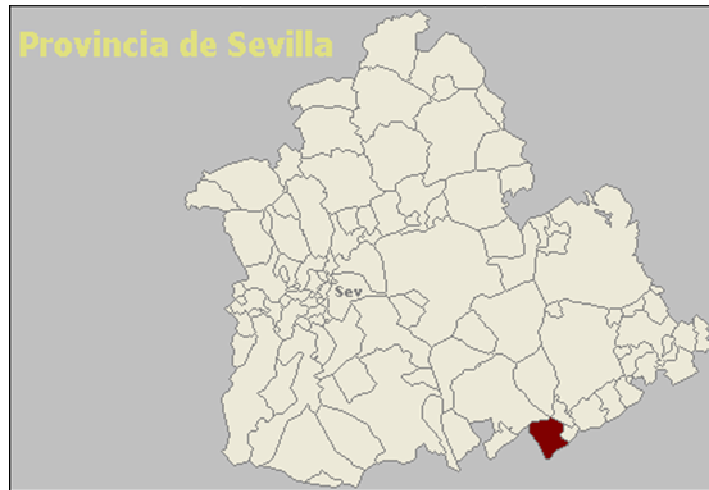


Imagen 2. Situación del municipio de Pruna en la provincia de Sevilla.

### 1.3 Antecedentes

El municipio de Pruna cuenta con una Estación Depuradora de Aguas Residuales, pero esta se encuentra totalmente en desuso siendo imposible el tratamiento de las aguas debido al deterioro que registran las instalaciones.

El objetivo general de la actuación a realizar se centra en dos aspectos fundamentalmente. El primero es la recuperación de la EDAR con el menor coste posible, optimizando al máximo las instalaciones de las que se dispone. Así mismo se pretende conducir la totalidad de las aguas residuales de la población a la EDAR, que actualmente no recibe por falta de cota y un bombeo deteriorado.

Las aguas residuales convergen en un colector que desemboca en un único punto sito al sur del casco urbano de la localidad. De este punto parte un colector para conducir las hasta la depuradora.



Imagen 3. Vista aérea de la depuradora.

#### 1.4 Intervenciones a realizar

Las intervenciones se realizarán en dos fases hasta completar el proyecto, de modo que se deje en funcionamiento la planta al final de la actuación global.

La primera fase se divide en dos intervenciones con un presupuesto 1150.000 Euros, provenientes del **Plan E**, “Plan Español para el estímulo de la economía y el empleo”, del gobierno de España. Este capital se desglosa en dos grandes partidas equipos y personal. Donde debe ser mayoritaria la segunda ya que es el objetivo específico del plan del gobierno que financia la actuación.

En general la actuación comprende:

- 1ª Intervención: Bombeos

Se llevará a cabo la instalación de dos equipos de bombeo. El primero de ellos para proporcionar cota a la red de saneamiento completa de la población asegurando que todos los vertidos de la misma se reciben en la EDAR. El segundo bombeo será el que permita la circulación del agua en su interior por gravedad ya que las bombas existentes presentan tal deterioro que es imposible su aprovechamiento.

Además una readecuación de la obra de llegada, saneándola y modificando su vertedero para adaptarlo al volumen de vertido actual de la población.

Limpieza y adecuación de la obra civil del pretratamiento con inclusión de equipos de tamizado y eliminación de grasas y arenas.

- 2ª Intervención: Recuperación de los sistemas depuradores de la EDAR.

Siendo esta segunda intervención donde se centra concretamente el presente proyecto.



### **1.5 Objetivo específico**

El presente proyecto se centra en tres puntos principalmente.

- El estudio de las tecnologías de depuración de aguas existentes en la EDAR y de las posibles alternativas tecnológicas que se podrían plantear.
- La transformación de los lechos de turba existentes en la EDAR, deteriorados y en desuso, por una red de drenes de piedras de aireación forzada (Canales).
- Dimensionamiento y realización del Biocanal que recibirá las aguas tratadas a la salida de la planta para su afino y vertido.

## **2. Estudio de las soluciones tecnológicas**

La EDAR de Pruna cuenta, actualmente, con un pretratamiento que cuenta con las unidades de tamizado, desarenado y eliminación de grasas. Un tratamiento primario en lagunas anaerobias y un tratamiento secundario en lechos de turba.

Respecto al tratamiento primario, las lagunas apenas tienen que ser remodeladas, ya que se encuentran en buenas condiciones pudiendo ser aprovechadas.

Y el grueso de las reformas dentro de la EDAR se plantea en la sustitución de los actuales lechos de turba, irrecuperablemente deteriorados y en desuso.

Aquí se plantean distintas alternativas que vamos a valorar frente a los actuales lechos de turba. Estas alternativas son los humedales subsuperficiales, de uso muy extendido, la tecnología de Drenes de Piedras Aireación Forzada (DPAF) y la opción del biocanal, aunque esta última se contempla más como elemento de afino y complemento de cualquiera de las dos citadas anteriormente,

### **2.1. Tratamiento primario. Lagunas Anaerobias**

Las lagunas anaerobias se utilizan normalmente como primera fase en el tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales con alto contenido en materia orgánica biodegradable. El objetivo primordial de estas lagunas es la reducción de contenido en sólidos y materia orgánica del agua residual, y no la obtención de un efluente de alta calidad.

La depuración la realizan bacterias anaerobias. Trabajan con muy poco oxígeno o ninguno. Retiene la mayor parte de los sólidos en suspensión que se depositan en el fondo. La laguna debe tener una temperatura relativamente alta (óptima a 30°C) y se verán las burbujas que forman el CO<sub>2</sub> y el metano al desprenderse.

Como lo que nos interesa es el mantenimiento del calor, la sedimentación de la materia en suspensión y el almacenamiento de fangos las lagunas han de ser de poca superficie y profundas, 3 ó 4 metros (4m es el caso de Pruna).

El color gris del agua, las burbujas, la costra sobre la superficie y la ausencia de malos olores son síntomas de buen funcionamiento.

Si hay malos olores puede ser debido a un defecto o exceso de carga orgánica, por una caída brusca de la temperatura o por un pH anormal. Si las aguas toman un color rosa o rojo es por la proliferación de bacterias fotosintéticas del azufre. Si hay presencia de mosquitos u otros insectos es por el crecimiento de

plantas acuáticas y por larvas en la costra. Hay que destruir la costra continua y redistribuirla.

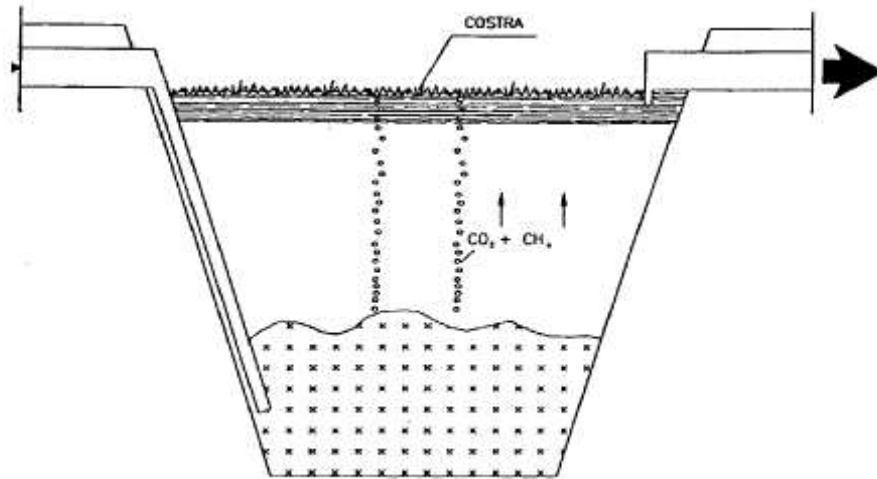


Imagen 4. Esquema de una laguna anaerobia.

### 2.1.1. Fundamento de la depuración en lagunas anaerobias

Como su nombre indica, en las lagunas anaerobias se produce la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. En estas condiciones, la estabilización tiene lugar mediante las etapas siguientes (Middlebrooks y col., 1982):

- **Hidrólisis.**

Este término indica la conversión de compuestos orgánicos complejos e insolubles en otros compuestos más sencillos y solubles en agua. Esta etapa es fundamental para suministrar los compuestos orgánicos necesarios para la estabilización anaerobia en forma que puedan ser utilizados por las bacterias responsables de las dos etapas siguientes.

- **Formación de ácidos.**

Los compuestos orgánicos sencillos generados en la etapa anterior son utilizados por las bacterias generadoras de ácidos. Como resultado se produce su conversión en ácidos orgánicos volátiles, fundamentalmente en ácidos acético, propiónico y butírico. Esta etapa la pueden llevar a cabo bacterias

anaerobias o facultativas. Hay una gran variedad de bacterias capaces de efectuar la etapa de formación de ácidos, y además esta conversión ocurre con gran rapidez. Dado que estos productos del metabolismo de las bacterias formadoras de ácido o acidogénicas están muy poco estabilizados en relación con los productos de partida, la reducción de DBO<sub>5</sub> o DQO en esta etapa es pequeña.

- **Formación de metano.**

En la figura 1 se recoge una representación secuencial de la digestión anaerobia de compuestos orgánicos. Una vez que se han formado estos ácidos orgánicos, una nueva categoría de bacterias entra en acción, y los utiliza para convertirlos finalmente en metano y dióxido de carbono. El metano es un gas combustible e inodoro, y el dióxido de carbono es un gas estable, que forma parte en poca cantidad de la composición normal de la atmósfera.

La liberación de estos gases es responsable de la aparición de burbujas, que son un síntoma de buen funcionamiento en las lagunas anaerobias. Esta fase de la depuración anaerobia es fundamental para conseguir la eliminación de materia orgánica, ya que los productos finales no contribuyen a la DBO<sub>5</sub> o DQO del medio.

A diferencia de lo que ocurría con la fase acidogénica, hay pocos microorganismos capaces de desarrollar la actividad metanogénica, su metabolismo es más lento y además, son mucho más sensibles a distintas condiciones ambientales que veremos a continuación (Brock, 1978).



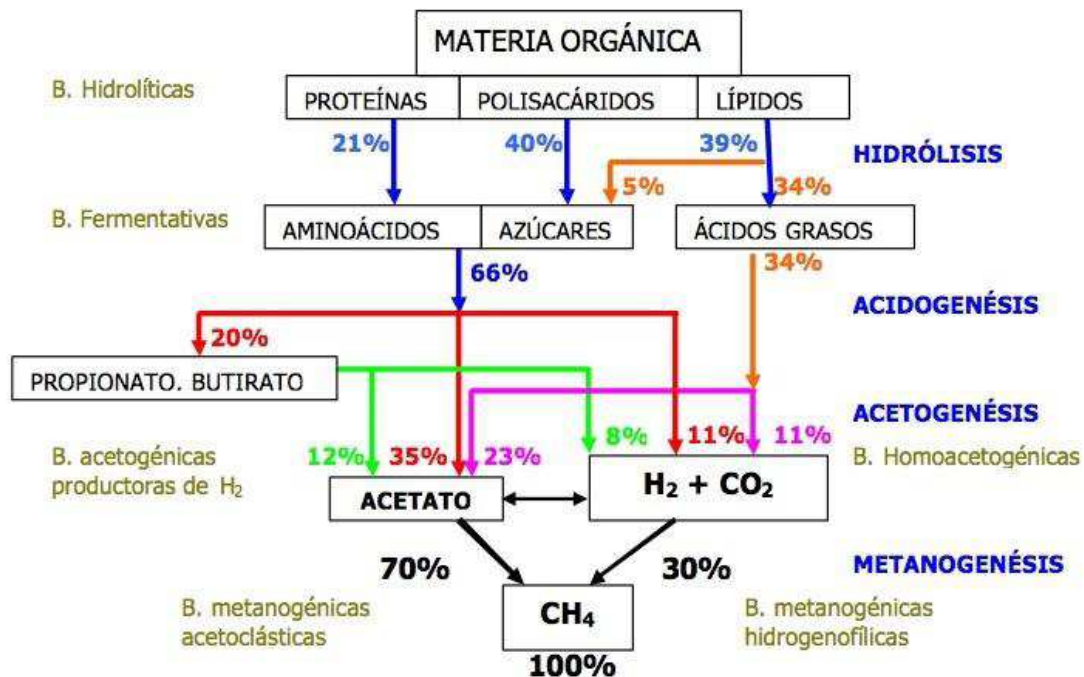


Imagen 5. Etapas de la digestión anaerobia (Madigan, M; 1997, Van Hamndel, A:1994).

Las bacterias metanogénicas son anaerobias estrictas, es decir, mueren en presencia de oxígeno disuelto. Por otra parte, estas bacterias son también muy sensibles al pH. Puesto que en la segunda fase de la digestión anaerobia se están produciendo ácidos, si no existe en el medio un número adecuado de bacterias metanogénicas que transformen estos productos, y se produce su acumulación, el pH disminuye. Se estima que para valores de pH inferiores a

6,8 la actividad metanogénica comienza a presentar problemas, y que por debajo de pH=6,2 se detiene completamente (Middlebrooks y col., 1982).

Cuando esto ocurre se liberan no sólo ácidos orgánicos que pueden tener olores desagradables, sino otros compuestos como ácido sulfhídrico (SH<sub>2</sub>), mercaptanos o escatol, que son los responsables principales de los olores que indican funcionamientos deficientes en las lagunas anaerobias.

### 2.1.2 Condiciones operativas de las lagunas anaerobias

Teniendo en cuenta la secuencia de etapas por las que tiene lugar la digestión anaerobia, es necesario ajustar las condiciones operativas de las lagunas para que se produzca la estabilización de la materia orgánica hasta los productos finales metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

En primer lugar, si las balsas operan con tiempos de retención muy pequeños, sólo las fases hidrólisis y acidogénica tienen tiempo de desarrollarse, pero no la de formación de metano, que es más lenta, y por tanto, se producirán olores y se obtendrá una eliminación muy baja de la materia orgánica. Por otra parte, si la carga es escasa y el tiempo de retención elevado, comienzan a desarrollarse algas en superficie, y el oxígeno producido da lugar a la muerte de las bacterias metanogénicas, también con el resultado de desarrollo de olores desagradables. Por tanto, las lagunas anaerobias requieren un mantenimiento adecuado para preservar en todo momento el equilibrio entre las fases responsables de la depuración.

Otro factor que influye en el comportamiento de las lagunas anaerobias es la temperatura. Las bacterias metanogénicas crecen mejor cuanto mayor es la temperatura, con un intervalo óptimo de crecimiento entre 30-35°

C. Por tanto, las lagunas anaerobias presentan una actividad muy superior durante el verano, lo que puede comprobarse fácilmente observando la cantidad de burbujas que aparecen en superficie en las distintas épocas del año.

El potencial redox mide la tendencia de las especies químicas a oxidarse o reducirse, es decir, dar o aceptar electrones.

A medida que aumenta el potencial redox del medio, los microorganismos capaces de desarrollarse pasan de ser anaerobios estrictos a facultativos, es decir, que resisten la presencia de oxígeno, si bien crecen mejor en su ausencia. Cuando una laguna anaerobia presenta muy poca carga, y se favorece el desarrollo de algas en superficie, aumenta el potencial redox, lo que puede producir la muerte de las bacterias metanogénicas, que presentan tolerancias muy estrechas para los niveles de esta variable (Brock, 1978).

A pesar de que los márgenes de tolerancia son estrechos, las lagunas anaerobias no son difíciles de operar siempre que se respeten los intervalos de carga o tiempo de retención hidráulico que calculemos.

En la siguiente tabla se recogen los rendimientos medios que se pueden obtener en las lagunas anaerobias (Brock, 1978) y (Madigan, M; 1997, Van Hamdel, A:1994).



PARAMETRO	RENDIMIENTO
Sólidos en suspensión S.S	50-60%
DBO <sub>5</sub>	50-60%
DQO	45-50%
Nitrógeno	0 -15%
Fósforo	0 – 5%

Tabla 3. Rendimientos medios para diferentes parámetros.

## 2.2 Tratamiento secundario. Lechos de Turba

La turba es un tipo de humus que se forma en condiciones anaerobias, o de falta de oxígeno, propias de los medios saturados con agua. La transformación de restos orgánicos mediante acciones químicas, o bien por la acción de microorganismos, da como producto final el humus, que consiste en aquella fracción de la materia orgánica que ya no es susceptible de ser descompuesta. La lignina y la celulosa constituyen sus componentes mayoritarios (Viraraghavan y Rana, 1991).

Las sustancias húmicas son compuestos con color que van del amarillo al negro, amorfos, muy polimerizados y por tanto con peso molecular muy elevado y naturaleza coloidal. Químicamente presentan muchos núcleos de carácter aromáticos (benceno, naftaleno, furano, etc.). En estado natural los diferentes compuestos húmicos que conforman la turba están íntimamente ligados y es difícil demostrar la función de cada uno de ellos por separado.

Los compuestos húmicos tienen una alta densidad de grupos químicos ácidos, lo que favorece las reacciones de intercambio catiónico, la formación de complejos con metales como el hierro, el magnesio, cinc y cobre (muy interesantes de retirar de los efluentes a la hora de reutilizar las aguas residuales o de verterlas nuevamente al medio) además de mejorar las absorción de fósforo, nitrógeno, potasio, calcio y magnesio por parte de las plantas.

Normalmente a nivel constructivo los lechos de turba, son excavaciones en el terreno, impermeabilizado mediante paredes y soleras de hormigón, como es el caso de los de la EDAR de Pruna.

Estos lechos impermeabilizados se rellenan con diferentes capas de áridos, en orden descendente por tamaños y finalmente con una capa de turba en el estrato superior.

El objetivo de estas capas de áridos es retener la capa de turba que se sitúa en la parte superior. Los áridos que se empleen nunca den ser la etapa limitante en cuanto a la velocidad de filtración a través respecto al conjunto de elementos filtrantes.

La alimentación del influente se hace por la parte superior, en contacto directo con la turba y se busca el mayor reparto posible. El efluente depurado tras su



paso por las diferentes capas suele recogerse en tuberías de drenaje, embutidas en la capa de grava que se disponen en el fondo de los filtros.

La solera de los filtros esta construida con una pendiente de 1% hacia la zona de recogida de efluentes. Valor dentro del rango normalmente recomendado.

### **2.2.1 Mecanismos de depuración en el tratamiento mediante Filtros de Turba.**

En la tecnología de Filtros de Turba la depuración de las aguas residuales se consigue gracias a la combinación de una serie de acciones de diversa naturaleza.

#### **Acciones físicas**

La turba ejerce la acción de filtro mecánico, reteniendo en los primeros centímetros de su espesor la mayor parte de los sólidos en suspensión que no han sido eliminados previamente.

En estos primeros centímetros del lecho se produce un notable incremento de la biomasa bacteriana que actúa sobre las partículas orgánicas retenidas, degradándolas.

La filtración a través de la turba y el grado de depuración de las aguas residuales a tratar, esta estrechamente ligada con la granulometría y la porosidad del sustrato.

La acción de filtración de la turba será más eficiente cuanto menor sea la granulometría de la misma. Si bien, esto implica una menor velocidad de percolación del agua.

A medida que la superficie del filtro se va colmatando por los sólidos que quedan retenidos entre sus poros y por el crecimiento bacteriano, la filtración se ve mejorada, reduciendo progresivamente la carga hidráulica admisible.

#### **Acciones químicas**

La fuerza depuradora de la turba, químicamente hablando, se fundamenta en su elevada capacidad de intercambio catiónico y a las reacciones de oxidación-reducción que tienen lugar debido a la alternancia entre las condiciones de inundación e aireación del sustrato filtrante.

Se conoce como Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) a la facultad de retener cationes e intercambiarlos con una solución acuosa.

Los compuestos húmicos presentan una estructura del tipo R-COOH, desdoblándose en solución acuosa, según la expresión:



El protón liberado pasa a la solución acuosa acidificándola, quedando la carga eléctrica negativa del anión R-COO<sup>-</sup> repartida en la superficie de las partículas de la turba.

Los cationes presentes en la solución acuosa son atraídos por las cargas negativas del humus, formando una capa difusa de cationes.

Al ser la CIC una propiedad ligada a la superficie, rea más elevada cuanto mayor sea el área superficial de las partículas del humus, las cuales aumentan al disminuir el tamaño de partícula de la turba.

Otro factor que influye poderosamente en la CIC de las turbas es el pH.

pH	CIC (meq/100g)
5	120
7	160
8	210

Tabla I. Dependencia de la Capacidad de Intercambio Catiónico con el pH.

### Acciones Biológicas

Sobre la materia orgánica adsorbida y absorbida por la turba prolifera la flora bacteriana, que interviene en la descomposición de la materia orgánica aportada por el agua residual y en el reciclaje de los elementos nutritivos.

La turba puede considerarse como un sustrato perfecto para que se desarrolle y mantenga una actividad bacteriana, que confiere al medio filtrante una importante capacidad de depuración biológica del influente.



Para que se desarrolle una intensa actividad bacteriana en el sustrato, principalmente por vía aerobia, se precisa un correcto reparto y composición de las fases sólidas (mineral y orgánica), líquida (agua) y gaseosa (aire).

Justamente para la buena oxigenación del sistema, es muy importante el mantenimiento periódico y los tiempos de reposo del lecho, pero este asunto lo abordaremos en el siguiente subapartado.

### **2.2.2 Mantenimiento y explotación de los filtros de turba**

A medida que avanza el ciclo operativo, los sólidos retenidos en la superficie, los sólidos retenidos en la superficie de la turba y la biomasa que se va desarrollando en esta zona, van haciendo disminuir la velocidad de filtración de las aguas. Con lo que cada cierto tiempo (entre 10 y 12 días) se hace necesario para los filtros en operación para realizarles ciertas tareas de mantenimiento y arrancar otros lechos que se encuentre en reposo. Esto implica que solo tenemos en funcionamiento la mitad de los lechos a la vez.

En los lechos que se dejan en reposo se forma una costra que se seca a la intemperie, ya que tiende a fragmentarse y separarse de la turba. Una vez seca la costra se procede a su eliminación por rastrillado y tras un escarificado de la superficie del lecho, este queda preparado para un nuevo ciclo de funcionamiento.

La alternancia en el funcionamiento de los filtros además de recuperar su capacidad de filtración, contribuyen a mantener el sustrato filtrante lo más oxigenado posible, favoreciendo así los procesos aerobios de la biomasa bacteriana.

En la operación de rastillado se pierde parte de la turba, con lo que es necesario reponer el espesor inicial para obtener unos rendimientos adecuados.

Se estima en unos 2 cm/año las pérdidas de turba como consecuencia de la retirada de la costra, siempre y cuando esta operación se realice correctamente (*Salas, Pidre y Fahd; 2007*).



Finalizada la vida útil de la turba será necesario proceder a su sustitución. Si se parte de una turba adecuada, se estima su vida útil de 8 a 10 años.



## 2.3 Alternativas al tratamiento secundario. Humedales artificiales, DPAF, Biocanal

### 2.3.1 Humedales Artificiales

Son sistemas de depuración que consisten en la descarga controlada de un efluente tratado sobre un sistema de baja permeabilidad (mediante aspersión u otro medio) con pendiente y extensión suficiente, que se encuentra sembrado de plantas acuáticas emergentes. La depuración se debe a los efectos de asimilación de la vegetación, la actividad microbiana, la evaporación y en menor cuantía a la infiltración al terreno de las aguas residuales por vertido a lechos en los que se implantan macrófitos acuáticas emergentes.

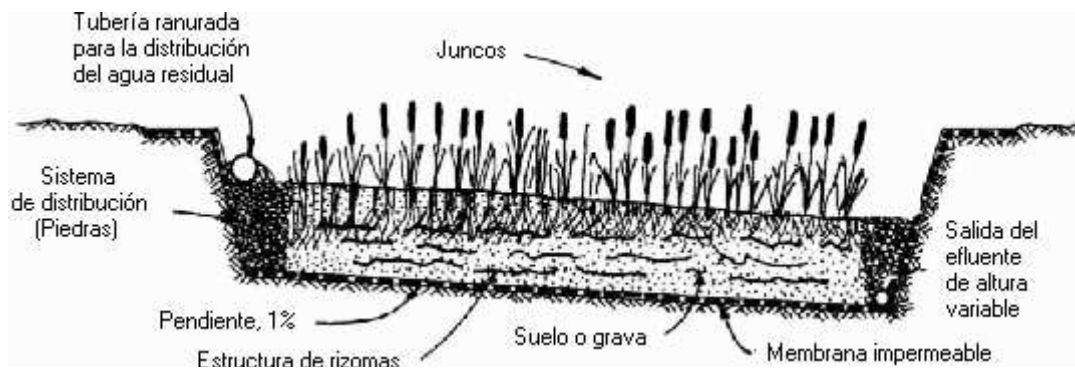


Imagen 6. Esquema general de un humedal artificial (Manual Tecnologías no Convencionales, GTAR. ; 2004)

Las plantas acuáticas emergentes (carrizos, juncos, aneas, etc.), son plantas anfibias que se desarrollan en aguas poco profundas, arraigadas al subsuelo, alcanzando alturas de 1'5 a 3 m. Se trata de plantas perennes, cuyas hojas se secan en invierno y rebrotan en primavera.

### 2.3.1.1 Tipos de humedales artificiales

#### **Humedales Artificiales de Flujo Superficial (HAFS)**

En este tipo de humedales el agua se encuentra expuesta directamente a la atmósfera y circula, preferentemente, a través de los tallos de las plantas. Pueden considerarse estos humedales como variedad de los lagunajes clásicos (García, J.; 2004), con las diferencias de que se opera con menores profundidades de la lámina de agua (inferiores a 0,4 m), y de que las balsas se encuentran colonizadas por plantas acuáticas emergentes.

#### **Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSs)**

En estos humedales el agua a tratar circula exclusivamente a través de un material granular (arena, gravilla, grava), de permeabilidad suficiente, confinado en un recinto impermeabilizado, y que sirve de soporte para el enraizamiento de la vegetación, que habitualmente suele ser carrizo. Forman parte de los sistemas naturales de depuración basados en la acción del terreno y la depuración con biomasa fija (García, J.; 2004).

Según la dirección en la que circulan las aguas a través del sustrato, los HAFSs se clasifican en:

**Horizontales:** La alimentación se efectúa de forma continua, atravesando las aguas horizontalmente un sustrato filtrante de gravillas-grava de unos 0,6 m de espesor, en el que se fija la vegetación. A la salida de los humedales una tubería flexible permite controlar el nivel de encharcamiento, que suele mantenerse unos 5 cm por debajo del nivel de los áridos, lo que impide que las aguas sean visibles.

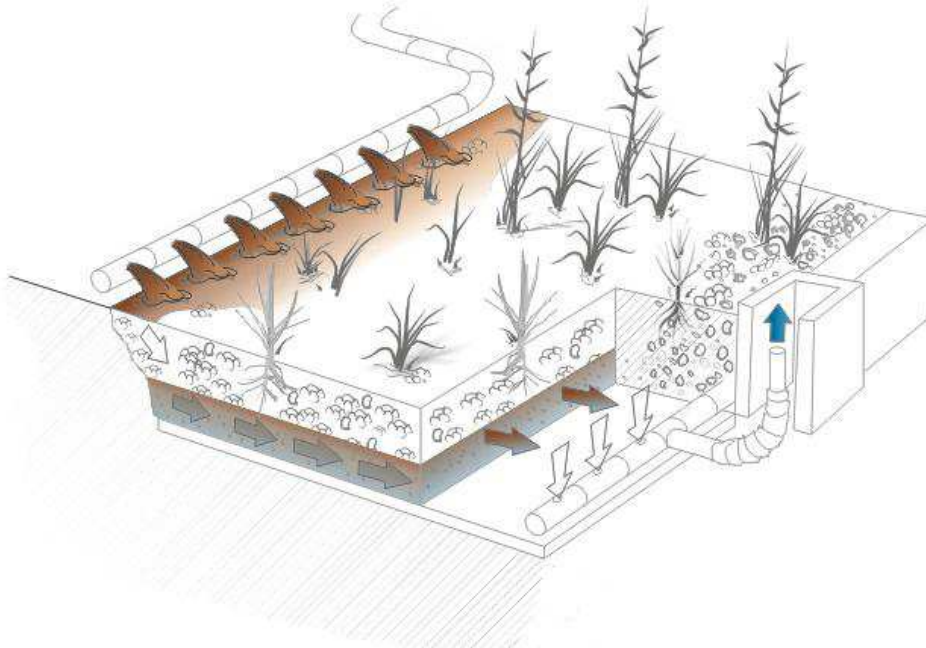


Imagen 7. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal (HAFSSH) (Ortega, E.; 2.009.)

**Verticales:** La alimentación se efectúa de forma intermitente, para lo que se recurre generalmente al empleo de sifones de descarga controlada. Las aguas circulan verticalmente a través de un sustrato filtrante de arena-gravilla, de aproximadamente 1 m de espesor, en el que se fija la vegetación. En el fondo de los humedales una red de drenaje permite la recogida de los efluentes depurados.

A esta red de drenaje se conectan un conjunto de chimeneas, que sobresalen de la capa de áridos, al objeto de incrementar la oxigenación del sustrato filtrante.

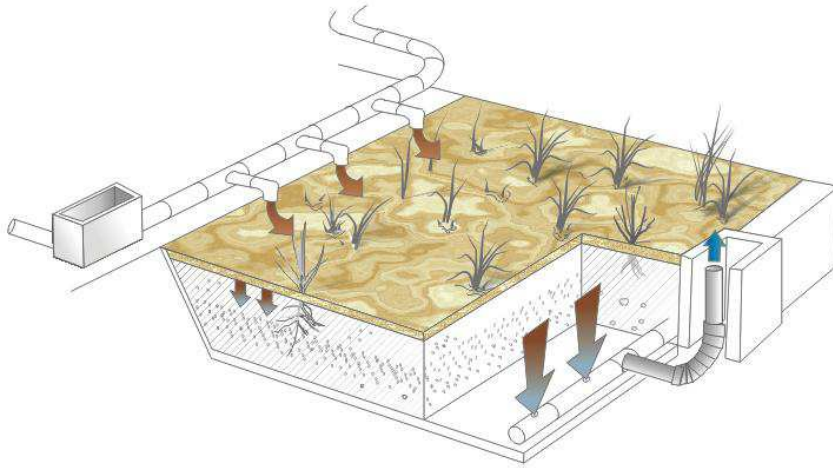


Imagen 8. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical (HAFSsV) (Ortega, E.; 2.009.)

Los humedales de flujo vertical operan con cargas superficiales orgánicas superiores a las que se emplean en los horizontales y generan efluentes con un mayor grado de oxigenación (Cooper, P.F; 2003).

## 2.4 Red en paralelo de Drenes de Piedras de Aireación Forzada (DPAF)

### 2.4.1.1 Antecedentes

Este novedoso método de circulación y saneamiento de aguas residuales, ha sido desarrollado por el Grupo Tar de la Universidad de Sevilla, siguiendo las distintas fases de cualquier actividad investigadora.

En un primer momento se desarrollo un **CAS- piloto**, una maqueta a tamaño reducido que simulaba las condiciones y configuración de lo que seria el CAS-Real.



Imagen 9. CAS-piloto en la ventana del laboratorio del Grupo TAR

El prototipo estaba constituido por un bidón de plástico de 20 l útiles de capacidad conectado en serie a una fosa séptica y a su vez a un canal de PVC de 1 metro de longitud, por 0,2 m de anchura y 0,2 m de profundidad. Con un relleno de piedras y gravas ordenadas con una granulometría de entre 2 y 6 cm. Conectado a un tramo final de metacrilato cubierto con un plástico transparente para una última etapa de afino por sobreoxigenación, la cual no entra a formar parte del estudio del presente proyecto.

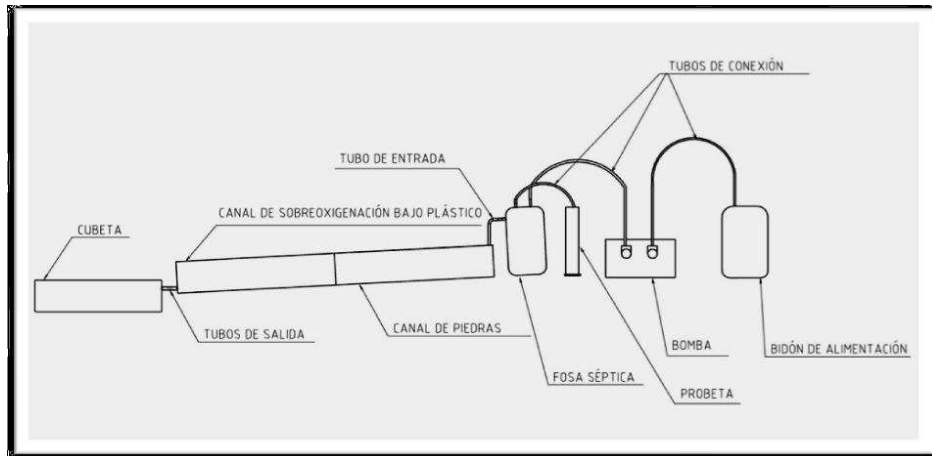


Imagen 10. Esquema de montaje del CAS-piloto.

Este canal se ancló, con una pendiente del 2,4%, a la ventan del laboratorio del Grupo Tar de la universidad de Sevilla, situado en la Escuela Politécnica Superior C/ Virgen de África nº7.

Así mismo se alimentó con un caudal de 5 l/d de agua residual urbana procedente del municipio de Carrión de los Céspedes (Donde posteriormente se instalaría el CAS-Real).

El suministro del caudal se realizó a intervalos programados, cortando la alimentación durante la noche, para imitar en la medida de lo posible, situaciones reales de aporte de agua al canal por la población a servir.

De aquí se pasó a la construcción del **CAS-Real**, en convenio con el CENTA (Centro de Nuevas Tecnologías del Agua. Consejería de Medioambiente. Junta de Andalucía). El CAS-Real se construyó en la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (PECC), Sevilla, del citado organismo.



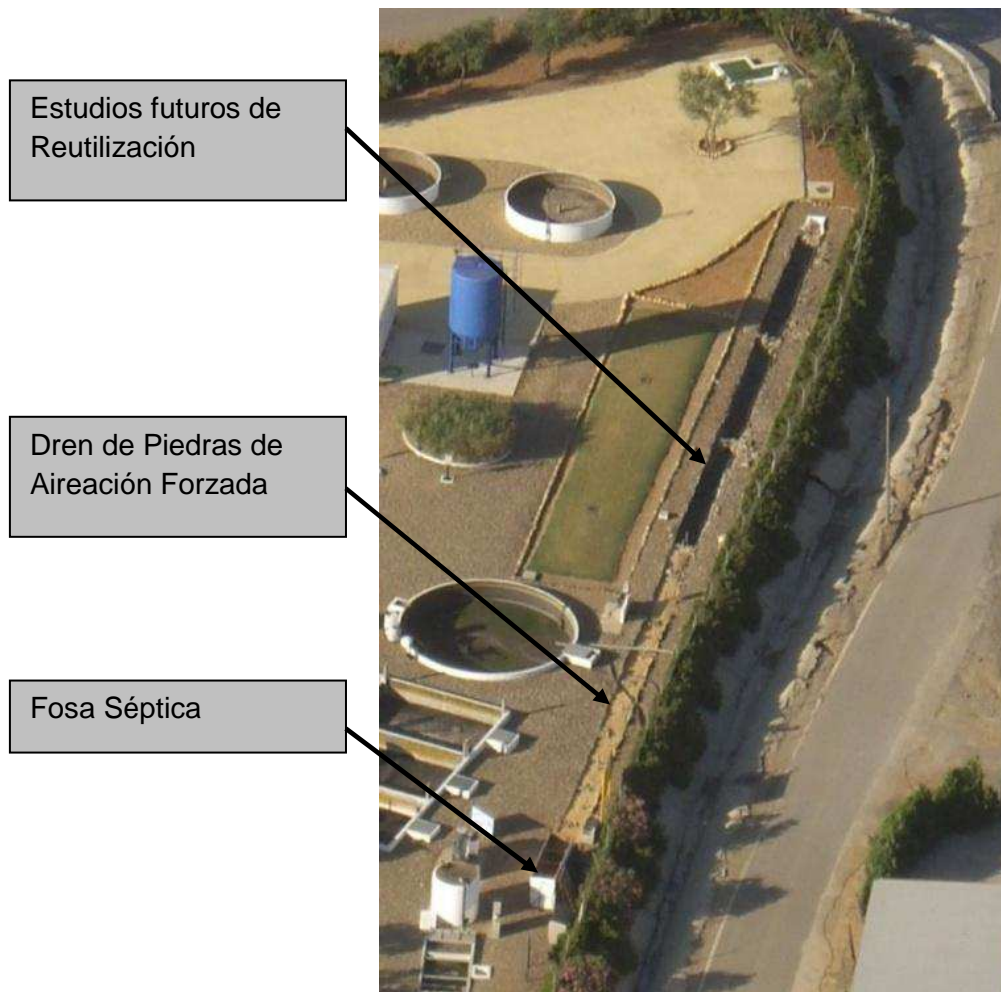


Imagen 11. Vista aérea del CAS-Real en PECC.

El CAS-Real consta de una fosa negra mejorada en cabecera de  $4,8 \text{ m}^3$  de capacidad útil, 3 compartimentos internos de iguales dimensiones con alimentación vertical ascendente y sin mezcla de corrientes entrada-salida.

Esta fosa conecta con el Dren de Piedras de Aireación Forzada (DPAF), de 28 m de longitud, 1 m de ancho y 1 m de profundidad media total del que 0,50 m son ocupados por el agua que circula siempre en régimen subsuperficial y el resto por la cámara de aire, con una pendiente del 1,25%, la salida del agua va marcada por vertederos.

Se ha rellenado de piedra de cantera machacada lavada y colocada en disposición longitudinal diagonal según su tamaño, quedando en la sección inferior inicial la piedra mayor y en la final la de menor tamaño. En superficie ha sido compactado con capas de granulometría decreciente, lo que aísla el interior, transformándolo en calle para la evacuación separativa de aguas pluviales.

Longitudinalmente se instalaron pozos aireadores y respiradores para garantizar la adecuada circulación del aire y los gases generados en su interior.



Imagen 12. Dren de Piedras de Aireación forzada en la PECC

Los resultados obtenidos por el GrupoTAR-EIA tras la autoconstrucción y el funcionamiento en continuo de un sistema de saneamiento *posible* CAS a lo largo de 21 meses, han confirmado su viabilidad, ya probada a escala piloto en laboratorio. En la investigación llevada a cabo se muestra la idoneidad técnica de los procesos que componen el CAS, mejorando a su vez la calidad de las aguas transportadas y evacuando en superficie las pluviales, sin formación de charcos ni mezcla posible entre ambas. El sistema soporta bien puntas de



caudal, carga y rearranques, demostrando una inercia de procesos importante que propicia fiabilidad en su aplicación al saneamiento urbano.

De aquí se ha pasado a la aplicación de la tecnología desarrollada en lo que se conoce como el **CAS-Managua**. En el Barrio de Olof Palme (Managua-Nicaragua), Distrito V, fue construido en el mes de Diciembre de 2009 con el objetivo de capacitar a la comunidad en esta tecnología alternativa para el manejo de aguas residuales y evitar que éstas corran por los patios y calles del barrio. Esto es muy importante en este tipo de comunidades, donde el dren además de mejorar la calidad de las aguas a su salida, separa taxativamente a los ciudadanos de las aguas grises, focos constantes de enfermedades. El CAS se ejecutó con una longitud de 10 m, en una semana de trabajo, quedaron pendientes las conexiones de las viviendas y su pretratamiento.



Imagen 13. Estado del barrio antes, durante y después de la autoconstrucción del CAS por la población, el GrupoTAR-EIA y ACEPESA.

#### 2.4.1.2 Anaerobiosis Adicional

El DPAF junto con las lagunas Anaerobias son los reactores donde se llevan a cabo los procesos físicos, químicos y biológicos para depurar las aguas residuales de la población sevillana de Pruna.

En el DPAF, al ser un flujo de aguas residuales subsuperficiales, la introducción de oxígeno al sistema es primordial para que imperen condiciones de oxigenación suficiente para que las poblaciones bacterianas anaerobias no predominen excesivamente en el lecho de piedras. Ya que esta situación daría lugar a atascos y entrapamientos.

Los principales responsables de los atascos en los sistemas anaerobios son la formación de Polyhidroxibutiratos, PHB, que son exudados en forma de

exopolímeros al medio, además de la precipitación de fosfatos (Lebrato, J. y col.; 1990) que dan lugar a la formación de biofilms en la mayoría de los casos.



Imagen 14. Cristal de fosfato de hierro precipitado (Lebrato, J.; 1990)

EL PHB es un polihidroxialcanoato (PHA), polímero perteneciente a la clase de los poliésteres que fue aislado y caracterizado por el microbiólogo francés Marices Lemoigne en 1925. Está producido por microorganismos (Como *Alcaligenes eutrophus* o *Bacillus megaterium*) aparentemente en respuesta a condiciones de estrés fisiológico. El polímero es principalmente un producto de la asimilación del carbón (de glucosa o almidón) y es empelado por los microorganismos como forma de almacenamiento molecular de energía para ser metabolizado cuando otras formas de recursos energéticos no estén disponibles.

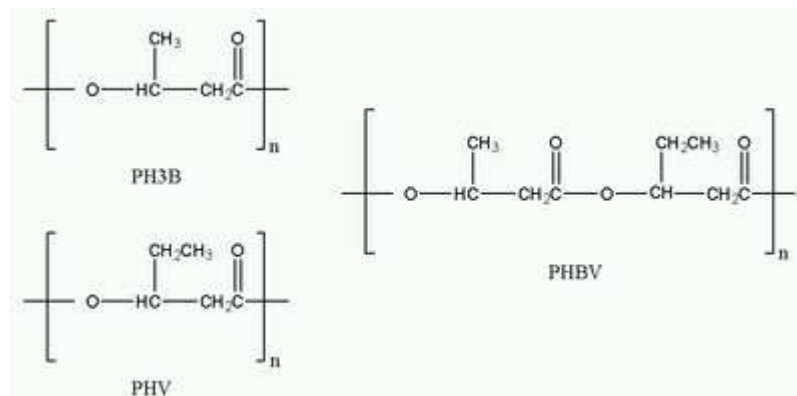


Imagen 15. PH<sub>3</sub>B, PHV, PHBV.

La biosíntesis microbiana de PHB comienza con la condensación (reacción química donde se combinan dos moléculas o grupos funcionales para formar una molécula única, junto con la pérdida de una molécula pequeña) de dos moléculas de acetil-CoA para dar acetoacetil-CoA que es a continuación reducido a hidroxibutiril-CoA. Este último compuesto se utiliza entonces como monómero para polimerizar PHB.

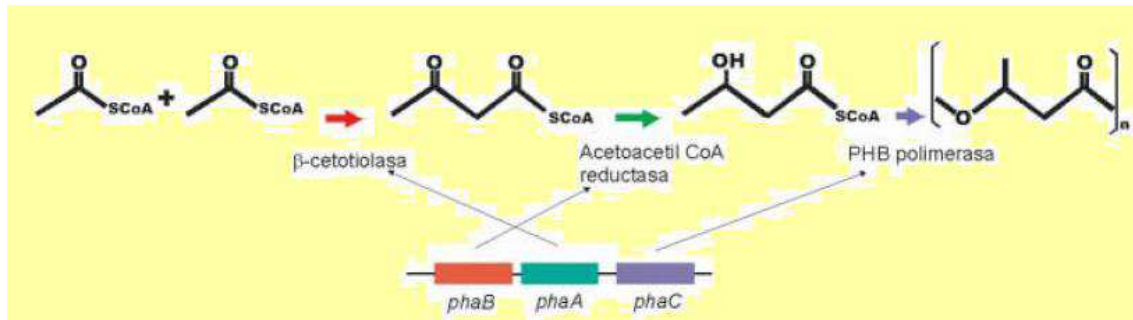


Imagen 16. Biosíntesis microbiana del PHB

La formación de PHBs en los sistemas anaerobios se lleva a cabo por las bacterias metanogénicas como reserva energética y de formación de cadenas orgánicas para la biomasa celular (Gaudy, A.F.; Gaudy, E.T.;1980).

En general los PHBs tienen propiedades floculantes lo que explica los atascos que se registran en los HAFSs donde los sistemas de degradación biológica que se producen son anaerobios. El exudado de estos exopolímeros por parte de las bacterias, originan mucinas y derivados que van generando un biofilm capaz de atrapar muchas moléculas, bacterias, sólidos en suspensión, minerales redissueltos por las bacterias de los materiales de los digestores y fosfatos que precipitan procedentes de las bacterias anaerobias.



Imagen 17. Trozos de PHB extraído de cultivos bacterianos ( Azotobacter y E. Coli respectivamente.)

#### 2.4.1.3 Funcionamiento de los DPAF

Los drenes de piedras, consisten en un canal o zanja rellena de piedras con una configuración por tamaños decreciente siguiendo la diagonal principal (**Actuaciones a llevar a cabo**) y con una red de aireadores y chimeneas con lo que se asegura una entrada de aire atmosférico rico en oxígeno y una salida de los gases producidos en los metabolismos bacterianos, ricos en  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ .

El proceso global que tiene lugar en el dren de piedras de degradación de la materia orgánica y evacuación simultánea de las aguas negras de la población se ha desarrollado originalmente en la investigación del CAS-piloto donde se refiere como reactor EAT&RUN (Pozo, L., Lebrato, J.;2009).

Conforme el agua va circulando por el dren a lo largo de la diagonal de piedras grandes, va disminuyendo por vía bacteriana su contaminación a la vez que van sedimentando los sólidos en suspensión y los fangos generados por el proceso biológico, zona EAT. Por otro lado el agua residual libre de sólidos aumenta su velocidad al llegar a zonas del dren con menor tamaño de paso entre las piedras, zona RUN.

Se busca conseguir el mayor grado de separación de fangos hacia el fondo del dren que se trata como un digestor anaerobio equivalente (DAE) y de agua a lo largo del dren que funciona como una tubería aireada equivalente (TAE)

El proceso no se desarrolla homogéneamente a lo largo del canal, siendo especialmente acusados los fenómenos de separación físicas de contaminantes en los primeros puntos del recorrido del dren. Con la configuración de piedra propuesta (huecos progresivamente menores), desde



el punto de vista exclusivamente hidráulicos se produce un aumento gradual de la velocidad del agua que va creciendo por disminución del diámetro por el que circula.

De esta forma en los primeros puntos, el agua cargada de materia orgánica y sólidos en suspensión circulan más lentamente por el dren lo que facilita la sedimentación de las partículas en suspensión, su adherencia al soporte de piedra y el inicio de los procesos biológicos, para pasar a aumentos significativos de velocidad donde se registra disminución de los procesos anteriores con mantenimiento hasta el final de la actividad biológica (EAT&RUN)

Secciones transversales comparativas en distintos puntos del dren de piedras deberán corresponder a un perfil asimilable a una línea de pendiente negativa por debajo de la cual los procesos principales serán de sedimentación, acumulación de biomasa y posterior degradación de la materia orgánica, EAT.

Mientras que en los puntos situados por encima de la misma son agua que continua su avance por el dren, RUN. Precisamente los puntos que definen la citada curva estarán geométricamente formados por una componente vertical que da lugar al proceso EAT que permite mejorar la calidad del agua y una componente horizontal RUN, que la hace circular cada vez con mayor velocidad por el canal.

La línea que define la diagonal de piedras instaladas en el dren es la divisoria del proceso EAT&RUN.

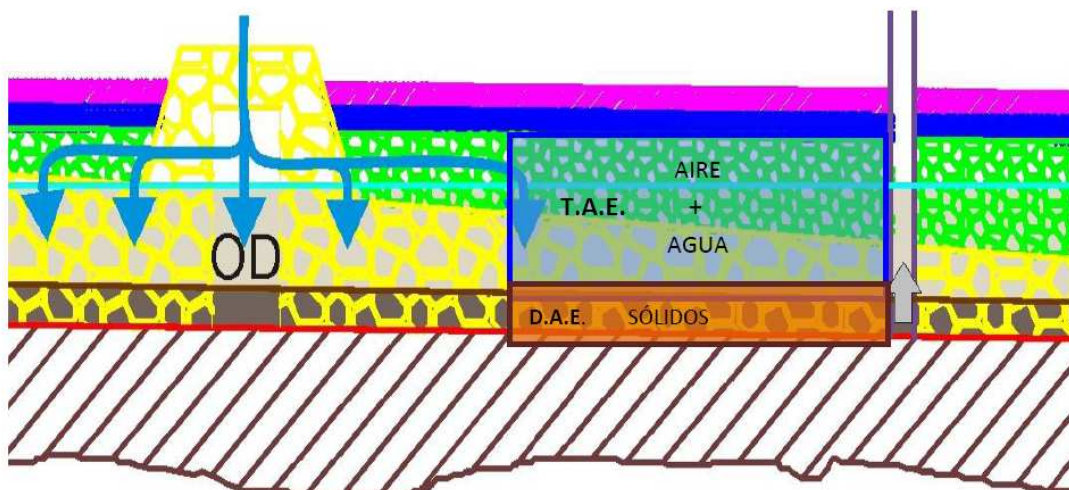


Imagen 18. Reactor EAT&RUN. Circuito de gases.

### **- Mecanismos de eliminación de contaminantes, Zona EAT.**

Según la metodología de colocación de piedra y aireación descrita, en el interior del dren van a convivir principalmente dos tipos de procesos biológicos de lecho fijo, que son mayoritariamente anaerobios en toda la columna de agua y, en menor cuantía, aerobios en la superficie.

En definitiva la mejora de la calidad del agua va a venir determinada por la eficacia de los procesos de biopelícula que se dan en el interior del dren (García, J. *et al.*; 2004, a, b).

El aire que circula en el dren favorece la degradación de la materia orgánica del agua residual de la superficie por vía aerobia. Las cantidades de oxígeno disponible no serán suficientes para generalizar los procesos aerobios en el dren, pero en todo caso la aireación mínima del sistema debe garantizar al menos la no existencia de procesos de “anaerobiosis adicional”. Queda claro que evitar “anaerobiosis adicional” significa evitar atascos en el dren.

### **- Sólidos en suspensión**

Cuando las partículas entran a través de un humedal de flujo subsuperficial, comparable como sistema de tratamiento bajo piedra con el DPAF, o bien sedimentan como ya se ha explicado o bien quedan retenidas en el lecho principalmente por una combinación de tres mecanismos físicos (Kadlec, R.H.; Knight, R.L.; 1996): La baja velocidad del agua, las retenciones producidas por el medio granular y las fuerzas de adhesión entre las partículas. Lo que no está claro es cuál de estos mecanismos es el de mayor importancia, aunque si es conocido que estos sistemas son muy eficaces en la retención de materia en suspensión (Cooper, P.F. *et al.*; 1996).

Esta retención de sólidos en la biopelícula da lugar a la biodegradación de materia orgánica.

### **- Materia Orgánica**

Los procesos metabólicos microbianos juegan un papel fundamental en la eliminación de compuestos orgánicos en los ambientes aeróbicos/anaeróbicos de los humedales subsuperficiales (Morató, J.; Delgado S.; 2004), aprovechando

la formación de biopelícula bacteriana en la piedra (Characklis, W.G.; y Marshall, K.C.; 1990).

La mayoría de las reacciones bioquímicas que transforman los contaminantes se producen en las interfases sólido-líquido y en el medio granular especialmente a nivel del biofilm. De hecho, la mayor parte (>99,9%) de la biomasa microbiana presente en sistemas naturales se encuentra adherida en las distintas interfases presentes en el medio, especialmente entre sólido-líquido.

A partir de unas ciertas condiciones del medio, las bacterias sintetizan productos extracelulares poliméricos con los que se van adhiriendo a la piedra formando colonias estables que aseguran un intercambio de gases y alimentación entre sus miembros. Un exceso de crecimiento del biofilm formado hace que la alimentación no llegue a las capas más profundas, que así empiezan a desprenderse regulando de forma automática en cada caso, el tamaño de la biopelícula sobre la piedra.

Como ya hemos comentado, un aumento en las condiciones anaerobias del sistema, anaerobiosis adicional, hace que la síntesis “excesiva” de exopolímeros acabe colmatando el DPAF.

Las débiles interacciones electrostáticas superficiales piedra/sustrato atraen la materia orgánica a las zonas inmediatas a los biofilms que recubren la superficie del medio granular, facilitando su degradación. De hecho las poblaciones adheridas asimilan de 2 a 5 veces más glucosa y presentan unas tasas de rendimiento más elevadas que las células en suspensión (Fletcher, M.; 1986).

La materia orgánica presente en el agua residual se puede clasificar en particulada y disuelta. La materia orgánica asociada a la materia en suspensión quedará retenida tal y como se ha descrito anteriormente. Así habrá una reducción de la  $DBO_5$  asociada a los sólidos retenidos. La degradación de la materia orgánica disuelta se produce por la presencia de los microorganismos que forman la biopelícula.

Es conocido que las bacterias aerobias obtienen con un mismo sustrato más energía que las bacterias anaerobias y que además el proceso es más eficiente en degradación ya que se consigue la rotura total de las moléculas hasta  $CO_2$  y  $H_2O$  (Wandrey, C.; Aivaisidis, A.; 1983).

#### **-Mecanismos de transporte de aguas negras, Zona Run**

Con respecto a la evacuación de las aguas negras a través del dren es necesario establecer los fenómenos de transporte que ocurren al paso del agua por el lecho de piedras.

En la circulación del agua a través de un medio poroso se dan fenómenos de convección, difusión y dispersión, veamos cómo se manifiestan éstos en el dren de piedras.

#### *Convección:*

El flujo de agua a través de medios porosos ha sido largamente estudiado en el campo de la hidrología subterránea, la geología y la geotecnia. La primera descripción la hizo Darcy asociando el flujo a un gradiente de presiones. Su ecuación se usa con frecuencia para describir el flujo a través de un medio poroso y también para el diseño hidráulico de los sistemas de tratamiento bajo piedra con flujo subsuperficial (Fischer, A.; 1990).

La ecuación indica que la velocidad lineal media del agua al circular a través de un lecho poroso es directamente proporcional a la conductividad hidráulica del medio granular y al gradiente hidráulico del lecho e inversamente proporcional a la porosidad.

Idelchick (Idelchick, I.; 1986) dio una correlación de la conductividad para un medio poroso anguloso de tamaño uniforme, en ella se observa que la influencia de la variable porosidad en la conductividad hidráulica es muy importante. A mayor porosidad mucha mayor conductividad. La conductividad hidráulica además es muy sensible al orden en que están dispuestas las partículas en el lecho, pudiendo variar aquella hasta en un orden de magnitud (Chiva, J.; 2004). En este sentido las piedras se han dispuesto en el DPAF en el sentido de la circulación del agua, nunca impidiendo el flujo normal, con la intención de proporcionar al lecho la máxima conductividad.

#### *Difusión:*



La difusión es el transporte por gradientes de concentración. Un soluto en el agua siempre se mueve de una zona con mayor concentración de un determinado elemento a una zona de menor concentración. A este proceso se le llama difusión molecular. El transporte de masa por difusión es proporcional al gradiente de concentración entre un punto y los otros adyacentes y se produce sin que haya movimiento del agua.

#### *Dispersión mecánica:*

El agua que circula a través de un medio granular se mueve a velocidades más grandes o más pequeñas que la velocidad lineal media, provocando dispersión del frente de soluto que avanza con el agua. Existen tres causas básicas que provocan el fenómeno de dispersión (Bear, H.; 1972):

Tamaño (algunos poros son más grandes que otros, lo que provoca que el fluido que atraviesa éstos vaya más rápido).

Camino de recorrido (algunas partículas del fluido circulan por caminos bastante más largos que otras, recorriendo ambas la misma distancia lineal).

Fricción (el fluido que se mueve a través de los poros se mueve más rápido en el centro de los poros que en la parte próxima a los granos).

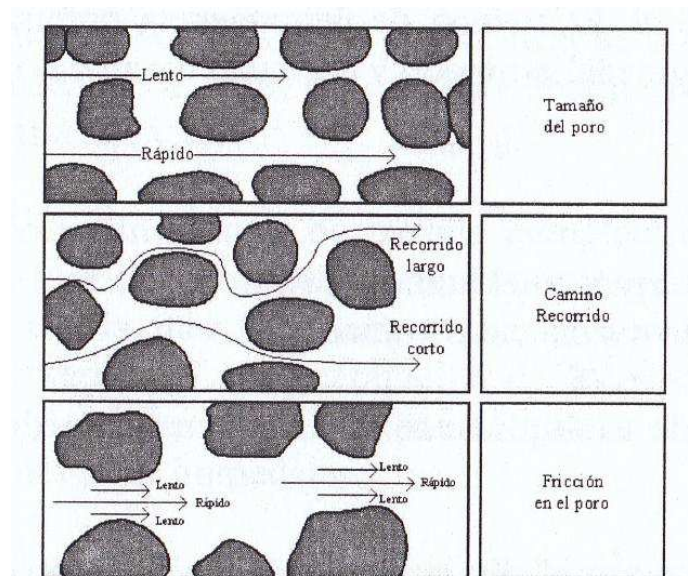


Imagen 19. Factores que causan dispersión longitudinal a la escala de poros individuales.

Modificado a partir de (Fetter,C.; 1993)



La dispersión mecánica resulta en una dilución del soluto a medida que el frente avanza, lo que confirma la hipótesis de la sedimentación lamelar multiespacial en el dren. La mezcla que aparece en la dirección del flujo del agua se denomina dispersión longitudinal. El avance del frente de soluto también tiene tendencia a extenderse en la dirección normal del flujo porque a escala de los poros, los caminos de circulación pueden diverger. Esta es la dispersión transversal, menor a la longitudinal en un orden de 6 a 20 veces.

## 2.5 Biocanal

Las aguas residuales urbanas contienen nutrientes como nitrógeno y fósforo, que provienen principalmente de los detergentes y jabones. Las plantas de pantano pueden alimentarse de estos nutrientes, por lo que los toman del agua y los aprovechan para su crecimiento.

Incorporando el sistema de filtros-jardinera o biocanales, se puede reutilizar hasta un 70% del agua que ingresa en el filtro. El agua sale mucho más limpia de lo que entra y puede ser utilizada para riego de árboles, jardines o plantas ornamentales. También se puede instalar un biocanal para tratar las aguas residuales urbanas antes de su vertido a un cauce cumpliendo así los requisitos legales actuales. El 30% del agua restante, las plantas utilizan una parte para su crecimiento y evaporan otra.

El influente de aguas grises, saliendo de un pretratamiento donde eliminemos las grasas y la mayoría de los sólidos en suspensión, se pueden pasar a través de un biocanal, que hace las veces de biofiltro, y consiste en una excavación rellena con piedras, donde se colocan plantas tipo aneas, juncos, césped común de caña, carrizos, etc.

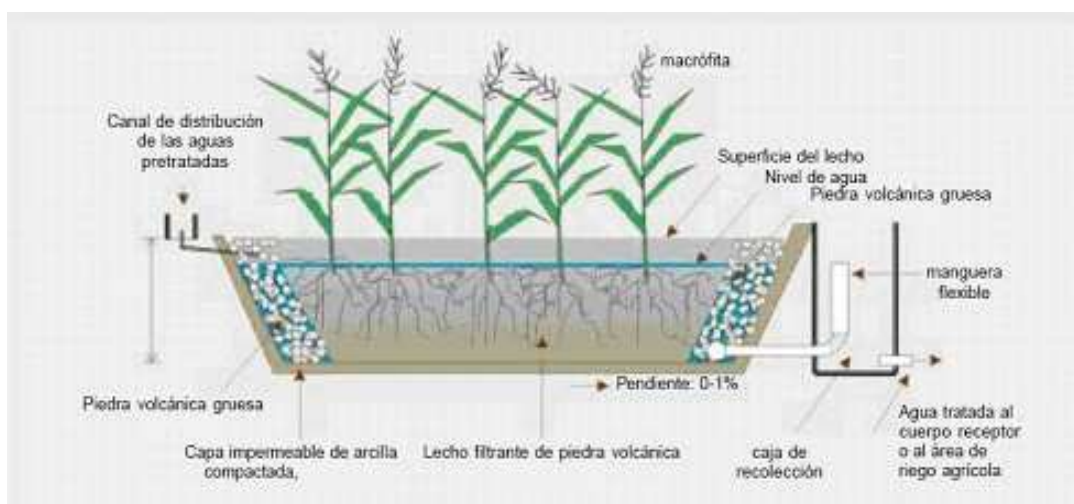


Imagen 20. Esquema biocanal.



De esta manera se le da un tratamiento físico por filtración horizontal y biológico por la extracción de materia orgánica que hacen las plantas, además de la inoculación de oxígeno que simultáneamente se estará llevando a cabo por medio de las raíces. Los efluentes, de mucha mejor calidad, pueden ser reutilizados o vertidos con seguridad de no estar contaminando los lugares en cual se vierten, como es el caso de Pruna, donde actualmente las aguas residuales urbanas vierten a un arroyo cercano sin tratamiento alguno.

Algunas de las condiciones para su construcción son:

- El terreno debe ser plano con pendientes no mayores del 5%.
- Su ubicación debe estar en una parte más baja que el punto de concentración de las aguas grises.
- Debe haber suficiente espacio para la construcción del mismo. Ya que se necesita una amplia extensión.

#### **2.5.1.1 Material de relleno del Biocanal**

El material de relleno del biocanal debe cumplir con las siguientes exigencias:

- Alta resistencia contra el desgaste químico de las aguas residuales.
- Tener una superficie rugosa (porosidad, 50%), que es la base para el establecimiento de una población bacteriana apropiada.
- Dureza suficientemente alta, para no quebrarse con el peso de personas o equipos livianos

Es relleno de la biojardinera se hace en estratos de diferente granulometrías: en los dos primeros metros, zona de entrada, y los últimos 1,5 metro, zona de salida, se utiliza piedra más gruesa de diámetro entre 100mm y 150 mm, mientras que el resto del lecho filtrante del biocanal se rellena con material de granulometría más fina entre 20mm y 50 mm, formando un lecho homogéneo del mismo material.

En el caso de la depuradora de aguas residuales de Pruna (Sevilla) el material de relleno utilizado será piedra de cantera machacada, de distintas granulometrías, la cual será separada y clasificada por tamaños. Este material además de cumplir con las exigencias de técnicas destaca por su bajo coste y será también utilizado en el relleno del Dren de Aireación Forzada (DPAF).

### 2.5.1.2 Tipos de plantas

Las plantas a sembrar se pueden seleccionar en base a la eficiencia proporcionada en el tratamiento de aguas residuales. Hasta la fecha se tiene información fundamentada sobre el uso de plantas como el platanillo (*Heliconia*), zacate taiwán (*Penistetum purpureum*), carrizo (*Phragmites Australis*), tule, (*Typha domingüensis*), *Cyperus articulatus* y *Phalaris arundinacea*.

Todas estas plantas resultan efectivas en el tratamiento de aguas residuales y pueden indistintamente elegirse si se desea obtener algún efecto u obtener algún provecho de ellas. Por ejemplo, el zacate Taiwán puede utilizarse como alimento de ganado vacuno.

Sin embargo, cuando se desea en mayor medida eliminar gérmenes patógenos, la planta más conveniente a utilizar es el carrizo (*Phragmites Australis*), pues se ha comprobado que esta planta aumenta la eficiencia del Biofiltro en la eliminación de bacterias coliformes fecales. Además si hay presencia de metales pesados en las aguas residuales, *Phragmites* y *Typha* son las plantas que eliminan mayor cantidad de estos compuestos. Otras plantas muy interesantes son:

- Las aneas (*Typha* spp.) son fuertes y fáciles de propagar. Eliminan muy eficientemente grandes cantidades de nitrato y de fosfatos.

- Los juncos (*Schoenoplectus* spp., *Scirpus* spp.) crecen en grupos y crecen bien en aguas de baja profundidad. Estas plantas logran una eliminación alta de contaminantes.

-Céspedes de caña (*Phragmites Australis*) son plantas altas con raíces profundas, que permiten más oxígeno a alcanzar la zona de raíz que las dos plantas descritas previamente.



Imagen 21. De izquierda a derecha, aneas, juncos y césped de caña.

En nuestro caso, la EDAR de Pruna seleccionaremos estas tres ultimas especies por ser propias del clima mediterráneo.

Además de una acción de saneamiento de las aguas con este biocanal se pretende recuperar el paisaje cercano a la EDAR muy deteriorado y con poco valor paisajístico.



### 3 Justificación de la solución adoptada

#### 3.1 Evaluación de la planta

- Obra de llegada

Elevación de agua bruta: equipos irrecuperables. Instalación de nuevo bombeo.

Las actuaciones referidas a este punto se recogen en el proyecto complementario a este que forman en su conjunto el proyecto total de las actuaciones para la recuperación de la EDAR de Pruna, Sevilla.

- Pretratamiento

.Los equipos de desarenado y desengrasado están siendo objeto de estudio para su resuperación o sustitución por nuevos. Se debe de llevar a cabo una limpieza y adecuación de la obra civil en este caso.



Imagen 22. Estado pretratamiento.

Las actuaciones referidas a este punto se recogen en el proyecto complementario a este que forman en su conjunto el proyecto total de las actuaciones para la recuperación de la EDAR de Pruna, Sevilla.

- Tratamiento primario

Laguna anaerobia: Se encuentra en un buen estado de conservación, por lo que se pueden poner en funcionamiento sin ningún tipo de actuación en particular más que una limpieza.

- Cuadro eléctrico

Inexistente, la total sustracción del mismo obliga a planear la instalación completa de nuevo.

Las actuaciones referidas a este punto se recogen en el proyecto complementario a este que forman en su conjunto el proyecto total de las actuaciones para la recuperación de la EDAR de Pruna, Sevilla.

- Preaireación:

El aireador en si esta inutilizable por su deterioro. Se plantea la sustitución por una escalera oxigenación. Tecnología cuya aplicación esta desarrollada en el Proyecto Fin de Master en Ingeniería del Agua de la Universidad de Sevilla "Tratamiento de aguas servidas con escaleras de oxigenación en pequeñas comunidades campesinas de la sierra peruana: Caso de las comunidades de Huaccoto y Kircas" Realizado por Carlos Luna Loayza con fecha de Junio del 2008. El presente proyecto se hará referencia a ella en el apartado de actuaciones a llevar a cabo y en la memoria de cálculos. Pero no entra en excesivo detalle en su cálculo o construcción, debido a que este elemento es objeto de un proyecto de investigación anexo a este.



Imagen 23. Estado de preaireación.



- Tratamiento secundario

Se basa en la depuración por lechos de turba, pero el abandono de las instalaciones imposibilita la recuperación de los mismos. Con los elevados costes que supondría la reposición de la turba y los sustratos filtrantes.



Imagen 24. Estado lechos de turba

Este es el objetivo principal del presente proyecto y nos detenemos a evaluar las diferentes alternativas tecnológicas.

### 3.2 Criterios de selección

Se establecen una serie de criterios de selección para poder elegir una de las distintas alternativas preseleccionadas:

- Sistema de depuración por lechos de turba.
- Sistema de depuración por humedales artificiales.
- Sistema de depuración por Drenes de Piedras de Aireación Forzada (DPAF).
- Sistema de depuración por Biocanal.

Hay que tener en cuenta que este proyecto diseña la transformación de una EDAR, existente previamente, por su deterioro y desuso, pero donde muchas infraestructuras pueden ser reutilizadas. Por ello la optimización de lo ya diseñado y construido reportará a la ejecución menores costes económicos y menor tiempo de ejecución.

El plano económico destaca en toda clase de proyectos, aunque en este en concreto se deben tener una serie de consideraciones. Dada la maltrecha economía del Ayuntamiento de Pruna, al igual que una gran cantidad de localidades de nuestro país, la financiación para dicho proyecto proviene del denominado como **Plan E**, “Plan Español para el estímulo de la economía y el empleo”, del gobierno de España. Por lo que además de intentar seleccionar sistemas de depuración que no tengan elevados costes de mantenimiento y explotación, que son los que deben de asumir la localidad. Debemos de tener en cuenta que el presupuesto de 115.000 euros para la ejecución del presente proyecto debe de destinar una partida mayoritaria al empleo de trabajadores, intentando fomentar, en la medida de lo posible las actuaciones con medios manuales frente a la de maquinaria.

Otro factor a tener en cuenta es que, hoy por hoy, el entorno donde se ubica la estación depuradora de aguas residuales en Pruna, esta muy deteriorado, por lo que se intentará no sólo obtener el menor impacto ambiental sino que también mejorar en la medida de lo posible el entorno, erradicando el problema de olores ,que actualmente posee la zona, como adecentándola estéticamente.

Para ello vamos hacer un repaso por las diferentes ventajas e inconvenientes de los distintos sistemas de depuración planteados:

### 3.3 Lechos de Turba

#### Ventajas:

- ✓ Elevado grado de depuración de los vertidos, gracias a los procesos fisicoquímicos que tienen lugar en el sustrato filtrante.
- ✓ Elevada capacidad para absorber sobrecargas hidráulicas y orgánicas.
- ✓ Tienen un buen comportamiento a bajas temperaturas.
- ✓ Requieren de poca superficie para su implantación.
- ✓ Sencillez de operación.
- ✓ Costes de explotación y mantenimiento moderados:
  - Las labores de mantenimiento no necesitan personal cualificado.
  - Inexistencias de averías al carecer de equipos mecánicos.
  - No producen lodos sino una costra fácilmente manejable.
- ✓ Escasos impactos ambientales:
  - Ausencia de ruidos.
  - Ausencia de olores.
  - Escaso impacto visual.

#### Inconvenientes:

- ❖ Dependencia de las condiciones pluviométricas, que inciden en los tiempos necesarios de secado de la costra superficial y, por tanto, a la superficie necesaria de los lechos.
- ❖ Mayor mano de obra para su mantenimiento, al tener que procederse al final de cada ciclo de filtración a la regeneración de los lechos agotados.
- ❖ Necesidad de proceder a cambiar la turba cada 6-8 años.
- ❖ Los efluentes suelen presentar una ligera coloración amarilla.
- ❖ El coste muy alto de la Turba.

### 3.4 Humedales Artificiales

#### Ventajas

- ✓ Sencillez operativa, al limitarse las labores de explotación al corte y retirada de la vegetación una vez seca.
- ✓ Consumo energética nulo, si las aguas residuales a tratar pueden circular por gravedad hasta los humedales.
- ✓ Inexistencia de averías al carecer de equipos mecánicos.
- ✓ En el caso de los HAFS y de los HAFSs de flujo horizontal, al operar con elevados tiempos de retención, se toleran bien las puntas de caudal y de carga.
- ✓ Perfecta integración ambiental.

#### Inconvenientes

- ❖ Exigen una mayor superficie de terreno para su implantación.
- ❖ Larga puesta en marcha que va desde meses hasta años dependiendo del tipo de humedal.
- ❖ Los de flujo subsuperficial presentan problemas de colmatación del sustrato a lo largo de su vida útil.
- ❖ Pérdidas de agua por evapotranspiración, lo que incrementa la salinidad de los efluentes depurados.
- ❖ Posible aparición de mosquitos en los humedales de flujo superficial.
- ❖ Presentan pocas posibilidades de actuación y control ante modificaciones de condiciones operativas.

### 3.5 Drenes de aireación forzada, DPAF

#### Ventajas

- ✓ Tiene un buen comportamiento a bajas temperaturas. Ya que los procesos biológicos que se ven más afectados por este factor, se dan en la parte baja del dren aislado del contacto atmosférico directo.
- ✓ Impide la aparición de mosquitos por tener un régimen subsuperficial de las aguas.
- ✓ Es independiente de las condiciones pluviométricas.
- ✓ Elevado grado de depuración de los vertidos, gracias a los procesos fisicoquímicos y biológicos que tienen lugar en el sustrato filtrante.
- ✓ Ausencia de personal de operación.
- ✓ Evita la anaerobiosis adicional que provoca los entrapamientos del dren forzando una circulación de aire sin costes.
- ✓ Requiere poca superficie para su implantación. El dren aprovecha la circulación en flujo pistón de las aguas negras requiriendo menores volúmenes que la mezcla completa.
- ✓ Bajos costes de explotación y mantenimiento:
  - Las labores de mantenimiento no necesitan personal cualificado.
  - Inexistencias de averías mecánicas.
- ✓ Escasos impactos ambientales:
  - Ausencia de ruidos.
  - Ausencia de olores.
  - Escaso impacto visual

#### Inconvenientes:

- ❖ Mayor mano de obra para su mantenimiento, al deber controlar la altura de fangos en los canales para evitar entrapamientos.
- ❖ El rendimiento respecto a eliminación de materia orgánica y sólidos en suspensión depende del Caudal que reciban. Lo que nos limita la aplicación a poblaciones de un tamaño pequeño para obtener buenos rendimientos.
- ❖ Necesita de otro tratamiento de afino, en este caso el biocanal, para conseguir depurar las aguas hasta los niveles exigidos para su vertido.

### 3.6 Biocanal

#### Ventajas

- ✓ Escasos impactos ambientales:
  - Ausencia de ruidos.
  - Ausencia de olores.
  - Escaso impacto visual
- ✓ Mejora la calidad paisajística y recupera las zonas colindantes a la EDAR, muy deterioradas.
- ✓ Complementa perfectamente a otras tecnologías no convencionales.
- ✓ Elimina nitrógeno y fosfatos de las aguas residuales urbanas que sirven de nutrientes a las plantas.
- ✓ Bajos costes de explotación y mantenimiento:
  - Las labores de mantenimiento no necesitan personal cualificado. Labores de Jardinería.
  - Inexistencias de averías mecánicas.

#### Inconvenientes

- ❖ Requiere mucha superficie para su implantación con rendimientos aceptables. La cual sería inasumible sino lo utilizáramos como sistema de afino de un método de depuración de aguas previo.
- ❖ Presentan pocas posibilidades de actuación y control ante modificaciones de condiciones operativas.
- ❖ Pérdidas de agua por evapotranspiración, lo que incrementa la salinidad de los efluentes depurados.



### **3.7 Solución adoptada**

Viendo las ventajas e inconvenientes de todos los sistemas de depuración planteados, los existentes y las posibles alternativas, nos decantamos por una combinación de varias tecnologías no convencionales para la depuración de aguas.

Mantendremos las lagunas anaerobias existentes, aprovechando el escaso deterioro de estas infraestructuras y el buen rendimiento de este método de depuración.

Que combinaremos con la transformación de los lechos de turba existentes, por una batería de DPAF en paralelo. Ahorrando así los altos costes que nos supondría en la inversión inicial la compra de turba para los lechos, que son irre recuperables. Además de todas las ventajas técnicas que presenta el DPAF frente a los lechos de turba. Además de ser la opción que más favorece la obra civil y por tanto la contratación de mano de obra. Cumpliendo con los requisitos económicos particulares según el origen de la financiación, Plan E.

Para finalizar la depuración del influente se tratará el agua a la salida de los drenes con un biocanal que además de depurar el agua hasta los mínimos exigidos para su vertido con total seguridad. Adecentan y embellecen los alrededores de la EDAR deteriorados y con escaso valor paisajístico.

## **4 Actuaciones a llevar a cabo**

### **4.1 Obra de llegada y pretratamiento**

Readecuación de la obra de llegada, saneándola y modificando su vertedero para adaptarlo al volumen de vertido actual de la población.

Limpieza y adecuación de la obra civil del pretratamiento con inclusión de equipos de tamizado y eliminación de grasas y arenas.

El dimensionamiento, cálculo y pormenores entra dentro de otro proyecto fin de carrera junto con la puesta en marcha de nuevos sistemas de bombeo.

### **4.2 Bombeos**

Se llevará a cabo la instalación de dos equipos de bombeo. El primero de ellos para proporcionar cota a la red de saneamiento completa de la población asegurando que todos los vertidos de la misma se reciben en la EDAR. El segundo bombeo será el que permita la circulación del agua en su interior por gravedad ya que las bombas existentes presentan tal deterioro que es imposible su aprovechamiento.

El dimensionamiento, cálculo y pormenores del sistema de bombeo no son objeto del presente proyecto.

### **4.3 Lagunas Anaerobias**

Aquí las actuaciones son mínimas, por encontrarse las lagunas en perfecto estado. Se procederá al vaciado de una pequeña cantidad de agua residual, a la limpieza y el acondicionamiento de estas para volver a ser puestas en funcionamiento.

### **4.4 Escalera de oxigenación**

Será el elemento que vehiculará las aguas residuales entre las lagunas anaerobias y la batería de Drenes de Aireación Forzada (DPAF). Al mismo tiempo que las vehicula introduce oxígeno en estas aguas, provenientes de lagunas anaerobias, y deficitarias de oxígeno. Esta introducción de oxígeno tienen una doble función, favorece los procesos aerobios de metabolización de materia orgánica en los drenes, desfavoreciendo a su vez lo que se ha definido como una anaerobiosis adicional (Ver en justificación de la solución adoptada), con la producción de PHB que favorecen el entrapamiento de los drenes.

Básicamente consiste en una serie de escalones donde el agua vierte desde las lagunas por desborde y va recorriendo la escalera por cada uno de sus

peldaños. En cada salto de agua, esta demostrado y comprobado experimentalmente que se obtiene una oxigenación del agua a tratar. El dimensionamiento, cálculos y realización de esta escalera se realiza siguiendo las especificaciones del Proyecto Fin de Master en Ingeniería del Agua de la Universidad de Sevilla "Tratamiento de aguas servidas con escaleras de oxigenación en pequeñas comunidades campesinas de la sierra peruana: Caso de las comunidades de Huaccoto y Kircas" Realizado por Carlos Luna Loayza con fecha de Junio del 2008. Aunque los datos fundamentales para nuestro proyecto se reflejan en la sección de memoria de cálculos, la totalidad del proyecto se puede consultar en la base de datos del Master en Ingeniería del Agua de la Universidad de Sevilla en la dirección [aula.aguapedia.org](http://aula.aguapedia.org).

#### **4.5 Drenes de Piedras de Aireación Forzada (DPAF)**

##### **4.5.1 Obra Civil**

Eliminamos mediante medios mecánicos todos los tabiques interiores de la parcela hormigonada que contiene los 9 lechos de turba. Este espacio generado se divide en dos vertederos separados por una batería de 45 drenes según el esquema (ver planos). Se aprovechan estos escombros para conformar la separación entre drenes.

El muro que separa el vertedero a la cabeza y la batería de drenes se realiza mediante obra civil de ladrillo hueco doble con motero de cemento (1:6) y embarrado con mortero de cemento (1:8) siguiendo una configuración determinada (ver plano) para permitir la entrada de las aguas en los distintos drenes por la parte inferior. Mientras que el muro que separa los drenes y el vertedero de salida descargara por rebose, estando construido de la misma forma que el anterior. La división entre los propios drenes y los vertederos se hace mediante obra civil también de ladrillo hueco doble con motero de cemento (1:6) y embarrado con mortero de cemento (1:8), promocionándole la forma trapezoidal a los canales. (Ver planos adjuntos). Los drenes se dividen en tres tramos de 8.5m, 9m y 8.5 m respectivamente, separados entre si por dobles tajaderas o diques.

##### **4.5.2 Impermeabilización**

La impermeabilización de la batería de drenes y de los muros de los vertederos es un requisito fundamental para evitar la infiltración al terreno y a posibles acuíferos de la zona las aguas fecales de origen urbano que estamos tratando. Se realiza con Polietileno de Alta densidad, PEAD, de 1,5 mm de espesor que ha sido extendido en toda la longitud de los 45 canales.

En el presente proyecto no es necesario, por este motivo en concreto, ya que la batería de drenes esta construida sobre la losa de hormigón que contenía los lechos de turba y que es totalmente impermeable. La impermeabilización es necesaria para evitar cortocircuitos hidráulicos donde el agua de un dren pase

al seguidamente posterior o anterior, o entre el vertedero de salida y la batería de drenes. Y como medida de seguridad por posible defectos del hormigón que pertenece al proyecto de la EDAR previo a este.

A partir de aquí se explica el proceso de construcción de un dren, teniendo en cuenta que será repetido para los 45 que forman la batería de DPAF.

#### **4.5.3 Construcción de tajaderas para asegurar la correcta circulación del agua**

La pendiente proporcionada al canal producirá velocidades elevadas en la circulación del agua y por tanto tiempos de retención escasos en el interior del dren. Esto dificultaría el desarrollo de procesos biológicos con rendimientos apreciables para la mejora de la calidad del agua mientras es transportada. Por ello, se corrigen estos efectos con la instalación de diques para la retención de agua, garantizando un cierto nivel en el interior del dren en su conjunto. Dichos diques se construyen en PEAD (Poliétileno de alta densidad) de 1,5 mm de espesor, al final de cada tramo del dren a modo de separación.



Imagen 25. Tajadera de PEAD fijada.



Imagen 26. Colocación tajadera de PEAD.

Para asegurar que el agua en su recorrido a través del dren ocupa todo el volumen útil, se han instalado 3 pares de diques al final de cada tramo del dren, donde la primera vierte el agua por rebose y la siguiente por debajo, obligando al fluido a recorrer un circuito determinado. Haciendo que el fluido ocupe todo el volumen útil dentro del dren, aumenta el contacto agua-fondo en un beneficio de un mayor rendimiento del sistema en eliminación de materia orgánica.

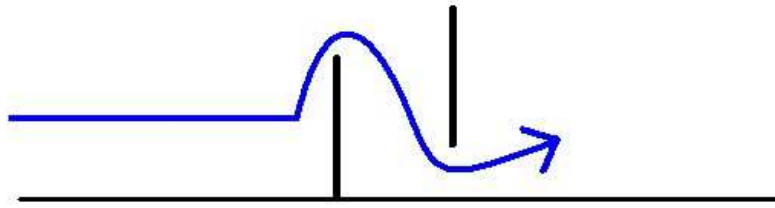


Imagen 27. Recorrido del agua por los diques.

Los diques se han construido soldando por calor con material de aporte, y recortando en la parte superior o inferior, según tajadera, 20 mm de altura de dique.

#### 4.5.4 Relleno de piedras de los drenes

Las piedras son el material de relleno seleccionado por una razón primordialmente. Cumplen el óptimo económico a la hora de cumplir su función de filtro natural y soporte para la vida bacteriana que realizará la digestión de la materia orgánica, tan presente en las aguas residuales, a la vez que facilitan el aporte de oxígeno al sistema y tienen un coste muy bajo.

La piedra es clasificada por tamaños en tres grandes grupos, las de mayor volumen (con tamaños comprendidos entre 200mm y 150 mm), de volumen medio (entre 150mm y 100 mm) y piedra pequeña (de 100 mm a 50 mm).



Imagen 28. Clasificación de la piedra en distintos tamaños.



Las piedras se disponen en los 3 tramos del canal siguiendo una deposición determinada. De mayor a menor tamaño, en orden ascendente, siguiendo la diagonal que se forma entre el punto más alto del inicio del tramo del dren y el más bajo, o más profundo del final del tramo del mismo.

Las piedras deben ser lavadas en la medida de lo posible para aportar la menor cantidad de áridos posibles que después puedan provocar obstrucciones.

Posteriormente se van colocando a mano, una por una, todas las piedras de mayor tamaño en el espacio inferior que delimitó la diagonal trazada. De esta forma, una vez colocadas, se observará un relleno en el dren o canal con forma de “cuña” de piedras de mayor tamaño. Las piedras deben instalarse en sentido longitudinal según la forma, evitando que estas quedaran perpendiculares al flujo del agua para favorecer al máximo su circulación, confiriendo a la piedra un carácter de elemento vehiculador del agua y no de obstáculo.



Imagen 29. Trazado de la diagonal para la colocación de piedras.

La sección superior que ha delimitado la diagonal se rellena con piedra de tamaño progresivamente menor. Una sección transversal de un tramo del dren, en su punto medio mostrará alturas aproximadamente iguales de piedra de tamaño diferente. La inferior formada por piedra grande, que soporta encima una cierta altura de piedra mediana para completarse finalmente con un lecho de piedra pequeña. Las secciones transversales iniciales y finales de cada tramo del dren mostrarán rellenos completos de piedra grande y piedra pequeña respectivamente.

En el interior del dren, como consecuencia de ser un elemento de transporte de agua residual, cargada por tanto de materia orgánica y microorganismos, se van a producir procesos biológicos de degradación de la citada materia orgánica. El dren se diseña mediante un sistema que pretende evitar la “anaerobiosis adicional” en su interior. Para ello se hace imprescindible propiciar la entrada de la mayor cantidad de aire



posible al agua que circula en régimen subsuperficial entre las piedras. Por ese motivo se ha instalado la piedra con la disposición descrita. Además de la entrada de aire hay que tener prevista la respiración del dren, la evacuación de los gases producidos por los procesos biológicos que se dan en su interior.

#### 4.5.5 Aireación del dren

A lo largo del dren se instalan aireadores para facilitar la entrada de aire y por tanto la oxigenación en su interior. Se define como aireador el lugar del dren donde toda la altura esta formada por piedras grandes y con un hueco en medio, interrumpiéndose por tanto la diagonal de piedras descrita, para facilitar la entrada de oxígeno. Los aireadores llegan hasta la superficie y no quedan cubiertos y sellados por materiales de granulometría escasa como el resto del dren.

Han sido dispuestos equidistantes entre sí en los tres tramos del dren, habiéndose instalado dos aireadores por tramo. Realmente estos aireadores son arquetas autoconstruidas que, si bien permiten la entrada de aire al dren, proporcionan así mismo acceso a su interior en diferentes puntos para las labores de mantenimiento, toma de muestras y control.

La construcción de estas arquetas o pozos se ha realizado con la ayuda de un molde rígido, trozo de tubo de PVC de 250 mm de diámetro, que se dispone verticalmente en el lugar donde se vaya a instalar el pozo o aireador.



Imagen 30. Autoconstrucción de pozo



Imagen 31. Retirada del molde.

Alrededor del molde se han colocado las piedras de tamaño grande de manera ordenada y trabadas entre sí, hasta la superficie del canal. Finalmente se ha retirado el molde procurando mantener el pozo estable.

Los pozos se recubren con lascas grandes de piedra para evitar caídas, dicha cubierta se ha recrecido sobre el nivel del suelo para que no fuera tapada con la cubierta general del dren y así permita el paso de aire a través suyo.



Imagen 32. Cubierta y recrecido recrecido

Los sistemas de flujo subsuperficial de agua son, en general, susceptibles de colmatación del medio granular si el agua que transportan tiene contenidos elevados en determinados contaminantes, además disponen de pocos o ningún factor de control durante su funcionamiento, en muchos casos sólo se puede controlar la profundidad del agua (García, J; 2004). La disposición de los pozos descritos permite atajar estos problemas ya que proporcionan un acceso directo al interior del dren para su mantenimiento, limpieza, seguimiento y control. Uno de ellos si estará sellado y su función es únicamente de mantenimiento.

#### 4.5.6 Respiración del dren

Para facilitar la salida de los gases que se producirán como consecuencia de los procesos biológicos de degradación de la materia orgánica, mayormente  $\text{CO}_2$  y metano  $\text{CH}_4$  se han instalado respiradores en el dren de piedras.

Los respiradores se construyen con tubos de PVC DN de 90 mm y de 1 metro de longitud que se sitúan verticalmente entre las piedras a lo largo del dren.

En la base de cada tubo se practican dos aberturas opuestas, para permitir el paso del agua, con una sierra de calar. Por encima se realizan un total de 6 orificios, opuestos dos a dos, utilizando un taladro con corona de 54 mm de diámetro. Todos los huecos son limados en sus bordes para suavizarlos y evitar depósitos de virutas plásticas en el dren.



Imagen 33. Autoconstrucción de los respiradores

Cada respirador se asienta en la base del canal soportado por un nicho de piedras que permita el paso del flujo de agua a su través.

Su disposición en cada tramo del dren es idéntica. Se instalan tres respiradores por tramo, de tamaño grande, uno al inicio, otro en su punto medio y otro al final del tramo. Los dos primeros de cada tramo estará sellados y serán sólo para control del sistema.



Imagen 34. Instalación de los respiradores en el dren.

A través de estos tubos respiradores es posible acceder al interior del canal para toma de muestras y estudio de las alturas de agua y fango.

En los planos que se adjuntan quedan recogidas las medidas de los respiradores y acotadas con sus posiciones en el dren.

#### **4.5.7 Recubrimiento superior del dren**

El dren se debe recubrir para evitar la entrada de agentes externos, restos vegetales del entorno en su mayoría, que pudieran obstruir los huecos interiores del dren, provocando obstrucciones y caminos preferenciales dentro del mismo.

La primera capa, se dispone con grava de tamaño comprendido entre 20-10mm. Se extiende uniformemente a lo largo de los 26 m del dren, cubriendo las piedras y diques, de manera que sólo quedan visibles los tubos respiradores y la parte superior de los pozos aireadores.

A continuación se extiende una segunda capa de gravilla de tamaño comprendido entre 10-5 mm. El espesor medio de ambas capas debe ser de aproximadamente 70 mm. Para el acabado final se extiende una capa de 70 mm de espesor medio de arena

Una vez extendidos los rellenos, la capa superior se compacta con medios manuales. Para ello se han auto construido pisones de madera con los que se ha trabajado mientras se humedecía el terreno con regaderas para favorecer su compactación.

Uno de los principales motivos por los que la circulación de agua en régimen subsuperficial ocasiona principalmente problemas de colmatación, es el aporte continuado de materiales finos inertes debido, por ejemplo, a la escorrentía superficial (García, J.;2004). Con la construcción de la cubierta descrita, el dren de piedras queda totalmente sellado en toda su superficie exterior, de manera que en ningún momento penetran en él las aguas de lluvia o escorrentía superficial.

Para facilitar la evacuación de las aguas pluviales y evitar la formación de charcos en el canal, la cubierta se elabora con una pendiente longitudinal del 1% y transversal del 1,5%. A lo largo del lado más bajo de la pendiente transversal se modela, con la propia arena, un canalón y se compacta. De esta manera las aguas pluviales son evacuadas por el mismo.





Imagen 35. Dren con arena compactada y canal de escorrentías.

El canal de escorrentía del dren descarga sobre el vertedero de reunión de agua tratada. Cualquier sólido que pueda arrastrar las aguas pluviales, queda retenido en el vertedero de agua tratada, el cual posee rejillas en sus tuberías de salida.

#### 4.6 Biocanal

Excavación en zanja que discurrirá a la derecha de la EDAR desde la salida de la batería de drenes al arroyo cercano. Las medidas de dicho canal serán 350 m x 12,5 m x 0.5 m, según los cálculos realizados para ello (recogidos en la memoria de cálculos). Su localización y disposición quedan reflejadas en los planos de situación.

La impermeabilización del biocanal es necesaria, al igual que en los drenes, para evitar la infiltración de las aguas fecales, de origen urbano que se tratan en la planta, al terreno y a posibles acuíferos existentes en las inmediaciones.

La impermeabilización se realiza con lámina de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) de 1,5 mm de espesor que se extiende por toda superficie del canal. Se instalan 4.7380 m<sup>2</sup> de lámina de PEAD. La impermeabilización con PEAD se realizan soldando por calor, sin material de aporte, las láminas dispuestas transversalmente en el biocanal.



Imagen36. Corte y detalle de calidad láminas de PEAD.

Una vez realizado la zanja, o el canal propiamente dicho, y tras su impermeabilización, se pasa al rellenado del mismo con un lecho de piedras de diferente granulometría. En los dos primeros metros, zona de entrada, y en los últimos 1.5 m, zona de recolección, se utiliza una piedra gruesa de tamaño (entre 100mm y 150mm de diámetro), mientras el resto del lecho filtrante se rellena con el mismo tipo de material, de tamaño mucho



más fino (entre 20 mm y 40 mm de diámetro) formando un lecho homogéneo con la misma granulometría.

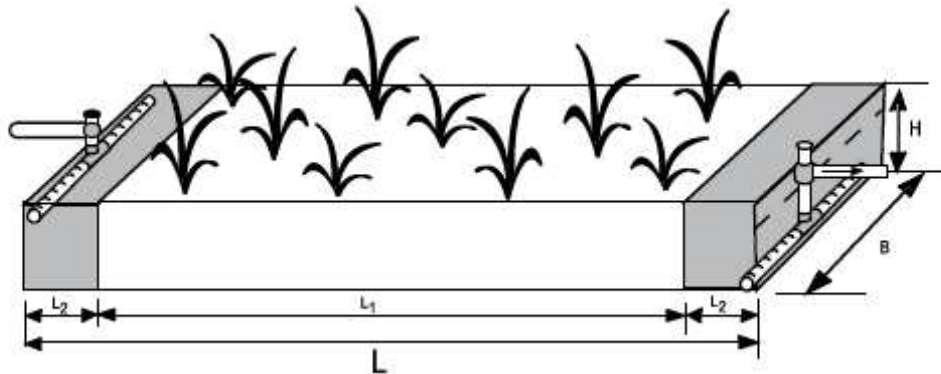


Imagen 37. Esquema genérico de un biocanal.

El agua que llega a la biojardinera se descarga en la parte superior del lecho de piedras mediante una tubería de reparto colocada de forma horizontal con agujeros opuestos dos a dos que permita su distribución a todo lo ancho de la zona de entrada, para que fluya de manera uniforme, estos agujeros son de DN 54, que se practican con un taladro con broca de campana especial para plásticos, en total se practicarán 120 agujeros, 60 a cada lado de la tubería.. Todos los huecos son limados en sus bordes para suavizarlos y evitar depósitos de virutas plásticas en el biocanal.

En el otro extremo existe otro tubo de recolección agujereado al igual que el de reparto, colocado en el fondo de la biojardinera, conectado con una tubería de salida, que estará siempre 10 cm por debajo de la superficie, que permite conducir el agua, hasta el punto de vertido al cauce cercano.

Posteriormente se pasará al sembrado de las plantas que realizarán la acción de biofiltro. Siempre se deben sembrar una semana después de que el sistema haya comenzado su funcionamiento. Considerando que durante este periodo el nivel de aguas dentro de la biojardinera alcanzará el nivel de salida y existirá un desarrollo bacteriano propicio para la alimentación de las mismas.

En cuanto a las especies se plantan carrizos, juncos y demás plantas de riberas, por ser propias del entorno. Además tienen eficiencia probada en el tratamiento de aguas residuales. La siembra de las especies se debe dejar un espacio de 50 cm entre cada planta en cualquier dirección con el fin de que cuando crezcan las raíces de dichas plantas no entrapen demasiado el lecho de piedras creando caminos preferenciales. En los puntos definidos se escarba el material filtrante desde la superficie hasta por lo menos 15 cm de más abajo del nivel del agua y se rellena el agujero con el material extraído. De ahí se conduce mediante tubería de PVC de DN 200mm para su vertido directo en el cauce.

De esta manera se le da un tratamiento físico por filtración horizontal entre las piedras y biológico por la extracción de materia que hacen las plantas y la inoculación de oxígeno que simultáneamente se estará llevando a cabo por medio de las raíces.



