

MANUAL DE TECNOLOGÍAS NO CONVENCIONALES
PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES



Obra realizada por el CENTA gracias a una subvención concedida por la Agencia Andaluza del Agua de la Consejería de Medio Ambiente y cofinanciada por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

Dirección facultativa: Instituto del Agua de Andalucía

Autores:

Juan José Salas Rodríguez

Juan Ramón Pidre Bocado

Khalid Fahd

Ilustraciones: Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA)

Diseño y maquetación: www.aspectocomunicacion.com

Impresión y Encuadernación: Coria Gráfica

Depósito Legal: SE-2066-07

ISBN 13: 978-84-611-6886-6

ÍNDICE GENERAL

Capítulo I.- Generalidades

Capítulo II.- Aplicación al terreno

Capítulo III.- Lagunaje

Capítulo IV.- Humedales Artificiales

Capítulo V.- Filtros de Turba



Fuensanta Coves
Consejera de Medio Ambiente
Junta de Andalucía

El constante crecimiento demográfico, concentrado en las ciudades, trae consigo la aparición de necesidades y demandas a las administraciones públicas. El deterioro del medio ambiente puede tener muchas procedencias, y uno fundamental es un mal modelo de gestión de los recursos, entre ellos el agua. Hoy en día, una gestión del agua basada en la oferta ya no tiene cabida, por lo que debemos hacer una redefinición del concepto en pro de una gestión más eficaz y equitativa, más respetuosa con la diversidad de nuestros ecosistemas y, sobre todo, más participativa.

La Comunidad Autónoma dispone en estos momentos de una buena cobertura en infraestructuras en materia de saneamiento y depuración. No obstante, existen desequilibrios importantes, que surgen de las características propias del territorio, entre las

grandes ciudades, y las medianas y pequeñas poblaciones que es preciso resolver. Se requieren soluciones imaginativas que logren igualar las condiciones de los servicios en toda la región.

Dadas las directrices de la UE, la Junta de Andalucía trabaja en incorporar las premisas europeas, adaptadas a las características propias del territorio andaluz.

La premisa es una renovada visión de la gestión pública del agua como integrante de un mismo ecosistema. De esta forma, no sólo se implantará un nuevo modelo, sino que se prevé un mayor reparto de competencias entre las administraciones y entidades responsables y se promueve el consumo responsable mediante un sistema de fiscalidad ecológica, teniendo siempre en cuenta que el agua nos afecta a todos por igual. El objetivo es eliminar

esos desequilibrios existentes y a garantizar la prestación de servicios de calidad a todos los ciudadanos y ciudadanas.

En este panorama, la investigación juega un papel muy importante, especialmente en lo referente a la integración del ciclo urbano del agua dentro del ciclo hidrológico natural. El conocimiento, la gestión integral y eficiente, y un consumo responsable, son las claves para lograr un desarrollo sostenible que permita mejorar la calidad de vida de la población respetando la diversidad de nuestros ecosistemas.

Fiel reflejo de la importancia de la investigación es este Manual de tecnologías no convencionales, que recoge en sus páginas el resultado de veinte años de investigación en la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes, y que se presenta como referente dentro del sector científico-técnico. El desarrollo y aplicación de las denominadas tecnologías no convencionales favorecen la implantación de sistemas de depuración más respetuosos con el medio ambiente así como la gestión eficaz de los recursos, dadas las características propias de estas técnicas.

En definitiva, la ciencia aplicada a hacer compatibles las exigencias del desarrollo con la protección del medio ambiente.



Hermelindo Castro Nogueira
Presidente CENTA

El saneamiento y la depuración de las aguas residuales ha sido una preocupación constante por parte de las autoridades competentes a lo largo de los últimos años. Pero cuando nos referimos a pequeñas colectividades, este problema adquiere un matiz diferente, ya que se tiene que hacer frente a una serie de obstáculos que no se dan en otros contextos.

Para proveer de servicios de agua y saneamiento sostenibles a las pequeñas localidades no existe una sola tecnología ni una sola solución. Toda solución debe ser adaptada al entorno ambiental, social y económico de cada caso, especialmente en lo que respecta a las localidades de pequeño tamaño.

Las denominadas Tecnologías no Convencionales (TNC) presentan una serie de singularidades que las

hacen especialmente adaptables a las características de las poblaciones medianas y pequeñas: presentan una gran versatilidad y adaptabilidad, elevada integración en el entorno natural y unos costes de implantación y explotación muy por debajo de los estimados en los tratamientos de las aguas residuales urbanas procedentes de grandes poblaciones, donde las carencias de espacio y las elevadas exigencias en la depuración hacen insustituibles las llamadas tecnologías convencionales.

La Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (PECC) forma parte de una estrategia de I+D+I en materia de depuración de aguas residuales, especialmente enfocada al estudio de las TNC, que se viene desarrollando desde hace casi 20 años en Andalucía y cuya característica más destacable es la de conjugar los trabajos puramente científicos y

de investigación con un extenso conocimiento de la depuración sobre la realidad del territorio.

Desde su puesta en marcha, la PECC ha sido una experiencia pionera y un referente tanto a nivel nacional como internacional. Los trabajos desarrollados en el entorno de esta planta no sólo han servido para mejorar nuestros conocimientos en esta materia sino que, además, han permitido la difusión y la divulgación de los mismos y el traslado de nuestra experiencia a otros territorios, como Marruecos y Latinoamérica.

Las páginas de este documento recogen los resultados de todo este esfuerzo desarrollado a la largo de casi veinte años de experiencia. En este sentido, podemos decir que estamos ante una publicación pionera ya que, en la actualidad, no existe un Manual Técnico sobre Tecnologías no Convencionales, tan específico y que abarque un periodo tan largo de análisis y una diversidad tan amplia de tecnologías.

Esta publicación se compone de cinco monográficos cada uno de los cuales presenta todos los conocimientos adquiridos, tanto a nivel de estudios de I+D+I en la PECC, como a nivel de análisis en el terreno, acerca de una tecnología concreta: lagunajes, humedales artificiales, filtros de turba y procesos de película fija, estando reservado el primero de los monográficos a las singularidades de la depuración en pequeñas colectividades.

Durante estas dos décadas de análisis y estudio, son muchos los técnicos que han aportado su trabajo en esta investigación experimental. Por todo ello, no quiero perder la oportunidad de agradecer el gran esfuerzo y la ilusión que el equipo humano de la PECC ha puesto en este proyecto.

La edición de este Manual no significa el fin de la investigación que se lleva a cabo en la planta, sino el final de una etapa que se cierra con las conclusiones que se presentan en estas páginas. La labor continúa día a día para que el conocimiento científico siga avanzando y para que las tecnologías no convencionales logren alcanzar el máximo valor y utilidad en el sector, dadas las múltiples ventajas que conllevan, tanto medioambientales como eco-nómicas.

CAPÍTULO V

ÍNDICE

1.- INTRODUCCIÓN	17
2.- FUNDAMENTOS	19
3.- ESQUEMAS DE FUNCIONAMIENTO	21
3.1.- Pretratamiento	21
3.2.- Tratamiento Primario.....	24
3.3.- Tratamiento Secundario.....	26
3.4.- Tratamiento Terciario	30
4.- MECANISMOS DE DEPURACIÓN	33
4.1.- La turba: origen, características y propiedades	33
4.2.- Mecanismos de depuración en el tratamiento mediante Filtros de Turba.....	37
4.2.1.- Acciones físicas	38
4.2.2.- Acciones químicas	40
4.2.3.- Acciones biológicas	41
4.3.- Eliminación de los contaminantes presentes en las aguas residuales	42
4.3.1.- Eliminación de sólidos en suspensión	42
4.3.2.- Eliminación de materia orgánica	42
4.3.3.- Eliminación de nutrientes.....	43
4.3.4.- Eliminación de metales pesados	43
4.3.5.- Eliminación de patógenos.....	43

9.- MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE UNA	
INSTALACIÓN DE FILTROS DE TURBA.....	67
9.1.- Desbaste.....	67
9.2.- Tamizado.....	68
9.3.- Desengrasado.....	69
9.4.- Lagunas Anaerobias	69
9.5.- Fosas sépticas y Tanques Imhoff	70
9.6.- Filtros de Turba	70
9.7.- Laguna de Maduración como etapa de afino.....	74
9.8.- Seguimiento del proceso.....	74
9.9.- Anomalías más frecuentes y su solución	78
10.- MEJORAS EN EL COMPORTAMIENTO DE	
LOS FILTROS DE TURBA.....	81
10.1.- Modificaciones en el diseño de los	
Filtros de Turba.....	82
10.2.- Modificaciones en el régimen de operación.....	83
10.3.- Otras posibles aplicaciones de los	
Filtros de Turba.....	84
10.3.1.- Empleo de los Filtros de Turba como	
Eras de Secado de Lodos	84
10.3.2.- Sustitución de Decantadores Secundarios	
por Filtros de Turba.....	86
10.3.3.- Los Filtros de Turba como tratamiento previo	88



1.- INTRODUCCIÓN

El tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante la tecnología de *Filtros de Turba* se basa en la filtración de estas aguas a través de lechos, que emplean turba como material filtrante.

La turba es un tipo de humus que se forma en las condiciones anaerobias propias de los medios saturados con agua. Este sustrato presenta un conjunto de propiedades fisicoquímicas que le hacen especialmente apto para su aplicación en el campo de la depuración de los vertidos líquidos urbanos. Las aguas residuales a su paso por la capa de turba experimentan una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, que dan como resultado unos efluentes depurados.

Los *Filtros de Turba* comenzaron a aplicarse para el tratamiento de las aguas residuales urbanas en los años 70 en Francia, Canadá, Finlandia y Estados Unidos, introduciéndose esta tecnología en España a comienzos de la década de los 80.

A partir de los años 90, en Estados Unidos y Canadá, principalmente, se registra un notable incremento de las instalaciones modulares de *Filtros de Turba* para el tratamiento de las aguas residuales procedentes de pequeñas aglomeraciones urbanas, recurriéndose al empleo de Fosas Sépticas o Tanques Imhoff como etapas previas.

En Andalucía la tecnología de *Filtros de Turba*, en sí misma o en combinación con otras tecnologías (principalmente con Lagunas Anaerobias, como etapa previa, y con Lagunas de Maduración, como etapa de afino), constituye la *Tecnología no Convencional* con mayor grado de implantación, contándose con unas noventa instalaciones, que tratan una población cercana a los 200.000 habitantes equivalentes.

2.- FUNDAMENTOS

La tecnología de *Filtros de Turba* se fundamenta en la filtración del agua residual a tratar a través de lechos que emplean turba como material filtrante, para aprovechar las propiedades adsorbentes y complejas de este sustrato en relación con las materias coloidales y disueltas.

La turba es un tipo de humus que se forma en las condiciones anaerobias propias de los medios saturados con agua. Bajo estas condiciones, la gama y actividad de los microorganismos se ven drásticamente reducidas, por lo que la descomposición y humificación de la materia orgánica se llevan a cabo con gran lentitud, alcanzándose notables acumulaciones de materia orgánica relativamente poco transformada. Esta escasa transformación se manifiesta en muchos casos por la presencia de fibras de celulosa-lignina en el material acumulado.

El tratamiento consiste, sencillamente, en ir haciendo pasar las aguas residuales a través de los lechos de turba. Las aguas van percolando por el material filtrante y los efluentes depurados se recogen por la parte inferior de los filtros.

Tras un período de funcionamiento, la superficie de los filtros en operación se va colmatando, disminuyendo su capacidad de filtración, por lo que es necesario detener su funcionamiento y poner en operación otros filtros, que hasta el momento permanecían en reposo.

En los filtros dejados fuera de servicio, tras un período de secado, se procede a su regeneración mediante la eliminación por rastrillado de la costra formada en su superficie.

3.- ESQUEMAS DE FUNCIONAMIENTO

El esquema del proceso es, en esencia, semejante al de un tratamiento convencional, constando de Pretratamiento, Tratamiento Primario, Tratamiento Secundario y, opcionalmente, Tratamiento Terciario.

3.1.- Pretratamiento

Tiene como objetivo la eliminación de los objetos gruesos y de las grasas y flotantes que se encuentran en las aguas residuales, dado que su presencia en el resto de etapas del tratamiento podría provocar problemas de obturaciones en las conducciones y la rápida colmatación del sustrato filtrante.

Normalmente, el Pretratamiento en la tecnología de *Filtros de Turba* está constituido por: un desbaste de gruesos, un tamizado y un desengrasado.

Desbaste

La eliminación de sólidos gruesos suele llevarse a cabo haciendo pasar las aguas residuales a través de rejillas de desbaste, de 2-3 cm de separación entre barros, y de limpieza manual. (Figura 1).

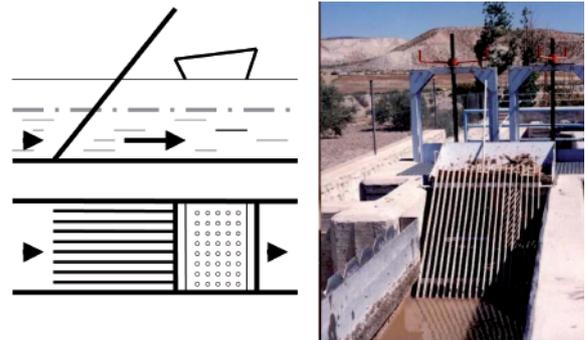


Figura 1.- Esquema y fotografía de una reja de desbaste de limpieza manual.

Tamizado

Para la eliminación de los sólidos de tamaño pequeño-medio se recurre al empleo de tamices, que pueden ser estáticos o rotativos.

Los tamices estáticos autolimpiantes (*Figura 2*), constan de un enrejado constituido por barras horizontales de acero inoxidable, rectas o curvadas, de sección triangular, orientadas de tal forma que la parte plana se encara al flujo. La inclinación de este enrejado disminuye progresivamente de arriba a abajo, entre 65° y 45° aproximadamente. Con ello se consiguen, de forma sucesiva, los efectos de separación, escurrido y evacuación, de las partículas de mayor tamaño que la luz de paso del tamiz.

El agua a tratar se alimenta por la parte superior del tamiz, los sólidos de tamaño superior a la luz de paso quedan retenidos por el enrejado y, debido a la inclinación de éste, ruedan hasta un contenedor situado en la parte inferior.

Por su parte, la fracción líquida, conteniendo los sólidos de tamaño inferior al tamaño de paso, atraviesa el enrejado y se recoge en una tubería situada en la parte inferior del tamiz.

En depuración mediante *Filtros de Turba* la luz de paso de los tamices autolimpiantes que se emplean es del orden de 1 mm.

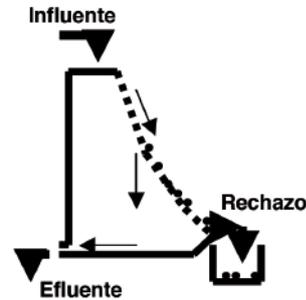


Figura 2.- Esquema y fotografía de un tamiz estático autolimpiante.

En otras ocasiones se recurre al empleo de tamices rotativos (*Figura 3*), que están constituidos por un enrejado cilíndrico de eje horizontal, formado por barras de acero inoxidable de sección trapezoidal. El enrejado gira lentamente accionado por un motorreductor.

La alimentación al tamiz se efectúa por su parte exterior. Los sólidos de tamaño superior a la luz de paso quedan retenidos en la parte externa del cilindro y la eliminación de la capa de sólidos retenidos en la periferia del tamiz se logra mediante la acción de una cuchilla y del propio giro de la unidad.

La fracción líquida, con los sólidos de tamaño inferior a la luz de paso, atraviesa el enrejado cilíndrico y se conduce hacia la zona de evacuación.

Los tamices rotativos, en comparación con los tamices estáticos autolimpiantes, si bien precisan energía para su funcionamiento, permiten trabajar con menores luces de paso (0,25 -0,50 mm).

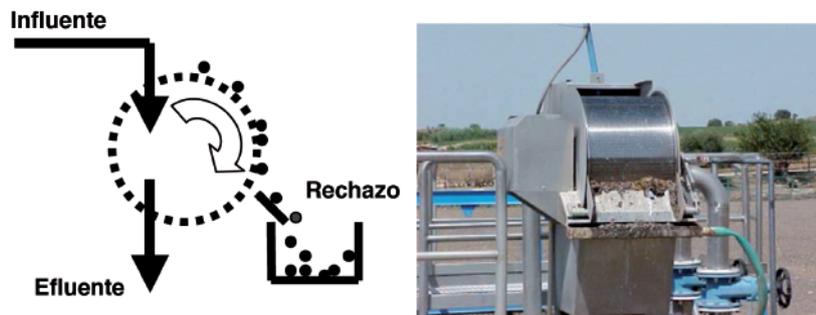


Figura 3.- Esquema y fotografía de un tamiz rotativo.

En las instalaciones de *Filtros de Turba* los tamices suelen alojarse en las casetas de servicio, al objeto de protegerlos de las inclemencias meteorológicas (heladas, lluvias, etc.).

Desengrasado

Para la eliminación de las grasas y flotantes se recurre al empleo de desengrasadores estáticos, en los que se hacen pasar las aguas a través de un depósito dotado de una conducción, o tabique, que obliga a las aguas a salir por la parte inferior del mismo (*Figura 4*),

lo que permite que los componentes de menor densidad que el agua queden retenidos en la superficie.

La retirada de las grasas y flotantes se lleva a cabo de forma manual, haciendo uso de un recoge hojas de piscina.



Figura 4.- Esquema y fotografía de un desengrasador estático.

3.2.-Tratamiento Primario

Para conseguir una mayor eliminación de los sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales a tratar y retardar, por tanto, la colmatación de la capa superficial del sustrato filtrante, en ocasiones se recurre a la implantación de Lagunas Anaerobias, Fosas Sépticas o Tanques Imhoff, como paso previo a la filtración a través de la turba, y en sustitución de la operación de tamizado.

Lagunas anaerobias

Las lagunas anaerobias son receptáculos profundos (3-5 m), en los que, como consecuencia de las elevadas cargas orgánicas con que operan, imperan condiciones de ausencia de oxígeno disuelto (anaerobiosis).

Las partículas sedimentables presentes en las aguas residuales se depositan en el fondo de estas lagunas, donde se van mineralizando progresivamente, mientras que la materia orgánica, tanto soluble como particulada, experimenta procesos de degradación anaerobia, que dan como resultado el desprendimiento de biogás (mezcla de metano y de anhídrido carbónico) (Figura 5).

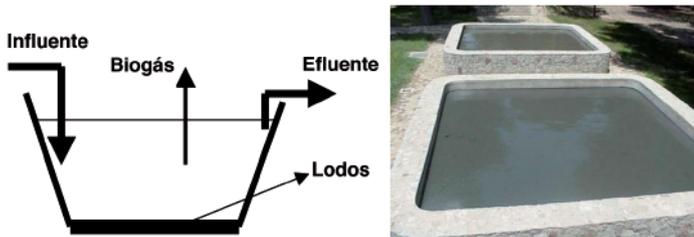


Figura 5.- Esquema y fotografía de lagunas anaerobias.

Fosas sépticas

Las fosas sépticas son dispositivos enterrados en los que decanta la materia sedimentable presente en las aguas residuales. La fracción orgánica de esta materia sedimentada experimenta reacciones de degradación anaerobia, mineralizándose paulatinamente.

Estos dispositivos se encuentran compartimentados, siendo la disposición más común la de dos compartimentos dispuestos en serie. Al llegar el agua al primer compartimento, la materia particulada más densa sedimenta y se deposita en el fondo en forma de lodo, mientras que la materia particulada más ligera forma una costra en la superficie. El agua clarificada pasa al segundo compartimento a través de un orificio en la pared de separación. En este segundo compartimento tiene lugar también una sedimentación de sólidos y formación de costra, como consecuencia de los materiales que escapan de la etapa anterior, pero en menor cuantía (Figura 6).

Los lodos retenidos en los fondos de los distintos compartimentos experimentan reacciones de degradación anaerobias, reduciendo su volumen, lo que permite que las fosas funcionen durante largos períodos de tiempo sin necesidad de purgar los lodos.

Las burbujas de gas que se producen en la degradación anaerobia de los lodos decantados obstaculizan la normal sedimentación de los sólidos presentes en las aguas residuales influentes. Es por ello por lo que se dispone un segundo compartimento, en el que las partículas más ligeras encuentran condiciones de sedimentación más favorables.

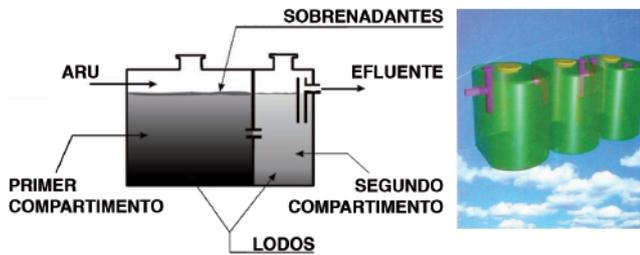


Figura 6.- Esquema de una fosa séptica de dos cámaras y equipo prefabricado de tres compartimentos (ISEA GROUP).

Tanques Imhoff

Los tanques Imhoff constan de un único depósito en el que se separan la zona de sedimentación, que se sitúa en la parte superior, de la de digestión de los sólidos decantados, que se ubica en la zona inferior del depósito. La configuración de la apertura que comunica ambas zonas impide el paso de gases y partículas de fango de la zona de digestión a la de decantación, de esta forma se evita que los gases que se generan en la digestión afecten a la sedimentación de los sólidos en suspensión (Figura 7).

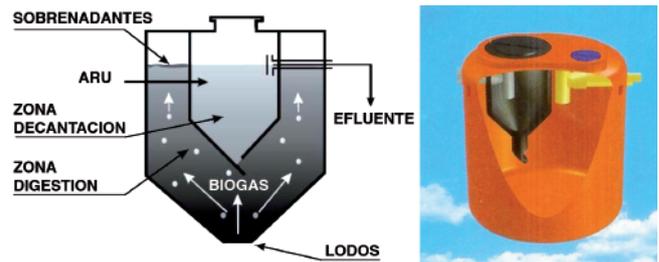


Figura 7.- Esquema un tanque Imhoff y equipo prefabricado (ISEA GROUP).

3.3.- Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario está constituido por los *proprios Filtros de Turba*. Los efluentes procedentes de la etapa de Pretratamiento (o del Tratamiento Primario, en su caso, *Figuras 8 a 11*), alimentan los filtros mediante una serie de tuberías que reparten el agua, de la forma más homogénea posible, sobre la superficie de la turba.

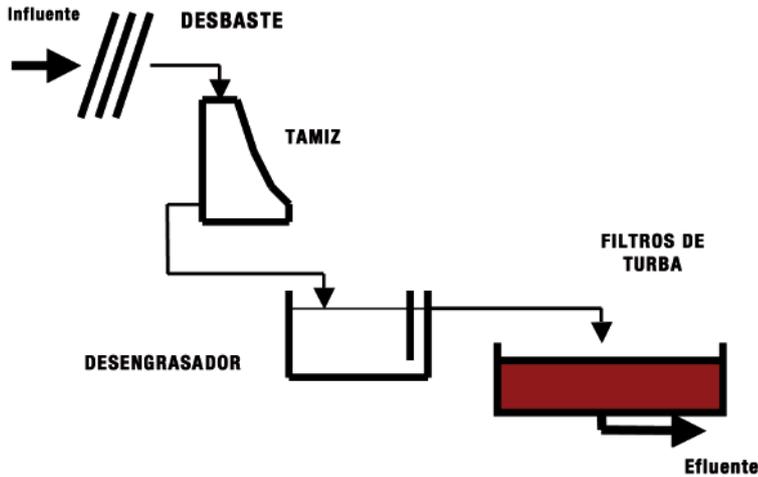


Figura 8.- Pretratamiento y *Filtros de Turba*.

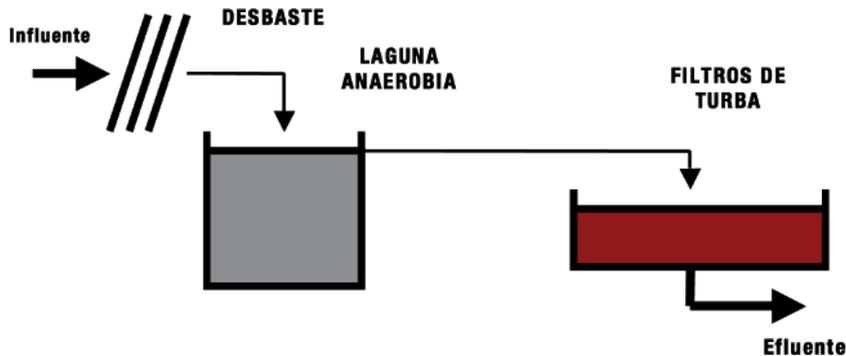


Figura 9.- Lagunaje Anaerobio y *Filtros de Turba*.

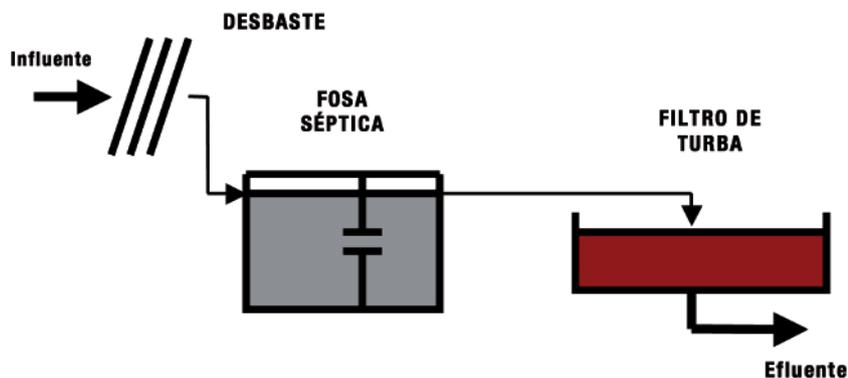


Figura 10.- Fosa Séptica y *Filtros de Turba*.

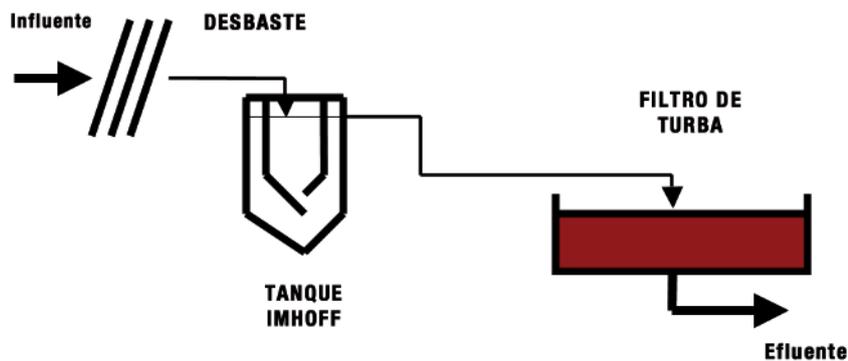


Figura 11.-Tanque Imhoff y *Filtros de Turba*.

Los *Filtros de Turba* están constituidos por recintos en los que se disponen una serie de capas filtrantes, cuya composición de arriba hacia abajo suele ser: turba, gravilla y grava. La acción de depuración se realiza principalmente en la capa de turba, mientras que la función del resto de los estratos empleados se limita a retener al inmediato superior.

Los efluentes, tras su paso por la turba, son recogidos en el fondo de los filtros mediante canales o tuberías de drenaje, desde los que se evacuan la obra de salida (Figura 12).

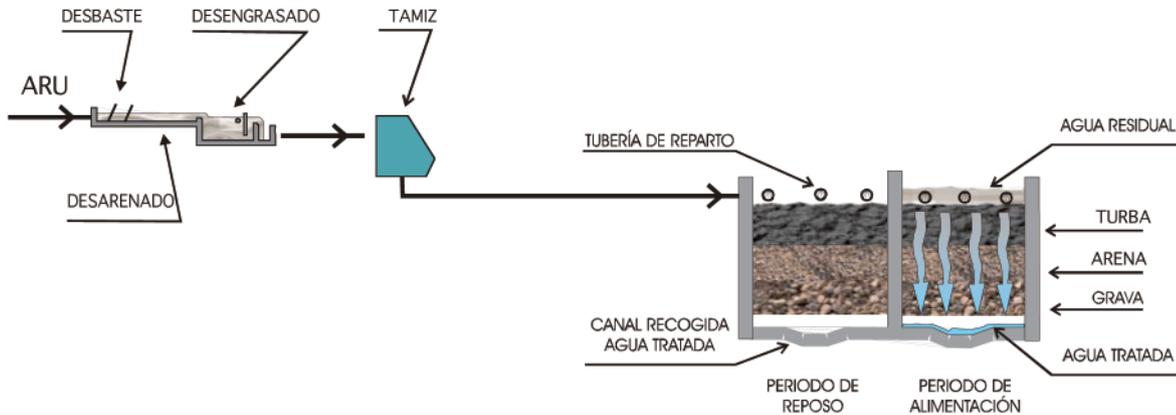


Figura 12.- Esquema de funcionamiento de los Filtros de Turba.

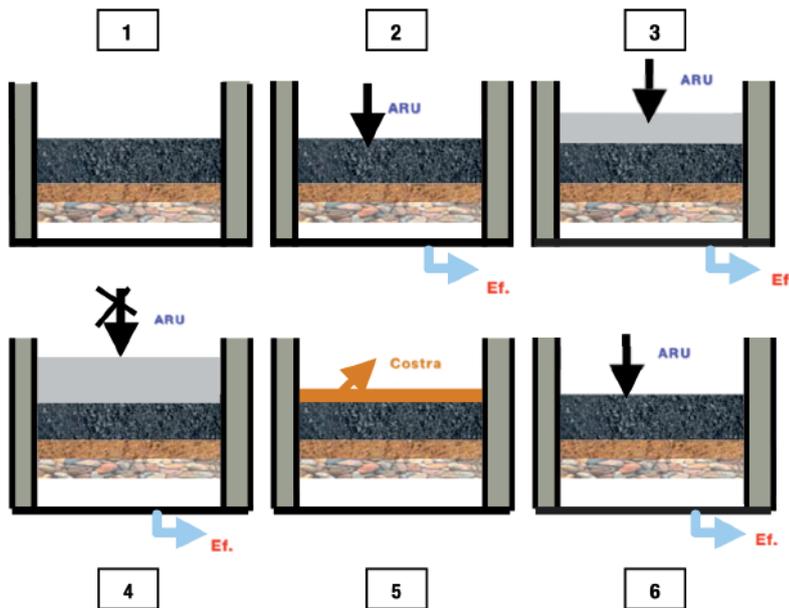
A medida que avanza el ciclo operativo, los sólidos retenidos en la superficie de la turba y la biomasa que se va desarrollando en esta zona, van disminuyendo la velocidad de infiltración de las aguas a través del sustrato, por lo que cada cierto tiempo (10-12 días), se hace necesario parar los filtros en operación y arrancar los que se encuentran en reposo (Figura 13).

En la superficie de los filtros que se dejan en reposo se va formando una costra que seca rápida y fácilmente, dada su tendencia a fragmentarse y separarse de la turba. Una vez seca esta costra, se procede a su eliminación por rastrillado y, tras un escarificado de su superficie, los filtros quedan preparados para un nuevo ciclo operativo.

La alternancia en el funcionamiento de los filtros, además de recuperar su capacidad de filtración, permite mantener el sustrato filtrante lo más oxigenado posible, al objeto de favorecer la degradación aerobia de los contaminantes (Figura 14).



Figura 13.- *Filtros de Turba en reposo y en operación.*



Etapas

- 1 Filtro en reposo
- 2 Comienzo de la alimentación
- 3 Filtro en operación
- 4 Cese de la alimentación
- 5 Regeneración del filtro agotado
- 6 Comienzo de nuevo ciclo operativo

Figura 14.- *Etapas del ciclo operativo de los Filtros de Turba.*

Con el transcurrir del tiempo, la turba va perdiendo parte de sus propiedades (principalmente en lo que a su capacidad de filtración hace referencia), por lo que periódicamente es necesario proceder a su sustitución.

Si la turba empleada cumple los requisitos exigibles para su empleo en el tratamiento de las aguas residuales, y los filtros se operan y se mantienen correctamente, la duración media de la turba puede cifrarse en 7-8 años.

3.4.- Tratamiento Terciario

En ocasiones se someten a los efluentes de los *Filtros de Turba* a una etapa de afino en Lagunas de Maduración para mejorar, principalmente, el grado de abatimiento de los organismos patógenos. Esta eliminación se produce, fundamentalmente, por la acción de la radiación ultravioleta de la luz solar (*Figura 15*).

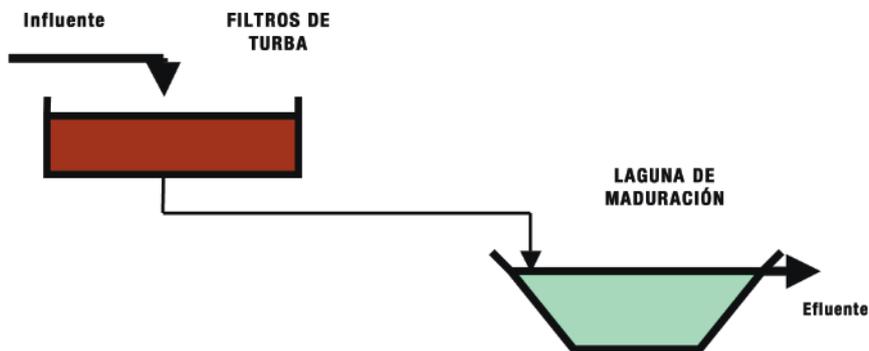


Figura 15.- Tratamiento Terciario mediante Lagunaje de Maduración.



Figura 16. - Instalación de tratamiento mediante *Filtros de Turba* en la que se observa el tamiz autolimpiante, ubicado sobre un desengrasador estático, y los *Filtros de Turba*.



Figura 17.- *Filtros de Turba* en operación y en fase de secado de la costra superficial.

4.- MECANISMOS DE DEPURACION

Dado que el actor principal en la depuración de aguas residuales mediante la tecnología de *Filtros de Turba* es la propia turba, se hace necesario profundizar en el conocimiento de las características y propiedades de este sustrato.

4.1. La turba: origen, características y propiedades

La turba es un tipo de humus que se forma en las condiciones anaerobias propias de los medios saturados con agua. La transformación de restos orgánicos mediante reacciones 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 de color amarillento o negro, amorfos, muy polimerizados, con peso molecular muy elevado, naturaleza coloidal y que presentan núcleos de carácter aromático (benceno, naftaleno, furano, etc.). En estado natural estas sustancias están íntimamente ligadas unas con otras y con otros constituyentes orgánicos (hidratos de carbono, proteínas, etc.), y el papel de los distintos componentes del humus es difícil de determinar.

Los compuestos húmicos contienen grupos funcionales ácidos, por lo que intervienen en reacciones de intercambio catiónico, forman complejos con los metales como el hierro, manganeso, cinc y cobre, y contribuyen, además, a mejorar la absorción por las plantas del fósforo, nitrógeno, potasio, calcio y magnesio.

Las sustancias húmicas se clasifican en función de su solubilidad en ácidos y bases, pudiendo separarse en diversas fracciones húmicas. Los *ácidos fúlvicos* y *húmicos* se extraen con reactivos alcalinos, pero los húmicos precipitan en presencia de ácido. Por su parte, las *huminas* precipitan en presencia de álcalis (Figura 18).

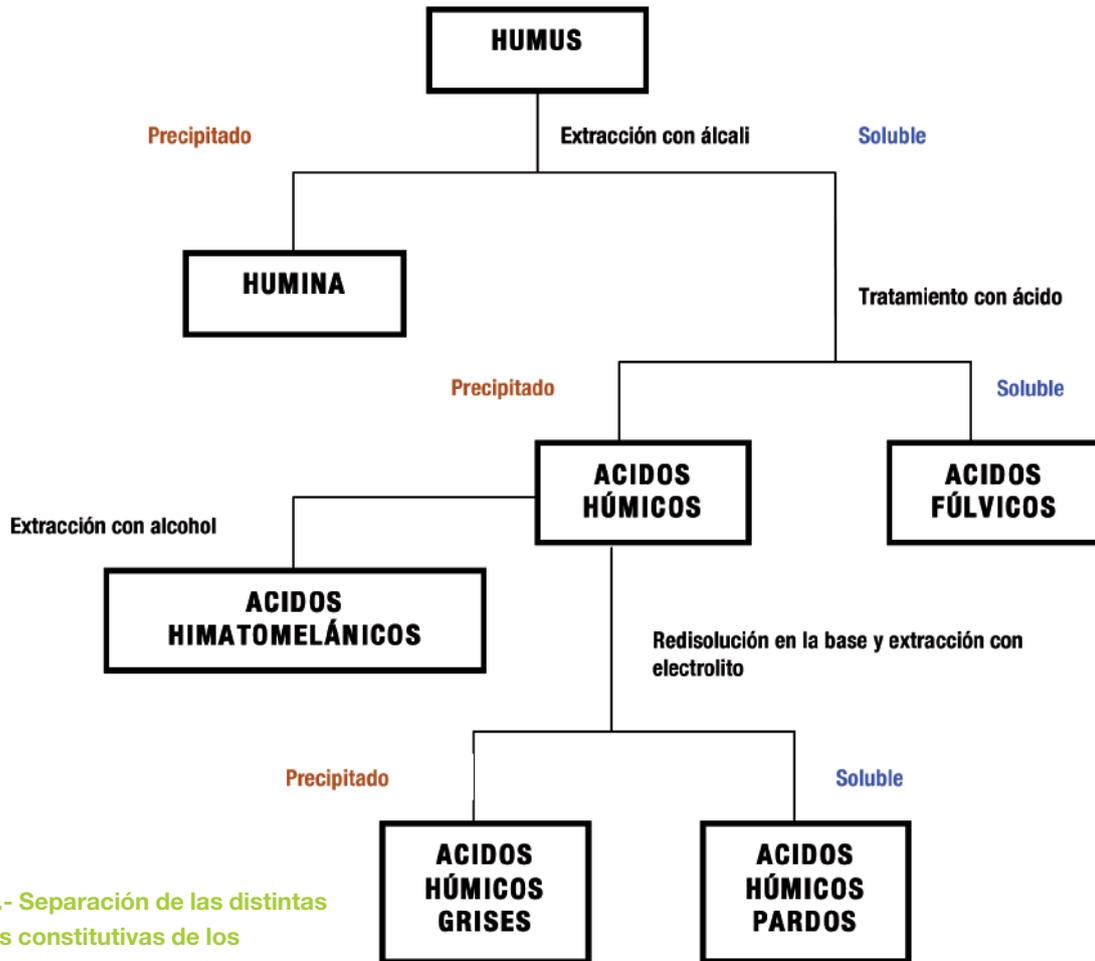


Figura 18.- Separación de las distintas fracciones constitutivas de los compuestos húmicos.

La distribución de los diferentes tipos de sustancias húmicas en la materia orgánica descompuesta es variable y característica del tipo de sustrato.

Los *ácidos fúlvicos* constituyen la fracción soluble en álcali y no precipitada por ácidos del conjunto de compuestos húmicos. Presentan bajo peso molecular y un contenido mayor en grupos carboxílicos que los ácidos húmicos. Son solubles al agua, al igual que sus sales, y tienen en parte propiedades reductoras y complejantes, pudiendo, por ejemplo, solubilizar óxidos de hierro.

Dentro de los ácidos fúlvicos se pueden distinguir el ácido crénico (amarillo claro) y el ácido apocrénico (amarillo pardo).

Los *ácidos húmicos* constituyen la fracción soluble en álcali, y que precipita con ácidos, del conjunto de compuestos húmicos. Son pocos solubles en agua y también forman compuestos poco solubles (humatos) con cationes polivalentes como Ca, Mg, Fe y Al. Dentro de estos ácidos se encuentran:

- El ácido bimatamelánico, que es la parte del ácido húmico soluble en alcohol.
- Los ácidos húmicos pardos, que no precipitan en presencia de sales como el cloruro sódico.
- Los ácidos húmicos grises, que precipitan en presencia de sales.

La *Tabla I* muestra las propiedades de los distintos constituyentes de los compuestos húmicos.

Tabla I.- Propiedades generales de los compuestos húmicos.

	Ac. Fúlvicos	Ac. Himatomelánicos	Ac. Húmicos pardos	Ac. Húmicos grises	Humina
Color	Amarillo o pardo amarillento	Pardo	Pardo oscuro	Negro grisáceo	Negro
Contenido en C	43 – 52 %	58 – 62 %	50 – 60 %	58 – 62 %	-
Peso molecular	2.000 – 9.000	Creciente hasta 10^5 →			Variable
Solubilidad, nº de grupos funcionales, acidez	Decreciente →				-

Según su origen, se distingue entre turbas negras y turbas rubias.

- **Turbas negras, pardas, bajas o eutróficas:** se acumulan en depresiones en las que la existencia de zonas inundadas o de niveles freáticos altos determinan condiciones de anaerobiosis. En esta situación es normal que las aguas recojan los nutrientes y el calcio de las zonas circundantes y que el pH esté próximo a la neutralidad. La materia vegetal está muy descompuesta y se da síntesis de ácidos húmicos. Especies vegetales típicas de estas turberas son el carrizo y ciertas ciperáceas.

Tabla II.- Comparación de las principales características de las turbas negras y rubias.

	Turba negra	Turba rubia
pH	5 – 7	3 – 4
*CIC (meq/100 g)	150 – 300	60 – 130
Materia orgánica (%)	50 – 60	80 – 90
Porosidad (%)	85 – 90	90 – 95
Relación C/N	20 – 25	50 – 55

*CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico
Elaboración propia a partir de datos bibliográficos.

- **Turbas rubias, claras, altas u oligotróficas:** en climas fríos y lluviosos se dan las turberas altas, en las que las abundantes precipitaciones atmosféricas mantienen prácticamente saturado el material orgánico que se va acumulando. La vegetación adaptada a estas condiciones es muy poco exigente en nutrientes (principalmente musgos del género sphagnum), cuyos restos se acumulan sobre el suelo mineral hasta que se llega a un equilibrio dinámico entre descomposición y acumulación. De esta manera se va formando una “manta” de turba, de espesor inferior a un metro. La naturaleza ácida del suelo y el clima frío conducen a que no se produzca la síntesis de ácidos húmicos, estando la materia vegetal poco descompuesta. Este tipo de turberas son frecuentes en países como Noruega, Escocia e Irlanda.

La *Tabla II* compara las principales características de las turbas negras y rubias.

En lo referente a la producción de turbas, la *Tabla III* recoge la producción mundial por países y sus principales usos en el periodo 1998-2002, y la *Tabla IV* la producción española.

Tabla III.- Producción mundial de turba por países.

Países	Producción en miles de toneladas				
	1998	1999	2000	2001	2002 (1)
Finlandia	1.850	5.735	5.106	5.200	5.500
Irlanda	4.400	5.950	5.500	5.500	2.750
Alemania	4.000	4.000	4.060	4.250	4.100
Suecia	320	1.240	900	1.100	1.150
Reino Unido	500	500	500	500	500
Dinamarca	205	200	200	200	200
Francia	200	200	200	200	200
España	46	44	44	50	50
SUBTOTAL UE	11.521	17.869	16.510	17.000	14.450
Rusia	1.767	3.350	2.100	2.100	2.100
Bielorrusia	2.134	3.190	2.100	2.100	2.100
Canadá	1.125	1.253	1.277	1.319	1.301
Ucrania	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Estados Unidos	685	731	792	870	642
Estonia	365	1.299	760	844	850
Moldavia	475	475	475	475	475
Letonia	172	956	456	555	560
Lituania	202	390	246	263	270
Polonia	243	310	200	325	300
Hungría	45	45	45	45	45
Noruega	30	30	30	30	30
Nueva Zelanda	23	22	24	24	24
Burundi	11	20	4	5	5
Australia	15	15	3	5	5
Argentina	3	3	3	3	3
TOTAL	19.820	30.960	26.200	26.960	24.160
Usos					
Agrícola	6.500	8.300	8.100	8.400	7.900
Combustible	8.500	14.300	12.100	12.400	10.200
Sin especificar	4.800	8.400	6.000	6.100	6.100

(1) Estimado. Fuentes: Minerals Yearbook 2002, USGS; Estadística Minera de España

Tabla IV.- Producción de turba en España.

Provincia	1998	1999	2000	2001	2002 (p)
Granada	20.800	21.000	19.200	18.800	22.600
Castellón	11.490	12.650	12.098	11.592	11.592
Lugo	7.212	4.615	7.232	5.500	3.200
Burgos	5.050	3.450	3.600	4.600	3.000
Santander	58	1.900	1.750	4.000	5.800
Tarragona	58	-	-	-	850
Valladolid	-	-	-	-	3.500
TOTAL	45910	43615	43880	44492	50542

(p) Provisional. Fuente: Estadística Minera de España

Un estudio del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), estima las reservas españolas de turba en 26 millones de toneladas, destacando las provincias de Burgos (10×10^6 t), Castellón (7×10^6 t) y Granada (6×10^6 t).

Las principales empresas productoras de turba negra en Andalucía se encuentran en la provincia de Granada. En las proximidades de la localidad de Padul se encuentran dos instalaciones, que en el año 2002 alcanzaron una producción conjunta de 22.600 toneladas de turba.

4.2.- 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.

4.2.1.- Acciones físicas

La turba ejerce una 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 la superficie del lecho se produce, igualmente, un notable incremento de la biomasa bacteriana que actúa sobre las partículas orgánicas retenidas.

La acción de filtración será tanto más efectiva cuanto menor sea la granulometría de la turba empleada, si bien, esto implicará una menor velocidad de percolación del agua, lo que hace necesario operar bajo condiciones que satisfagan ambos aspectos.

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 acción de filtración se ve mejorada, reduciéndose progresivamente la carga hidráulica admisible.

La filtración a través de la turba, y en consecuencia la depuración de las aguas a tratar, está estrechamente ligada con la *granulometría* y la *porosidad* del sustrato.

La *granulometría* de las turbas suele ser muy variada, dependiendo de múltiples factores: origen y naturaleza del sustrato, sistema de recolección, condiciones de las operaciones de trituración y de tamizado, etc.

Las turbas están constituidas por partículas de diferentes tamaños, es decir, existe una distribución de dimensiones de partícula que suele representarse como una curva que asigna a cada tamaño el porcentaje en peso de partículas que poseen esa medida. La distribución de tamaños de las partículas de la turba ejerce una gran influencia sobre sus propiedades físicas.

Para un mismo valor medio de tamaño de partícula, las distribuciones pueden ser más o menos anchas o estrechas, es decir, la muestra puede estar constituida por partículas de un amplio o reducido intervalo de tamaños. Sin embargo, aunque el tamaño medio de partícula sea el mismo, las propiedades físicas de las turba varían con la distribución de tamaño de las partículas que las constituyen.

En un sustrato con una distribución ancha de tamaños, las partículas pequeñas se alojarán entre los huecos de las partículas grandes, reduciendo su tamaño y, por tanto, la porosidad total y la ocupada por aire. Al mismo tiempo, aumentará la cantidad de agua retenida al ser mayor el número de microporos.

Las turbas oscuras presentan una granulometría más fina y altos contenidos en calcio y otros componentes minerales que potencian su capacidad de intercambio, mientras que las turbas claras, de granulometría más gruesa, presentan la ventaja de una mayor capacidad de filtración.

El tamaño de las partículas disminuye al aumentar el grado de descomposición de las turbas. Por otro lado, elevados grados de molienda dan lugar a turbas con pobres propiedades de aireación, mientras que si el grado de molienda es bajo las turbas presentan escasa retención de agua.

En lo referente a la *porosidad*, ésta representa el porcentaje de su volumen que no se encuentra ocupado por la fase sólida. Es decir, es el cociente entre el volumen de poros y el volumen total que el medio ocupa en un contenedor.

La porosidad de las turbas se sitúa en torno al 90%, aumentando a medida que crece el tamaño medio de las partículas. El incremento de la porosidad conlleva la disminución de la capacidad de retención de agua.

Por debajo de 1 mm se observa un brusco descenso de la porosidad y un aumento de la retención de agua. La presencia de partículas muy pequeñas hace que disminuya la porosidad total y aumente la cantidad de agua retenida, ya que crece el número de microporos o huecos pequeños, que son los que retienen el agua. También se reducirá la porosidad ocupada por aire, al disminuir el volumen de los huecos entre partículas o macroporos, que son los de mayor tamaño.

Pero además de los poros que quedan entre las partículas que constituyen la turba, las mismas partículas presentan poros internos, por lo que la porosidad total será la suma debida a los huecos entre las partículas y la procedente de los poros interiores de dichas partículas, siendo normalmente estos poros más pequeños que los huecos.

La porosidad total se calcula a partir de la medida de la densidad aparente, con la cual se encuentra inversamente relacionada. La densidad aparente se define como la materia seca contenida en un centímetro cúbico de sustrato. La relación entre ambas es la siguiente:

$$P_t (\%) = 100 (1 - d_a / d_r)$$

Siendo:

P_t = porosidad total

d_a = densidad aparente

d_r = densidad real

La densidad real se define como el cociente entre la masa de las partículas del sustrato y el volumen que ocupan, sin considerar los poros y huecos. Su valor es propio del material y, a diferencia de la densidad aparente, no depende del grado de colmatación ni del tamaño de partícula. Para compuestos orgánicos se toma un valor medio de 1,5 g/cm³.

4.2.2.- Acciones químicas

Las acciones químicas de las turbas se basan fundamentalmente en su elevada capacidad de intercambio catiónico y en las reacciones de oxidación-reducción que tienen lugar a consecuencia de la alternancia de las condiciones de encharcamiento-aireación del sustrato filtrante, que se suceden a lo largo de los ciclos operativos de los *Filtros de Turba*.

Se conoce como *Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)* la facultad para retener cationes e intercambiarlos con la solución acuosa. El valor de la CIC es una medida de la carga negativa total de humus y dependerá principalmente del tipo de materia orgánica presente. La CIC se expresa en meq/100 g o meq/100 cc.

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



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

Los cationes presentes en la solución acuosa son atraídos por las cargas eléctricas negativas del humus, formando una capa difusa de cationes. Estos cationes son retenidos en la superficie del humus por fuerzas eléctricas débiles, por lo que pueden pasar de nuevo a la solución acuosa.

Al ser la CIC una propiedad ligada a la superficie, será tanto más elevada cuanto mayor sea el área superficial de las partículas del humus, que a su vez aumenta al disminuir el tamaño. La superficie específica del humus es del orden de los 800-900 m²/g, frente a los 0,01 m²/g de la arena gruesa.

Además, la CIC del humus depende en gran medida de la acidez o pH del medio como se recoge en la *Tabla V*.

Tabla V.- Dependencia de la Capacidad de Intercambio Catiónico con el pH.

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

4.2.3.- 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 que actúa como un medio en el que se desarrolla y mantiene una actividad bacteriana, que confiere al medio filtrante una importante capacidad de depuración biológica del influente.

Para que en el sustrato tenga lugar una intensa actividad bacteriana (fundamentalmente vía aerobia), se precisa un correcto reparto y composición de las fases sólida (fracciones orgánica y mineral), líquida (agua) y gaseosa (aire).

Si se compara la composición media de un suelo natural con la de un sustrato orgánico (como la turba), tras haber sido saturados con agua y dejados drenar libremente, en el suelo natural las fracciones aire, agua, materia orgánica y fracción mineral, se encuentran aproximadamente en las proporciones 13/37/6/44, mientras que en el sustrato orgánico estas relaciones son de 25/60/12/3. Se observa que el sustrato, como consecuencia de su elevada porosidad, presenta una menor proporción de la fase sólida (15% frente al 50% del suelo), lo que indica que en un volumen determinado de sustrato habrá más espacio disponible para el agua y el aire que en el mismo volumen del suelo.

De todos los poros existentes en el sustrato, el agua ocupa los más pequeños, estando los poros más grandes ocupados por la fase gaseosa. Cualquier acción que reduzca el tamaño de los poros más grandes disminuirá la proporción del aire en el medio. Esto es lo que ocurre con la compactación, ya que al presionar el sustrato disminuye el tamaño de los poros grandes, reduciéndose el volumen de aire disponible y aumentando la cantidad de agua retenida. Por ello deben evitarse aquellas acciones que puedan compactar la turba una vez dispuesta ésta en los filtros.

Las proporciones de fase sólida y líquida presentes en los sustratos puede conocerse a través del contenido en materia seca, que será tanto mayor cuanto menos agua contenga.

La capacidad de retención de agua en el sustrato puede sufrir una pérdida irreversible si éste se seca excesivamente.

4.3.- Eliminación de los contaminantes presentes en las aguas residuales

4.3.1.- Eliminación de sólidos en suspensión

Por acción de filtro mecánico, la capa de turba retiene en sus primeros centímetros de espesor la mayor parte de los sólidos en suspensión que no han sido eliminados previamente.

4.3.2.- Eliminación de materia orgánica

La materia orgánica, presente en las aguas residuales a tratar en forma particulada, es eliminada por filtración, quedando retenida en la superficie de la turba y actuando sobre ella la flora bacteriana.

En lo referente a la materia orgánica presente en forma coloidal o disuelta, ésta es absorbida y adsorbida por la turba, merced a su elevada capacidad de cambio. Sobre esta materia orgánica retenida prolifera la flora bacteriana que acaba degradándola y transformándola en elementos minerales.

4.3.3.- Eliminación de nutrientes

- **Nitrógeno**

En las aguas residuales urbanas el nitrógeno se presenta, fundamentalmente, en forma de ión amonio. Al percolar las aguas a través de la capa filtrante de turba, ésta retiene el ión amonio mediante reacciones de intercambio catiónico.

En los periodos de regeneración de las turbas agotadas, el ión amonio retenido es transformado mediante acciones biológicas en nitratos, que son arrastrados con los primeros efluentes generados en el siguiente ciclo de operación de los filtros.

- **Fósforo**

El principal mecanismo de eliminación de este nutriente es mediante procesos de precipitación de los ortofosfatos con los componentes de la turba (principalmente con el calcio).

Al avanzar el ciclo operativo de los *Filtros de Turba*, y mantenerse inundada de forma continuada su superficie, se instauran en el seno de la turba condiciones de anaerobiosis, que traen como consecuencia la solubilización de parte de los fosfatos precipitados, que escapan junto con los efluentes depurados.

4.3.4.- Eliminación de metales pesados

La turba presenta una elevada capacidad para la retención de metales pesados, destacando entre los mecanismos que contribuyen a esta propiedad:

- Intercambio catiónico.
- Formación de quelatos, en la que juegan un papel importante los ácidos húmicos.
- Formación de puentes de hidrógeno entre cationes polivalentes y la hidroxil lignina o grupos celulósicos o de hemicelulosas.

La adsorción de cationes metálicos por la turba es un proceso selectivo, dándose el siguiente orden de prioridad: $Fe^{3+} > Cu^{2+} > Cr^{3+} > Zn^{2+} > Ni^{2+}$.

4.3.5.- Eliminación de patógenos

En la eliminación de patógenos en los *Filtros de Turba* intervienen diversos procesos:

- Fijación y filtración de los organismos patógenos.
- Fijación de la materia orgánica, que ya no queda disponible para los patógenos, y que éstos necesitan para sobrevivir.
- Constitución de nichos ecológicos para los depredadores de los patógenos.

El abatimiento medio de patógenos en los *Filtros de Turba* es del orden de dos potencias de diez.

5.- RENDIMIENTOS DE DEPURACIÓN

Entre los parámetros que ejercen una mayor influencia en los rendimientos de depuración que se alcanzan en la aplicación de la tecnología de *Filtros de Turba*, cabe mencionar:

- Las cargas hidráulicas y orgánicas aplicadas.
- La cadencia de aplicación del agua residual sobre la turba.
- La altura del lecho de turba.
- La estabilidad, textura y compactación de la turba, propiedades que influyen en la hidrodinámica del proceso.

Se exponen a continuación los rendimientos medios que se alcanzan con la tecnología de *Filtros de Turba*, en función del esquema de trabajo adoptado y de las condiciones operativas mantenidas.

5.1.- Esquema I: Desbaste-Tamizado-Desengrasado-Filtros de Turba

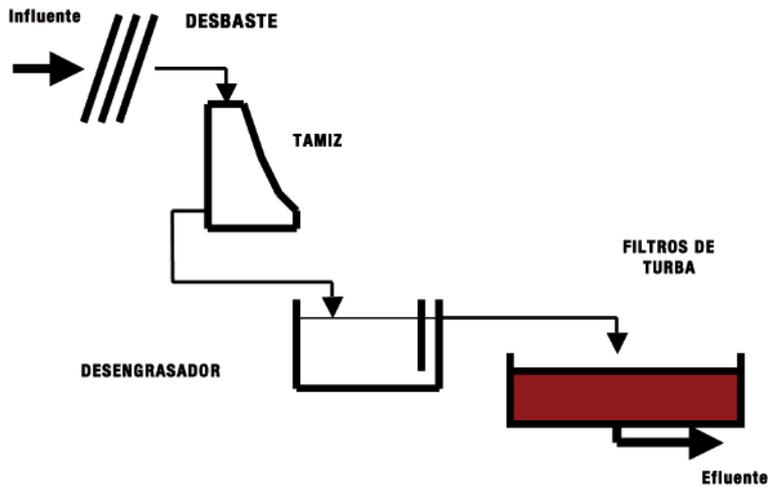


Figura 19.- Desbaste-Tamizado-Desengrasado-Filtros de Turba.

Operando bajo las condiciones siguientes:

- Carga hidráulica $\approx 600 \text{ l/m}^2.\text{d}$
- Carga orgánica $\approx 300 \text{ g DBO}_5/\text{m}^2.\text{d}$
- Carga de sólidos $\approx 240 \text{ g SS/m}^2.\text{d}$
- Espesor medio de la capa de turba: 40 cm
- Régimen de alimentación: en continuo
- Tipo de turba empleada: turba negra

Los rendimientos medios de depuración que se alcanzan se recogen en la *Tabla VI*.

Parámetro	%
Sólidos en suspensión	80 – 90
DBO ₅	75 – 85
DQO	70 – 80
N	40 – 50
P	20 – 30

Tabla VI.- Rendimientos de depuración de los *Filtros de Turba* operando según el Esquema I y bajo las condiciones operativas indicadas.

5.2.- Esquema II: Desbaste-Lagunaje Anaerobio-Filtros de Turba

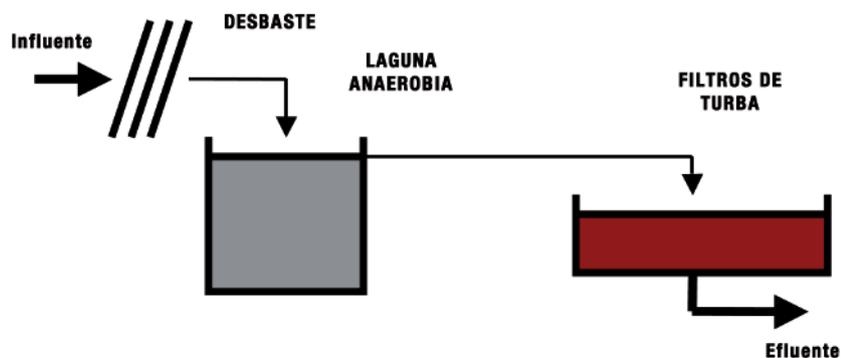


Figura 20.- Desbaste-Lagunaje Anaerobio-Filtros de Turba.

Operando bajo las condiciones siguientes:

- Carga hidráulica $\approx 600 \text{ l/m}^2.\text{d}$
- Carga orgánica $\approx 180 \text{ g DBO}_5/\text{m}^2.\text{d}$
- Carga de sólidos $\approx 140 \text{ g SS/m}^2.\text{d}$
- Espesor medio de la capa de turba: 40 cm
- Régimen de alimentación: en continuo
- Tipo de turba empleada: turba negra

Los rendimientos medios de depuración que se alcanzan son los que se recogen en la *Tabla VII*.

En esta combinación de tecnologías, al trabajar con menores cargas de sólidos se incrementa la duración de los ciclos operativos, al retrasarse la colma-

tación de la superficie del sustrato filtrante. Pero, esa mayor duración no debe exceder en más de una semana la duración normal de los ciclos operativos, dada la necesidad de dejar en reposo a la turba para su aireación y regeneración.

Parámetro	%
Sólidos en suspensión	80 – 90
DBO_5	80 – 85
DQO	75 – 80
N	40 – 50
P	20 - 30

Tabla VII.- Rendimientos de depuración de la combinación *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba* operando según el Esquema II y bajo las condiciones operativas indicadas.

5.3.- Esquema III: Tanque Imhoff (Fosa Séptica)-Filtros de Turba

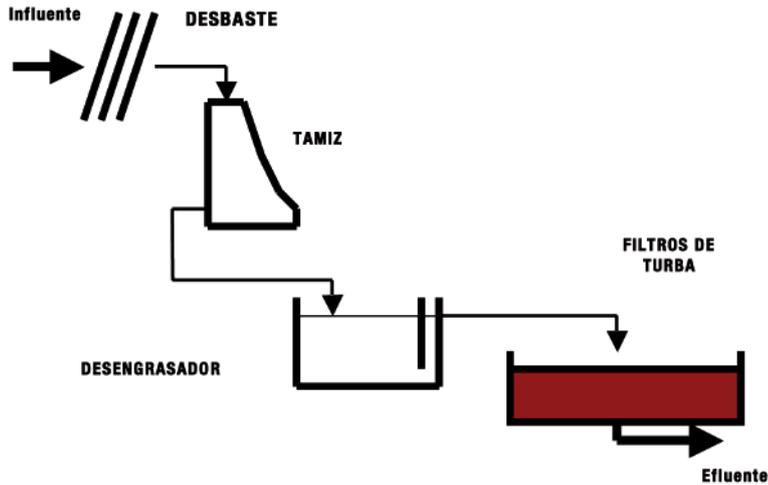


Figura 21.- Desbaste-Tanque Imhoff (Fosa Séptica)-Filtros de Turba.

Operando bajo las condiciones siguientes:

- Carga hidráulica $\approx 50 \text{ l/m}^2 \cdot \text{d}$
- Carga orgánica $\approx 10 \text{ g DBO}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$
- Carga de sólidos $\approx 10 \text{ g SS/m}^2 \cdot \text{d}$
- Espesor medio de la capa de turba: 30 cm
- Régimen de alimentación: discontinua
- Tipo de turba empleada: turba rubia

Los rendimientos medios de depuración que se alcanzan son los que se recogen en la *Tabla VIII*.

Parámetro	%
Sólidos en suspensión	90 – 95
DBO_5	90 – 95
DQO	85 – 90
N	30 – 40
P	10 – 20

Tabla VIII.- Rendimientos de depuración de los *Filtros de Turba* operando según el Esquema III y bajo las condiciones operativas indicadas.

6.- DISEÑO DE LOS FILTROS DE TURBA

Los valores de los parámetros que actualmente se emplean en el diseño de los *Filtros de Turba* se han obtenido de forma empírica, a través del seguimiento de unidades que operan con turbas negras, tratando aguas residuales urbanas con contenidos medios en DBO₅ y sólidos en suspensión de 500 y de 400 mg/l, respectivamente.

Los parámetros habituales en Andalucía para el dimensionamiento de este sistema de depuración, son los que se muestran en la Tabla adjunta.

Tabla IX.- Parámetros para el diseño de los Filtros de Turba.

Parámetro	Valor
Carga hidráulica (l/m ² .d)	≅ 600
Carga orgánica (g DBO ₅ /m ² .d)	≤ 300
Carga de sólidos (g SS/m ² .d)	≤ 240
Relación superficie total/superficie activa	2:1

Las recomendaciones para el dimensionamiento de los *Filtros de Turba* se basan en limitar la carga hidráulica aplicada a 600 l/m².d, comprobando, que para este valor de carga hidráulica, las cargas orgá-

nicas y de sólidos quedan por debajo de 300 g DBO₅/m².d y de 240 g SS/m².d, respectivamente. En caso de que se incumplan algunos de estos últimos requisitos, los filtros se dimensionan para cumplir el más restrictivo de los mismos.

La superficie así calculada es la superficie activa (la que debe encontrarse en operación) que, a efectos de diseño, generalmente se duplica para poder disponer de la misma superficie de turba en operación y en reserva.

Una vez determinada la superficie total de turba necesaria, se procede a determinar el número de filtros necesarios, de forma que la superficie de cada filtro sea de aproximadamente 100 m².

De acuerdo con estas pautas de dimensionamiento, un habitante equivalente requiere tan sólo 0,2 m² de *Filtros de Turba* en operación y 0,4 m² de superficie total, contando con las de los filtros en reposo.

Con relación a las características de las turbas a emplear como sustrato filtrante, aspecto de capital importancia para el correcto funcionamiento de esta tecnología de tratamiento, se trata en detalle en el siguiente apartado.

7.- CONSTRUCCIÓN DE LOS FILTROS DE TURBA

En este apartado se centra la atención en los detalles constructivos de los diferentes elementos que constituyen los *Filtros de Turba* y en los requisitos que debe cumplir el sustrato filtrante.

7.1.- El confinamiento

Lo normal es construir los filtros por excavación en el terreno, procediendo a su impermeabilización mediante paredes y soleras de hormigón o recurriendo al empleo de láminas de material plástico. En este último caso se suele emplear láminas de PEAD de 1,2 mm de espesor, que se colocan sobre láminas de geotextil. En ocasiones se recurre a una técnica intermedia, construyendo los muros verticales de hormigón y procediendo a la impermeabilización de la solera mediante el empleo de una lámina plástica.



Figura 22.- Construcción en hormigón de los muros verticales del confinamiento de una instalación de *Filtros de Turba*.



Figura 23.- *Filtros de Turba* contruidos por excavación en el terreno, impermeabilizados con lámina plástica.



Figura 24.- Colocación de una lámina de geotextil como paso previo a la impermeabilización del vaso de los *Filtros de Turba* con lámina plástica.



Figura 25.- *Filtros de Turba* con la solera impermeabilizada con lámina plástica de PEAD.

La configuración geométrica más frecuente de los filtros es la rectangular y, para facilitar un reparto homogéneo del agua a tratar sobre la turba, se recomienda que la superficie de cada unidad de filtración se sitúe en torno a los 100 m² (aproximadamente 15 x 7 m).

La solera de los filtros se construye con una pendiente del 1-2% hacia la zona de recogida de los efluentes depurados.



7.2.- El drenaje de los efluentes depurados

Para la recogida y evacuación de los efluentes depurados, tras su paso por las diferentes capas filtrantes que constituyen los *Filtros de Turba*, suele recurrirse al empleo de tuberías de drenaje, que se sitúan en la solera de los confinamientos y que quedan embutidas en la capa de grava que se dispone en el fondo de los filtros.

Las tuberías de drenaje que suelen emplearse presentan diámetros del orden de 150 mm.

Los efluentes recogidos en las tuberías drenantes se conducen a las zonas de evacuación, que pueden encontrarse tanto en los lados menores de los filtros como en los de mayor longitud.

Figura 26.- Tuberías de drenaje en la solera de los *Filtros de Turba*.

Antiguamente, los *Filtros de Turba* trabajaban en saturación, manteniéndose encharcado de forma continuada el sustrato filtrante. Para ello, los efluentes depurados se evacuaban a través de tuberías abatibles, que permitían regular el nivel del agua dentro del sustrato.



Figura 27.-
Tuberías abatibles a la salida de los *Filtros de Turba* para trabajar con el sustrato filtrante en saturación.

Dado que esta forma de operación no permitía la aireación del sustrato filtrante durante el ciclo operativo de los *Filtros de Turba*, provocando la instauración de forma rápida de condiciones de anaerobiosis, de un tiempo a esta parte la mayoría de las instalaciones operan con drenajes inferiores para la recogida y evacuación de los efluentes depurados, lo que permite la aireación de la turba.

7.3.- La ventilación del sustrato filtrante

Para mejorar la ventilación del sustrato filtrante, al objeto de mantener en lo posible condiciones aerobias que aceleren la degradación biológica de los contaminantes, las tuberías de drenaje dispuestas en los fondos de los filtros se suelen conectar, a intervalos regulares, con chimeneas verticales que sobresalen por la superficie de la turba, y que ejercen un efecto de tiro y renovación del aire presente en los drenes.



Figura 28.- Chimeneas de ventilación del sustrato filtrante.

7.4.- Las capas de áridos

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

Se recomienda que las capas de áridos, en orden descendente, presenten las siguientes características:

- Capa de gravilla (3-6 mm) de 15 cm de espesor.
- Capa de gravilla (6-12 mm) de 15 cm de espesor.
- Capa de grava (25-30 mm) de 20 cm de espesor, en la que se embuten las tuberías de drenaje.



Figura 29.- Colocación de la primera capa de áridos en la que se embuten las tuberías de drenaje.



Figura 30.- Colocación de la última capa de áridos, sobre la que se dispone la capa de turba.

7.5.- La turba

Los rendimientos que se alcanzan y el comportamiento hidráulico de los *Filtros de Turba* se ven directamente influenciados por la naturaleza de la turba que se emplee como sustrato filtrante.

Curiosamente, hasta hace unos pocos años, los proyectos constructivos de las estaciones de tratamiento mediante *Filtros de Turba* no especificaban las características exigibles a este sustrato (paradójicamente sí se especificaban perfectamente las características de los hormigones y aceros a emplear), circunstancia que ha sido una de las principales causas del deficiente funcionamiento de muchas depuradoras basadas en este tipo de tecnología.

En la actualidad, y en base a los estudios y a la experiencia acumulada en la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (PECC), se han definido los requisitos fisicoquímicos exigibles a las turbas para su empleo como sustrato filtrante en depuración de aguas residuales, requisitos que quedan recogidos en la *Tabla X*.

Tabla X.- Requisitos de las turbas para su empleo en depuración de aguas residuales urbanas.

pH (extracto 1:5)	6 – 8
Conductividad (extracto 1:5) (dS/cm)	< 5
Humedad (%)	50 – 60
Cenizas (%)	40 – 50
Materia Orgánica por calcinación (%)	50 – 60
Extracto Húmico Total (%)	20 – 30
Ácidos Húmicos (%)	1 – 20
C.I.C. (meq/100 g)	> 125
Relación C/N	20 – 25
Nitrógeno Kjeldhal (% N)	1,2 – 1,5
Hierro (ppm)	< 9.000
Conductividad hidráulica (l/m ² .h)	25

Nota: salvo pH, Conductividad y Humedad, el resto de datos se refieren a materia seca.

El contenido en materia orgánica da idea del grado de descomposición del material y, por tanto, será mayor en la turba rubia que en la negra y se reducirá al aumentar el grado de mineralización.

La relación C/N indica de forma más precisa el grado de descomposición y la estabilidad biológica de los materiales orgánicos. En el proceso de descomposición de la materia orgánica la pérdida de carbono, como anhídrido carbónico, es muy superior a la pérdida de nitrógeno, por lo que la relación C/N disminuye a lo largo del proceso y se hace tanto más pequeña cuanto más descompuesta está la materia orgánica. En el suelo, la relación C/N para el humus estable alcanza un valor próximo a 10.

El contenido en hierro de las turbas se limita para minimizar la aparición de coloraciones en los efluentes depurados tras su paso por el sustrato filtrante.

Con relación a la granulometría, parámetro que juega un papel capital en el comportamiento de la turba como elemento depurador, actualmente se recurre al empleo de sustratos que no presenten tamaños de partículas de más del 10% del peso total, ni por debajo de 0,1 mm ni por encima de 5 mm.

La *Figura 31* muestra una curva granulométrica típica para las turbas a emplear en depuración de aguas residuales urbanas.

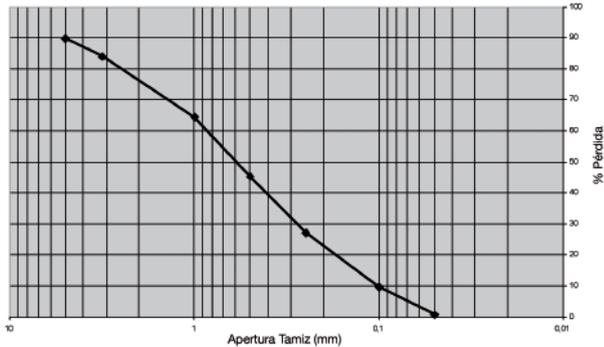


Figura 31.- Curva granulométrica típica de las turbas a emplear para la depuración de las aguas residuales urbanas.

En ocasiones, al emplear turbas con importantes proporciones de finos, éstos ascienden al inundarse los lechos y se depositan en la superficie de la turba, disminuyendo drásticamente su capacidad de filtración.

En lo referente al espesor que debe presentar la capa de turba, el valor recomendado es de 40 cm, debiéndose medir este espesor una vez que los filtros se han puesto en operación y se ha asentado el sustrato.

El coste actual de la turba negra procedente de los turberas de Granada se sitúa entorno a los 35 €/t.



Figura 32.- Colocación de la capa de turba.



Figura 33.- Turba ya colocada. Se aprecian las chimeneas de alimentación y los soportes (tubos cortos) para las tuberías de reparto.

7.6.- El sistema de reparto del agua a tratar sobre la turba

Al inicio de cada ciclo operativo, cuando aún no se han encharcado los filtros, es muy importante conseguir un reparto lo más homogéneo posible de las aguas a tratar sobre la superficie de la turba, al objeto de que la mayor parte de ésta se encuentre en operación.

Muchos han sido los sistemas de reparto que se han ido empleando a lo largo de la existencia de esta tecnología de tratamiento. Inicialmente, se recurría al empleo de tuberías que descansaban sobre vigas apoyadas en la superficie de la turba. Estas tuberías, a intervalos regulares, y situadas a ambos lados de las mismas, contaban con ramales laterales que podían girar, al objeto de ir regulando los caudales de salida de la forma más uniforme posible (Fig. 34).



Figura 34.- Sistema de reparto con salidas giratorias.

Debido a que este sistema de reparto dificultaba las labores de regeneración de los filtros, una vez acabados los ciclos operativos, se ha ido desechando, recurriéndose en la actualidad al empleo de tuberías perforadas (plásticas o metálicas), que se desconectan para dejar toda la superficie de la turba libre y facilitar las operaciones de regeneración.



Figura 35.- Tuberías para el reparto homogéneo de las aguas a tratar sobre la turba.



Figura 36.- Sistema de reparto de las aguas a tratar.

8.- PUESTA EN SERVICIO DE UNA INSTALACIÓN DE FILTROS DE TURBA

Como paso previo a la puesta en servicio de los *Filtros de Turba* se procederá a la comprobación de:

- El correcto funcionamiento de los elementos integrantes del:
 - Pretratamiento: rejillas de desbaste, tamiz, desengrasador.
 - Tratamiento primario: lagunas anaerobias, fosas sépticas, tanques Imhoff.
 - Sistema de medida de caudal y de las compuertas y válvulas que permiten el by-pass de las aguas y la puesta en marcha/paro de los diferentes *Filtros de Turba* implantados.
- La estanqueidad de los recintos que contienen a los sustratos filtrantes.

Tras estas comprobaciones iniciales, la puesta en operación de una estación depuradora basada en la tecnología de *Filtros de Turba* no encierra dificultades especiales pues, una vez puestos en servicio el número de filtros estipulado en Proyecto, bastará con permitir la entrada de las aguas residuales a tratar a los diferentes elementos integrantes del Pretratamiento (y del Tratamiento primario en su caso), y a continuación a los lechos filtrantes, no siendo necesario ningún tiempo de espera. Esta es una de las ventajas de esta tecnología de tratamiento, dado que la rapidez con que actúa la función fisicoquímica depuradora de la turba actúa, permite que desde el primer momento de la entrada en servicio de los lechos se obtenga agua depurada.

Una vez puestos en operación el número necesario de *Filtros de Turba*, se procurará que el reparto del agua a tratar sobre el sustrato filtrante sea lo más homogéneo posible, al objeto de que opere toda la superficie del lecho. Este aspecto es de gran importancia en los primeros días del ciclo operativo, hasta que la superficie filtrante se encharca de forma permanente, lo que ocurre aproximadamente a la mitad del ciclo. Una vez encharcada la superficie filtrante queda garantizada la operación de toda la extensión del lecho.

En aquellos casos en que se recurra como etapa previa a un lagunaje anaerobio, la puesta en marcha del mismo se hará llenándolo con las aguas residuales pretratadas y, una vez lleno, se detendrá la alimentación, dejando transcurrir unos días para la instauración de las condiciones de anaerobiosis, que se pondrán de manifiesto por el oscurecimiento del agua y la aparición de burbujeo en la masa líquida. Alcanzado este punto se continuará alimentando la etapa anaerobia con el caudal de diseño, empleando su efluente como influente de los *Filtros de Turba*.

9.- MANTENIMIENTO Y EXPLOTACIÓN DE UNA INSTALACIÓN DE FILTROS DE TURBA

Se describen a continuación las operaciones que se han de llevar a cabo para la correcta explotación y mantenimiento de los diferentes elementos constitutivos de una estación depuradora basada en la tecnología de *Filtros de Turba*.

9.1.- Desbaste

- Cuando se detecten sedimentaciones en el fondo de los canales en los que se ubican las rejas de desbaste, se procederá a su extracción para su envío a vertedero.
- En aquellos casos en los que el desbaste se ubique en distintos canales, periódicamente, se procederá a comprobar el funcionamiento y estanqueidad de las compuertas que permiten enviar las aguas hacia el canal que en cada momento se encuentre operativo. Si dichas compuertas tienen vástagos de accionamiento, se efectuará el engrase de los mismos con la periodicidad que indique el manual de mantenimiento elaborado por le fabricante.

Rejas de desbaste de limpieza manual.

- La limpieza de estas rejas se efectuará por rastreado, depositándose los residuos que se extraigan en los cestillos perforados dispuestos al efecto, con objeto de conseguir su escurrido antes de su recogida en un contenedor, para su posterior envío a vertedero.
- Deben tomarse especiales precauciones al rastrear las rejas de desbaste, dado que la firmeza de los pies del operario puede presentar dificultades, debido al agua y a las grasas que suelen acumularse en la zona, a la falta de espacio para colocarse adecuadamente y/o a la situación del contenedor en el que se depositan los residuos.
- La periodicidad de la limpieza será, en principio, diaria, si bien la experiencia que se adquiere con el tiempo de explotación de la estación depuradora fijará la frecuencia real con que ha-ya que realizarse esta operación. No obstante, es aconsejable que dicha periodicidad no sea muy superior a la citada, aunque el volumen de sólidos retenidos sea escaso, para evitar la aparición de olores desagradables.
- Especial atención se prestará a la limpieza de las rejas de desbaste en períodos de lluvias, dado que en esos momentos será mucho mayor el volumen y la heterogeneidad de los sólidos retenidos en las mismas.

Rejas de desbaste de limpieza automática.

- Diariamente, para evitar la generación de olores desagradables, se deberá proceder a la retirada de los residuos extraídos para su envío a vertedero.
- Los tiempos de accionamiento de los peines de limpieza se ajustarán en consonancia con las observaciones que se efectúen sobre su funcionamiento, incrementándose en época de lluvias.
- De acuerdo con el programa de la casa fabricante de los equipos electromecánicos implantados en el desbaste, se procederá regularmente al engrase (empleando para ello el lubricante que se especifique) y a la supervisión de los elementos mecánicos que se indiquen.
- Los residuos que no sean extraídos por los peines se eliminarán de forma manual mediante rastreado, previa desconexión del equipo.

9.2.- Tamizado

- Diariamente se procederá a evacuar los residuos eliminados en la operación de tamizado, con lo que se evitará la generación de malos olores, y al cepillado de la superficie filtrante en la dirección de las ranuras.

- Periódicamente se procederá a la limpieza de la superficie filtrante con la ayuda de un cepillo de cerda rígida y empleando algún producto detergente para la eliminación de la grasa depositada.

9.3.- Desengrasado

- Las grasas y flotantes que se acumulen en la superficie de los desengrasadores se retirarán periódicamente. En aquellas instalaciones dotadas de una tubería horizontal acanalada se girará dicha tubería, de forma que su ranura horizontal quede ligeramente sumergida en la capa de flotantes a retirar. Ello permite que los sobrenadantes puedan recogerse por el extremo de la tubería tras la apertura de la correspondiente válvula. Si la estación de tratamiento carece de dicho sistema, o éste no opera correctamente, se procederá a la extracción de las grasas y flotantes haciendo uso de un recoge hojas de piscina.

La retirada de sobrenadantes se llevará a cabo cuando se observe la formación de una capa consistente de los mismos, al objeto de minimizar la extracción de agua.

Las grasas retiradas se irán acumulando en un contenedor, dispuesto al efecto, para su posterior recogida por un gestor autorizado.

- En las paredes del desengrasador, y a la altura de lámina de agua, se formarán, con el tiempo, costras de grasa que ocluyen otros materiales flotantes. Estas costras se eliminarán periódicamente con la ayuda de una espátula y los residuos se acumularán en un contenedor para su envío a vertedero.
- Cuando se observe un excesivo burbujeo en la superficie del desengrasador será necesario proceder a la extracción de los lodos acumulados en su fondo. Para ello, se empleará una bomba sumergible, y los lodos extraídos se evacuarán fuera de la estación o se enviarán a las lagunas anaerobias, fosas sépticas, tanques Imhoff o eras de secado, en aquellas instalaciones que cuenten con estos elementos.

9.4.- Lagunas Anaerobias

- Periódicamente, se debe proceder a la retirada de los flotantes que aparezcan en la superficie de las lagunas, empleando para ello un recoge hojas de piscina, y aprovechando los momentos en que los vientos reinantes acumulen estos flotantes en los bordes de las lagunas. Los flotantes retirados se recogerán en el contenedor de residuos para su posterior envío a vertedero.

- Con una frecuencia que, en principio, puede fijarse en 5-10 años, se llevará a cabo la purga de los fangos que se han ido acumulando en el fondo de las lagunas. Esta extracción se efectuará preferiblemente en húmedo, empleando para ello una bomba sumergible, que se irá desplazando por todo el fondo de la laguna.

Los fangos extraídos tendrán una relación mineral/volátil de 60/40 aproximadamente, y su destino más simple y lógico será su aplicación como fertilizante en campos de labor cercanos, siempre y cuando se cumplan los requisitos que se especifican en las normativas correspondientes. Si esta solución no fuese factible, será necesario el envío de los lodos purgados a estaciones depuradoras dotadas de tratamiento de fangos, o podrán deshidratarse “in situ”, mediante el empleo de eras de secado.

- Si las lagunas cuentan con taludes de tierra, éstos pueden resultar dañados por las lluvias y por la presencia de animales que construyen sus madrigueras en ellos. En caso que se detecten estos desperfectos, se procederá inmediatamente a su reparación, rellenando y compactando las hendiduras.
- Si las lagunas se encuentran impermeabilizadas con lámina plástica y se detectan roturas en la misma, se deberán reparar inmediatamente.

- Especial cuidado se tendrá en todas las operaciones de mantenimiento que se realicen en estas lagunas y que exijan caminar sobre lámina plástica, dado el riesgo de resbalamientos y caídas a su interior, siendo muy dificultoso el salir de las mismas.

9.5.- Fosas sépticas y Tanques Imhoff

- Las grasas y flotantes que se acumulen en la superficie de las fosas sépticas o tanques Imhoff se retirarán periódicamente haciendo uso de un recoge hojas de piscina. La retirada de sobrenadantes se llevará a cabo cuando se observe la formación de una capa consistente de los mismos, al objeto de minimizar la extracción de agua. Las grasas retiradas se irán acumulando en un contenedor dispuesto al efecto, para su posterior recogida por agente autorizado.
- Periódicamente, se procederá a la extracción de los lodos acumulados. Para esta operación se requerirá el empleo de un camión cisterna dotado con equipo de bombeo. Los lodos extraídos se transportarán a una estación de tratamiento de fangos o podrán deshidratarse “in situ”, mediante el empleo de eras de secado.

9.6.- Filtros de Turba

- Los *Filtros de Turba* operarán de forma escalonada, encontrándose unos en operación y otros en reposo. La superficie de los filtros operativos se irá colmatando progresivamente por las grasas y sólidos no eliminados en los tratamientos previos y por el propio desarrollo bacteriano que tiene lugar en esta superficie. Esta colmatación origina una paulatina pérdida de la capacidad de filtración, que se pone de manifiesto por el incremento de nivel de la lámina de agua en los filtros. Antes de que el agua sin tratar alcance los aliviaderos de seguridad, es preciso detener los filtros en operación y poner en funcionamiento los que se encuentran en reposo. Si no se procediese de esta forma, se produciría la mezcla de los efluentes depurados con agua residual sin tratar, con una caída drástica de los rendimientos de depuración.

La duración media de los ciclos operativos de los filtros se estima en unos 10-12 días.

- Los filtros fuera de operación se dejarán secar, con lo que irá formándose en su superficie una costra. El tiempo necesario para el secado de esta costra variará según las condiciones meteorológicas.



Figura 37.- Aspecto de la costra que se forma en la superficie de los *Filtros de Turba* una vez seca.

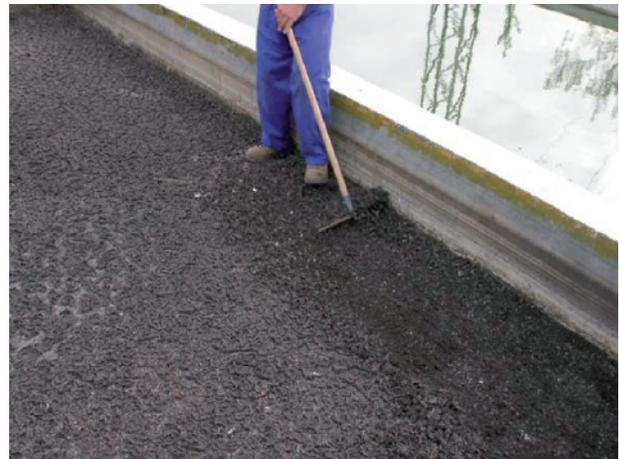


Figura 38.- Retirada de la costra mediante rastrillado.



Figura 39.- Extracción de la costra fuera de los filtros.



Figura 40.- Evacuación de la costra extraída.



Figura 41.- Aspecto de la superficie del filtro tras la extracción de la costra.



Figura 42.- Escarificado de la superficie del filtro.



Figura 43.- *Filtro de Turba regenerado.*

- En aquellos casos en los que el confinamiento de los filtros está ejecutado mediante lámina plástica, se tendrá un especial cuidado en todas las operaciones relacionadas con la retirada de la costra, para evitar cualquier daño a la lámina impermeabilizante que pudiera dar lugar a infiltraciones de aguas residuales sin depurar.
- Es precisa la colocación de unas placas protectoras en los puntos de salida de las tuberías de distribución de la alimentación, con objeto de que el agua no origine agujeros en la turba y cree caminos preferenciales.
- Al final de cada ciclo operativo se procederá a la limpieza de los sistemas de distribución del agua sobre la turba. Con ello se evitarán obstrucciones en los orificios de salida.
- Se procederá, de forma periódica, a la limpieza de los canales de recogida de efluentes de los filtros para eliminar los sedimentos que en ellos puedan formarse y que pueden empeorar la calidad del vertido final.
- Dado que en la operación de rastrillado se pierde parte de la turba, es necesario proceder regularmente a la restitución del espesor inicial para garantizar los rendimientos de depuración. 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 lleve a cabo correctamente.
- 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 en unos 8-10 años.

9.7.- Laguna de Maduración como etapa de afino

- Periódicamente, se procederá a la retirada de los flotantes que aparezcan en la superficie de estas lagunas. Esta operación, con la que se evita la proliferación de mosquitos, se efectuará con ayuda de un recoge hojas de piscina, aprovechando los momentos en los que el viento reinante empuje dichos flotantes hacia los bordes de las lagunas.
- Los taludes de tierra y las láminas de impermeabilización requieren las mismas labores de mantenimiento que las especificadas para las *Lagunas Anaerobias*.
- En las lagunas sin impermeabilización, y en las zonas de los taludes próximas al nivel de agua (aproximadamente 1 m) se evitará, mediante el empleo de herbicida adecuado o eliminación manual con azada, el crecimiento de vegetación espontánea, como medida preventiva contra la proliferación mosquitos.

9.8.- Seguimiento del proceso

Para comprobar el estado de funcionamiento de una estación depuradora basada en la tecnología de *Filtros de Turba* y poder prevenir posibles anomalías, es necesario el seguimiento periódico de una serie de parámetros.

Se aconseja que las visitas a la estación depuradora sean diarias y, para dejar constancia del control de los mencionados parámetros, el operador de la estación dispondrá de un cuadernillo en el que anotará:

- Fecha y hora de la visita a la estación depuradora.
- Caudal tratado de aguas residuales.
- Número e identificación de los *Filtros de Turba* en operación.
- En su caso, color y aspecto de las Lagunas Anaerobias y de Maduración.
- Aspecto del efluente depurado.
- Anomalías en los taludes de las lagunas (en su caso), en los viales y en la obra civil en general.
- Fechas de realización de las diferentes tareas de mantenimiento: limpieza de desengrasador y tamiz; retirada de flotantes en las lagunas; extracción de fangos en las Lagunas Anaerobias, regeneración de los *Filtros de Turba*, eliminación de malas hierbas en taludes y viales, etc.
- Tiempos de funcionamiento de los sistemas de limpieza de las rejillas automáticas (en su caso).

- Si la estación depuradora está dotada de energía eléctrica para el bombeo de las aguas residuales, el accionamiento de los elementos del Pretratamiento, riego con los efluentes depurados, iluminación, etc., se anotarán las lecturas de los contadores correspondientes.
- En un apartado de “observaciones”, se registrarán cuantas incidencias se estimen oportunas sobre las características visuales y olfativas de las aguas residuales, destacando la presencia de sustancias extrañas en las mismas, el posible empleo de los efluentes depurados por los agricultores de la zona, la duración de los períodos de lluvia intensa, etc.

En el caso de que la instalación de *Filtros de Turba* cuente con equipos electromecánicos (rejas de desbaste de limpieza automática, tornillos o cintas transportadoras para la evacuación de los residuos generados en el pretratamiento, caudalímetros, bombas, etc.), estos equipos dispondrán de fichas individualizadas donde se registrarán:

- Sus características operativas.
- Las horas de funcionamiento.
- El calendario de operaciones de mantenimiento.
- Las averías sufridas.
- Todas aquellas observaciones que sobre su funcionamiento se consideren pertinentes.

Una tarea importante que habrá de realizar el operador de la estación de tratamiento es la medición de los caudales, tanto de las aguas residuales influentes como de las aguas depuradas. En aquellas esta-

ciones dotadas de medidores de caudal con registro tan sólo será necesario anotar las lecturas, pero cuando se carece de estos elementos de medida será preciso recurrir a métodos *volumen-tiempo* (determinando el tiempo que tarda en llenarse un recipiente de capacidad conocida; en el caso de instalaciones con cámaras de bombeo, deteniendo el funcionamiento de las bombas, y determinando el incremento de altura que experimenta la lámina de agua en un tiempo determinado), o a métodos *sección-velocidad* (determinado el tiempo que una mancha, producida por la adición de un colorante, tarda en recorrer la distancia entre dos pozos de registro contiguos del colector de llegada a la estación depuradora).

En lo referente al control del proceso, en aquellas instalaciones dotadas de Lagunas Anaerobias y de Maduración, la observación (visual y olfativa) de las mismas permitirá determinar, de forma aproximada, si operan o no correctamente.

Independientemente del seguimiento rutinario, será necesario también realizar en laboratorio el control de una serie de parámetros que permitan conocer el nivel de depuración alcanzado, con objeto de poder determinar el grado de cumplimiento de la Directiva 91/271.

En el Diario Oficial de las Comunidades Europeas de 30 de Mayo de 1991 se publicó la Directiva del Consejo 91/271, de 21 de Mayo de 1991, referente al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

La Directiva contiene estipulaciones relativas al transporte, tratamiento y descarga de las aguas residuales, siendo su objetivo la protección del medio ambiente de los efectos adversos de estos vertidos, estableciendo unos requisitos mínimos para la descarga de dichas aguas residuales.

Para aglomeraciones urbanas entre 2.000 y 9.999 habitantes-equivalentes, la Directiva establece que se efectúen a lo largo del primer año de seguimiento de la estación depuradora un mínimo de 12 muestreos.

Las muestras se tomarán durante períodos de 24 horas, a intervalos regulares y proporcionales al caudal circulante. Del total de muestreos efectuados deberán cumplir los requisitos exigidos, en cuanto a concentración o porcentaje de reducción, un mínimo de 10. Si ésto se cumple en años próximos, el número de muestras a tomar será de 4.

La Tabla adjunta recoge los parámetros a determinar, los requisitos de vertido (concentración/rendimiento) y los métodos analíticos a emplear.

Tabla XI.- Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas. Se aplicará el valor de concentración o el porcentaje de reducción.

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)	Método de medida de referencia
DBO ₅ a 20°C sin nitrificación (2)	25 mg/l O ₂	70-90	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Determinación de oxígeno disuelto antes y después de 5 días de incubación a 20°C ± 1 °C, en completa oscuridad. Aplicación de un inhibidor de nitrificación.
DQO	125 mg/l O ₂	75	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Digestión ácida con dicromato potásico.
Total de sólidos en suspensión (3)	35 mg/l (más de 10000 h. e.) (4); 60 mg/l (de 2000 a 10000 h. e.) (4)	90 (más de 10000 h. e.) (4); 70 (de 2000 a 10000 h. e.) (4)	Filtración de una muestra representativa a través de una membrana de filtración de 0,45 micras. Secado a 105°C y pesaje.
			Centrifugación de una muestra representativa (durante 5 minutos como mínimo, con una aceleración media de 2800 a 3200 g), secado a 105°C y pesaje.
(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada.			
(2) Este parámetro puede sustituirse por otro: carbono orgánico total (COT) o demanda total de oxígeno (DTO), si puede establecerse una correlación entre DBO ₅ y el parámetro sustitutivo.			
(3) Este requisito es optativo.			
(4) De conformidad con el apartado 2 del artículo 4.			

En el caso de que el vertido final de la estación de tratamiento se realice a una zona catalogada como “sensible”, será necesario proceder también a la determinación de los contenidos en Nitrógeno y Fósforo, de acuerdo con la Tabla siguiente.

Tabla XII.- Requisitos para los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas realizados en zonas sensibles propensas a eutrofización. Según la situación local, se podrán aplicar uno o los dos parámetros. Se aplicará el valor de concentración o el porcentaje de reducción.

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)	Método de medida de referencia
Fósforo total	2 mg/l (10000 - 100000 h. e.)	80	Espectrofotometría de absorción molecular.
	1 mg/l (más de 100000 h. e.)		
Nitrógeno total (2)	15 mg/l (10000 – 100000 h. e.) (3)	70-80	Espectrofotometría de absorción molecular.
	10 mg/l (más de 100000 h. e.) (3)		
(1) Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada.			
(2) Nitrógeno total equivale a la suma de nitrógeno Kjeldahl total (N orgánico y amoniacal), nitrógeno en forma de nitrato y nitrógeno en forma de nitrito.			
(3) Estos valores de concentración constituyen medidas anuales. No obstante, los requisitos relativos al nitrógeno pueden comprobarse mediante medidas diarias cuando se demuestre que se obtiene el mismo nivel de protección. En ese caso, la medida diaria no debe superar los 20 mg/l de nitrógeno total para todas las muestras, cuando la temperatura del efluente del reactor biológico sea superior o igual a 12°C. En sustitución del requisito relativo a la temperatura, se podrá aplicar una limitación del tiempo de funcionamiento que tenga en cuenta las condiciones climáticas regionales.			

El correcto mantenimiento de la estación depuradora y de su entorno contribuye notablemente a minimizar el impacto que produce este tipo de instalaciones. En este apartado se incluyen el mantenimiento de la obra civil y de las conducciones, el control del buen estado del cerramiento, el cuidado de la ornamentación vegetal implantada, el control de roedores, etc.

Como norma general de obligado cumplimiento, en todas aquellas operaciones de mantenimiento en las que el operario entre en contacto con las aguas a tratar es imprescindible el empleo de guantes desechables y, al final de dichas operaciones, se deberá proceder a una limpieza a fondo de las manos y de las herramientas empleadas.

En la caseta de servicio se dispondrá de un botiquín dotado de todo lo necesario para hacer frente a los pequeños accidentes que puedan ocurrir en el transcurso de las operaciones de mantenimiento de la estación depuradora.

9.9.- Anomalías más frecuentes y su solución

Entre las anomalías más frecuentes que pueden presentarse en el funcionamiento de una estación depuradora basada en la tecnología de *Filtros de Turba* destacan:

- *Deficiente calidad de depuración:*
puede tener su origen en la creación de caminos preferenciales en el seno de la turba, que hacen que el agua circule rápidamente por ellos, sin que se produzca el tiempo de retención necesario para alcanzar la depuración requerida. Para la eliminación de estos caminos preferenciales se procederá a un cavado en profundidad (manual o mecánico) de la capa de turba.
- *Rápida colmatación de los filtros:*
suele tener su origen en un deficiente funcionamiento de las etapas previas incluidas en el Pretratamiento, por lo que su solución pasa por lograr la correcta operación de las mismas.

En ocasiones, la colmatación excesivamente rápida del sustrato filtrante está motivada por un mal funcionamiento del sistema de reparto de agua a las diferentes unidades de filtración que se encuentran operativas, lo que provoca que algunos de los filtros reciban cargas hidráulicas superiores a las de Proyecto. Un correcto reparto de los caudales a tratar entre los filtros que en cada momento se encuentren en operación, solventará este problema.

10.- MEJORAS EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS FILTROS DE TURBA

En la actualidad el número de estaciones depuradoras de aguas residuales existentes en Andalucía que se basan en la tecnología de *Filtros de Turba*, se eleva a unas noventa, si bien, pese al elevado número de estas instalaciones, de un tiempo a esta parte se detecta un cierto rechazo a su aplicación. Este rechazo tiene su origen, principalmente, en los bajos rendimientos de depuración que se alcanzan en algunas de las depuradoras existentes, en problemas de tipo operativo y en la necesidad de una mayor mano de obra con relación a otras *Tecnologías no Convencionales*.

Gran parte de las deficiencias detectadas en los *Filtros de Turba*, actualmente en operación, son debidas a diseños deficientes, a una elección inadecuada de la turba y a la incorrecta explotación y mantenimiento de las instalaciones.

Ante este deficiente comportamiento es frecuente que se proceda a la sustitución completa del sistema de tratamiento implantado, sin antes estudiar las posibles causas que originan estas deficiencias, y sin evaluar el posible empleo de los filtros existentes en otros posibles usos, dentro del proceso global de depuración.

Poner remedio a estas deficiencias, constituye en la actualidad, un reto para diseñadores, constructores y explotadores de estaciones de tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones.

Los trabajos que se llevan a cabo para mejorar el comportamiento de los *Filtros de Turba* como tecnología de tratamiento de las aguas residuales urbanas se centran, fundamentalmente, en:

- El propio diseño de los filtros.
- Las características que deben reunir las turbas que se empleen como sustrato filtrante.
- La forma en la que se efectúa la alimentación a los filtros.

10.1.- Modificaciones en el diseño de los Filtros de Turba

La *Tabla XIII* compara los parámetros de diseño actualmente aplicados para el dimensionamiento de los *Filtros de Turba*, con los que se aplican a una tecnología de tratamiento con un fundamento similar y con la que a veces se comparan: los Filtros Intermitentes de Arena.

Tabla XIII.- Comparación de las variables de diseño de los *Filtros de Turba* con las de los Filtros Intermitentes de Arena.

Variable	Valores típicos	
	Filtros de Turba	Filtros Intermitentes de Arena
Carga hidráulica (l/m ² .d)	600	50
Carga orgánica (g DBO ₅ /m ² .d)	300	10

Se observa, que las cargas hidráulicas aplicadas a los *Filtros de Turba* son doce veces superiores a las que se aplican a los Filtros Intermitentes de Arena, mientras que las cargas orgánicas son unas treinta veces mayores.

Los rendimientos típicos que se alcanzan cuando se opera con Filtros Intermitentes de Arena aplicando las cargas recomendadas, se recogen en la *Tabla XIV*. Por otro lado, en aplicaciones de la tecnología de *Filtros de Turba* a pequeña escala (por debajo de los 500 habitantes equivalentes), llevadas a cabo en Estados Unidos y Canadá, las cargas hidráulicas con las que se operan son del orden de 50-60 l/m².d (similares a las de los Filtros Intermitentes de Arena), lográndose rendimientos de sólidos en suspensión y de DBO₅ superiores al 95%.

Tabla XIV.- Rendimientos de depuración de los Filtros Intermitentes de Arena.

Parámetro	%
Sólidos en suspensión	90 - 95
DBO ₅	90 - 95
DQO	80 - 90

En base a estas consideraciones, parece necesario corregir a la baja las cargas hidráulicas y orgánicas con las que los *Filtros de Turba* se diseñan actualmente, incrementando, por tanto, la superficie de filtración requerida por habitante equivalente a tratar.

10.2.- Modificaciones en el régimen de operación

Hoy en día, la mayoría de los *Filtros de Turba* existentes se alimentan de forma continua, siguiendo el caudal de alimentación las fluctuaciones normales que se dan en los caudales de aguas residuales a lo largo del día, y que son tanto más pronunciadas cuanto menor es la población que las genera.

Esta forma de alimentación conlleva que a lo largo de la duración de un ciclo operativo (generalmente 10-12 días), las condiciones aerobias que imperan en el seno de la turba al comienzo del ciclo deven-gan, hacia la mitad del mismo, y una vez que se ha encharcado su superficie, en condiciones anaerobias, al no poderse restituir el oxígeno consumido por la actividad bacteriana en la oxidación de la materia orgánica biodegradable, ni el oxígeno desplazado por el agua, que va ocupando los poros de la turba.

Otras tecnologías aplicadas al tratamiento de las aguas residuales urbanas (Filtros Intermitentes de Arena, Humedales Artificiales de Flujo Vertical, Filtros Verdes, etc.), operan con alimentaciones intermitentes, lo que permite la oxigenación del sustrato filtrante en los momentos de reposo, al volver a ser ocupados los poros por el aire conforme desciende el nivel del agua en el sustrato.

El comportamiento de los *Filtros de Turba* podría mejorarse recurriendo a cambiar la habitual alimentación en régimen continuo por alimentaciones intermitentes, dando por finalizados los ciclos operativos en cuanto se comience a encharcar la superficie de los filtros, al objeto de preservar al máximo las condiciones aerobias en el sustrato (*Figura 44*). Para conseguir esta alternancia en la alimentación de los filtros, sin tener que recurrir a la implantación de bombeos, pueden emplearse sifones de descarga controlada (*Figura 45*), al igual que se hace en el caso de los Humedales Artificiales de Flujo Vertical.

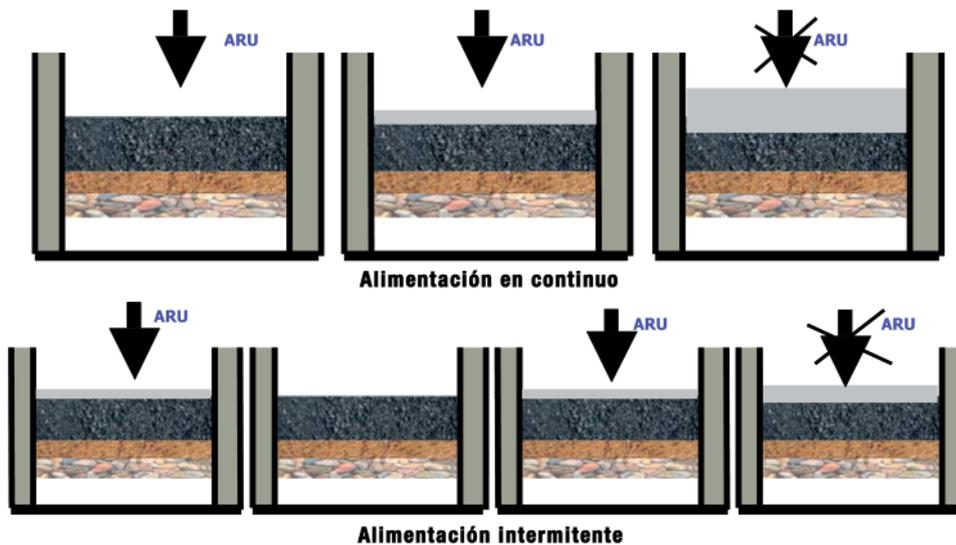


Figura 44.- Modificaciones en el régimen de alimentación de los *Filtros de Turba*.



Figura 45.- Sifón de descarga controlada (Rissi Plastics LLC),

También puede mejorarse el comportamiento de los *Filtros de Turba* mediante la recirculación de parte de los efluentes depurados a cabecera del tratamiento, de forma similar a como se trabaja con ciertos Filtros Intermitentes de Arena.

10.3.- Otras posibles aplicaciones de los *Filtros de Turba*

Actualmente, ante el deficiente comportamiento de algunas estaciones de depuración basadas en *Filtros de Turba* (deficiencia debida principalmente a las causas apuntadas en apartados anteriores), es frecuente que se proceda a la sustitución completa del sistema de tratamiento implantado, sin antes estudiar las posibles causas de estas deficiencias y sin evaluar el posible empleo de los filtros existentes en otros posibles usos, dentro del proceso global de depuración.

En la reconversión de estaciones depuradoras de *Filtros de Turba* es factible (y muy recomendable), proceder a dar algún uso a los filtros existentes antes que proceder a su eliminación. Entre estos posibles usos se encuentran el empleo de los *Filtros de Turba* a modo de Eras de Secado de Lodos, como sustitutivos de Decantadores Secundarios o como tratamiento previo de las aguas residuales.

10.3.1.- Empleo de los *Filtros de Turba* como Eras de Secado de Lodos

En aquellas situaciones en las que se procede a la sustitución de los *Filtros de Turba* existentes por otro tipo de tecnología de tratamiento que de lugar a la generación de lodos (Aireaciones Prolongadas, Lechos Bacterianos, Contactores Biológicos Rotativos, etc.), pueden reconvertirse los filtros existentes en Eras de Secado, en las que proceder a la deshidratación de estos lodos.

Con relación a las Eras de Secado clásicas, que recurren al empleo de áridos (gravas y arena) como sustrato filtrante, los *Filtros de Turba* presentan las ventajas de dar un mayor grado de tratamiento a los lixiviados y de minimizar los impactos olfativos que se generan en los procesos de secado de lodos, al aprovechar la capacidad de adsorción de olores que presenta la turba, encuadrada dentro de los carbones naturales.

Para el dimensionamiento de *Filtros de Turba* destinados a la deshidratación de lodos, de acuerdo con los ensayos realizados en la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes, pueden emplearse los mismos valores de carga de sólidos que para las Eras de Secado convencionales, es decir, del orden de 100 kg de sólidos secos/m².año.



Figura 46.- *Filtros de Turba* empleado como Era de Secado de Lodos.

10.3.2.- Sustitución de Decantadores Secundarios por *Filtros de Turba*

La etapa de decantación secundaria situada tras los reactores biológicos (Cubas de Aireación, Lechos Bacterianos, Contactores Biológicos Rotativos), con cierta frecuencia presenta problemas operativos (generación de lodos voluminosos: “*bulking*”, desarrollo de espumas, etc.). Estos problemas provocan que una parte importante de los lodos escapen con los efluentes depurados, con la consiguiente pérdida en la calidad de los mismos.

En aquellas tecnologías en que se procede a la sustitución de *Filtros de Turba* por tecnologías que requieran Decantación Secundaria, y en las que no sea preciso recircular parte de los lodos decantados a los reactores biológicos (Lechos Bacterianos y Contactores Biológicos Rotativos), es posible sustituir la etapa de decantación por una etapa de filtración en los lechos de turba ya existentes.

Para la evaluación de esta posibilidad se ha procedido al estudio de la combinación *Contactador Biológico Rotativo + Filtros de Turba* en la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (Figuras 47 y 48).

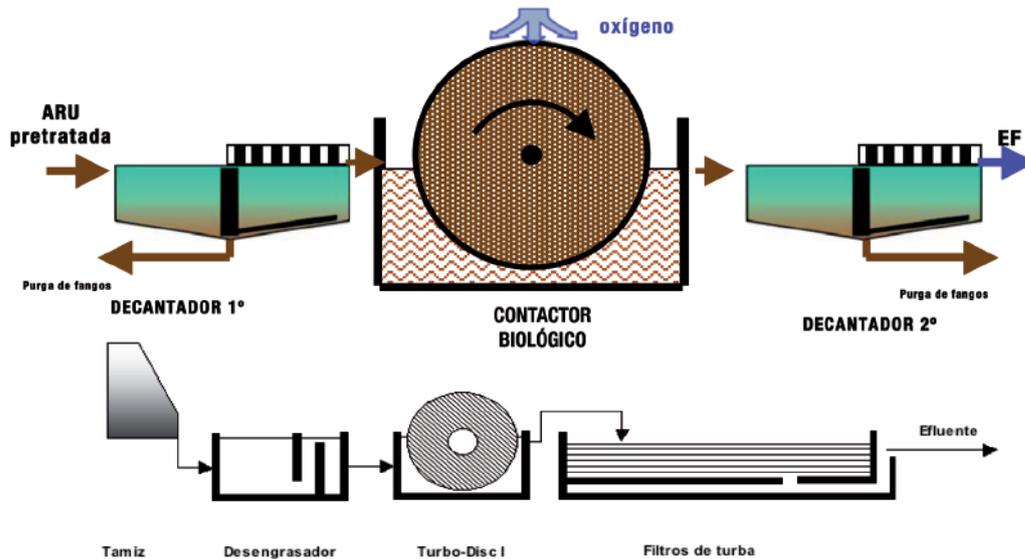


Figura 47.- Comparación de los diagramas de flujo de una instalación clásica de tratamiento de aguas residuales mediante Contactores Biológicos Rotativos y de una instalación que sustituye la etapa de Decantación Primaria por Tamizado y la Decantación Secundaria por Filtros de Turba.

Los resultados obtenidos tras un año de seguimiento de esta combinación de tecnologías han permitido extraer las conclusiones siguientes:

- Las cargas hidráulicas deben encontrarse entre $0,6 - 0,9 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ para obtener duraciones de los ciclos de operación de los *Filtros de Turba* del orden de 10-15 días.
- Los tiempos de secado de la costra, tras el cese de la alimentación a los *Filtros de Turba*, oscila entre los 6-8 días en periodo estival y los 12-15 días en invierno.
- El grado de sequedad que se alcanza en la costra, con los tiempos de secado mencionados en el apartado anterior, oscila entre el 70-90 %, situándose la concentración de sólidos volátiles en torno al 50%.
- El paso del licor mezcla procedente de la cuba del Contactor Biológico a través de los *Filtros de Turba*, mejora la calidad de los efluentes depurados finales con relación a los rendimientos que se alcanzan cuando el Contactor opera con decantador secundario asociado. Los rendimientos de eliminación de sólidos en suspensión, DBO_5 y DQO pasan del: 89%, 90% y 86%, al 92%, 94% y 97%, respectivamente.



Figura 48.- Contactor Biológico Rotativo, *Filtro de Turba* en sustitución de la etapa de Decantación Secundaria y aspecto de los lodos secos. Planta Experimental de Carrión de los Céspedes.

10.3.3.- Los *Filtros de Turba* como tratamiento previo

Otra posible aplicación de los *Filtros de Turba* existentes, cuando se decide la implantación de una nueva tecnología de tratamiento, pasa por el empleo de estos filtros como tratamiento previo antes que las aguas alimenten el nuevo sistema depurador.

Entre las ventajas que esta posible aplicación presenta, cabe destacar:

- Gracias a los rendimientos en eliminación de materia orgánica que se consiguen en los *Filtros de Turba* (reducciones de DBO_5 del orden del 75-85%), se reducen notablemente las dimensiones de la etapa posterior que se implante, con el consiguiente ahorro de espacio y de coste.

- Se simplifica la gestión de los lodos generados en el proceso de tratamiento, dado que en el paso previo por los *Filtros de Turba* no se generan lodos sino una costra de fácil secado y manipulación. Además, como consecuencia del abatimiento de materia orgánica en los filtros, la generación de lodos en la segunda etapa del tratamiento se minimiza, y siempre cabe la opción de proceder a sustituir la etapa de Decantación Secundaria por un proceso de filtración por turba, con lo que no se generarían lodos en todo el proceso de tratamiento.

En la Planta Experimental de Carrión de los Céspedes se ha estudiado la combinación "*Filtros de Turba + Lecho Bacteriano*" (Figura 49), y comienza a estudiarse la combinación "*Filtros de Turba + Humedales Artificiales*" (Figura 50), que se espera permita reducir notablemente la superficie necesaria de humedal y que minimice el riesgo de posibles colmataciones del sustrato.



Figura 49. *Filtros de Turba*, Lecho Bacteriano y detalle del efluente a la salida del Lecho Bacteriano. Planta Experimental de Carrión de los Céspedes.



Figura 50. *Filtros de Turba*, Humedal Artificial y detalle del efluente a la salida del Humedal. Planta Experimental de Carrión de los Céspedes.

11.- VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LOS FILTROS DE TURBA

Los *Filtros de Turba*, como cualquier otro sistema de depuración de aguas residuales, presentan una serie de ventajas e inconvenientes, que pueden aconsejar o no su utilización en cada situación concreta.

11.1.- Ventajas

Entre las ventajas destacan:

- Desde el momento de la puesta en marcha de los *Filtros de Turba* se logra un elevado grado de depuración de los vertidos, gracias a los procesos fisicoquímicos que tienen lugar en el sustrato filtrante, por lo que son muy adecuados para el tratamiento de las aguas residuales generadas en aglomeraciones con fuertes oscilaciones de población.
- Presentan una elevada capacidad para absorber sobrecargas hidráulicas y orgánicas.
- Tienen un buen comportamiento a bajas temperaturas.
- Requieren poca superficie para su implantación, la menor de todas las *Tecnologías no Convencionales*.

- Sencillez de operación, tan sólo hay que proceder al cambio de los filtros en operación conforme van acabando sus ciclos operativos.
- Bajos costes de explotación y mantenimiento:
 - Las labores de mantenimiento son típicamente agrícolas (rastrillado, escarificado), por lo que no se requiere personal cualificado.
 - El sistema puede operar sin ningún consumo energético, si las aguas a tratar llegan por gravedad hasta la estación depuradora.
 - Inexistencia de averías al carecer de equipos mecánicos.
 - No se producen lodos sino una costra seca fácilmente manipulable.
- Escasos impactos ambientales:
 - Ausencia de ruido, al no contar con equipos electromecánicos.
 - Ausencia de olores, gracias a las propiedades de adsorción de la turba.
 - Escaso impacto visual, al construirse los filtros excavados en el terreno.

11.2.- Inconvenientes

Como principales inconvenientes pueden citarse:

- Dependencia de las condiciones pluviométricas, que inciden sobre los tiempos necesarios para el secado de la costra superficial y, en consecuencia, afectan a la superficie necesaria de los lechos. Una pluviometría muy elevada invalida la implantación de este tipo de tecnología.
- Mayor necesidad de mano de obra que otras *Tecnologías no Convencionales*, al tener que procederse al final de cada ciclo de filtración a la regeneración de los filtros agotados.
- Necesidad de proceder a cambiar la turba cada 6-8 años de operación.
- Los efluentes suelen presentar una ligera coloración amarilla, consecuencia del arrastre de componentes de las propias turbas.

12.- LOS FILTROS DE TURBA EN ANDALUCÍA

Los *Filtros de Turba* para el tratamiento de las aguas residuales urbanas comenzaron a implantarse en Andalucía en la década de los 80. En la actualidad la Comunidad cuenta con 91 instalaciones basadas en esta tecnología de tratamiento repartidas por todo su territorio (*Figura 51*), destacando las provincias de Almería y Granada, que cuentan con el 40% y el 30% del total de las instalaciones, respectivamente.

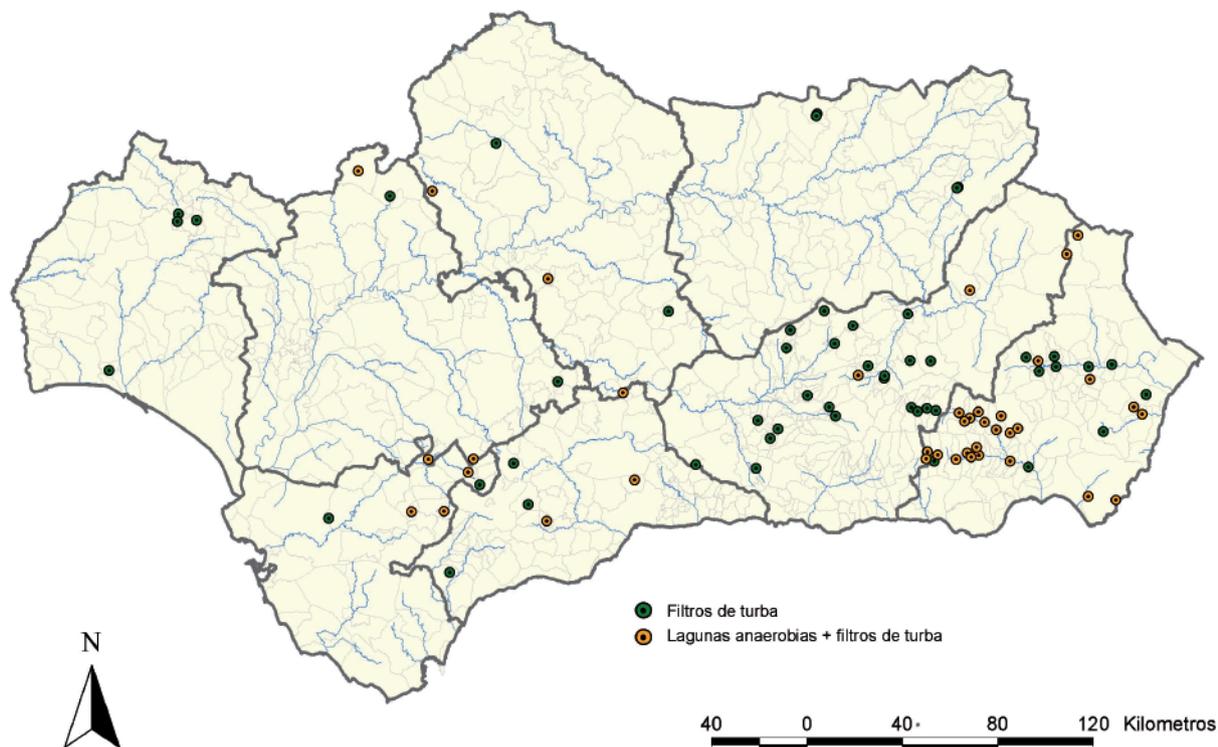


Figura 51.- Instalaciones de *Filtros de Turba* en Andalucía.

Las poblaciones tratadas mediante esta tecnología de depuración oscilan entre los 100 y los 7.000 habitantes equivalentes, ascendiendo la población total tratada a unos 200.000 habitantes equivalentes.

En la *Figura 52* puede verse la distribución de las distintas modalidades encuadradas en la tecnología de *Filtros de Turba* y el reparto provincial de las instalaciones existentes en la actualidad.

Filtros de Turba:	50
Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba:	39
Decantador-Digestor + Filtros de Turba:	1
Filtros de Turba + Lecho Bacteriano:	1
TOTAL:	91 EDAR

Distribución de las EDAR de Filtros de Turba en Andalucía

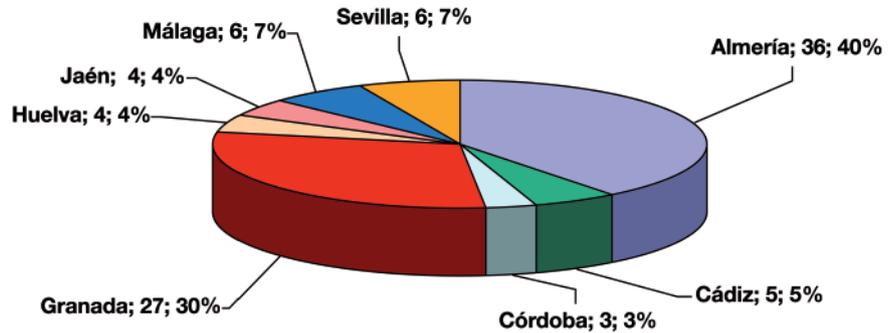
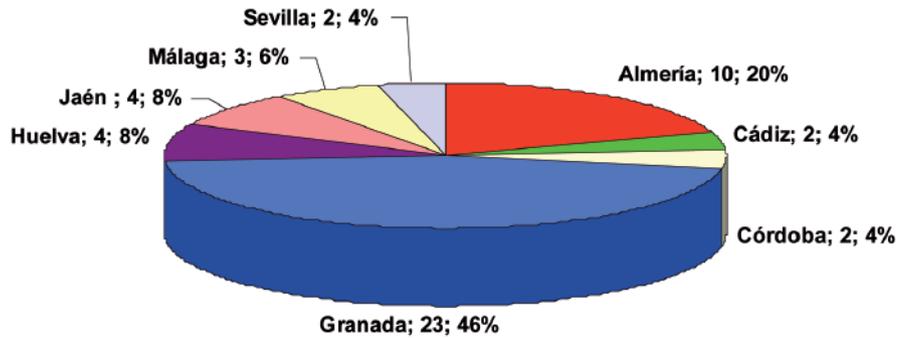


Figura 52.- Distribución de las instalaciones de *Filtros de Turba* en función de sus modalidades.

Dentro de las distintas modalidades en que puede presentarse esta tecnología de tratamiento de las aguas residuales urbanas, destacan los *Filtros de Turba* operando de forma independiente y la combinación *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba*. El reparto de instalaciones basadas en ambas modalidades implantadas en las provincias andaluzas se muestra en la *Figura 53*.

FILTROS DE TURBA



LAGUNAJE ANAEROBIO + FILTROS DE TURBA

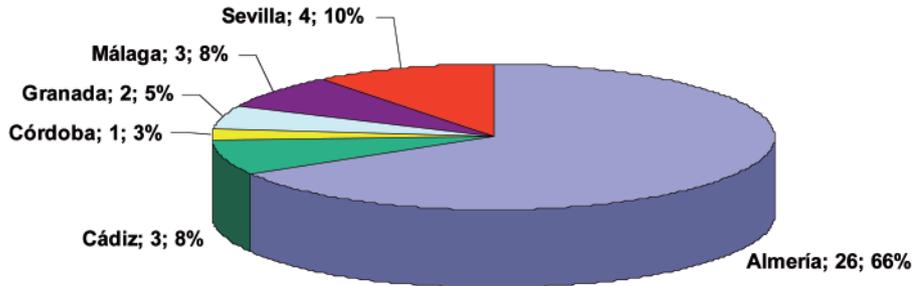


Figura 53.- Reparto provincial de las instalaciones de *Filtros de Turba* operando de forma independiente y de las combinaciones *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba*.

Se observa una fuerte predominancia de las instalaciones de *Filtros de Turba* operando de forma independiente en la provincia de Granada, mientras que en Almería son mayoría las combinaciones *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba*.

Las Figuras 54 a 57 muestran los diagramas de flujo y vistas generales de algunas de las instalaciones andaluzas que recurren al empleo de *Filtros de Turba*.

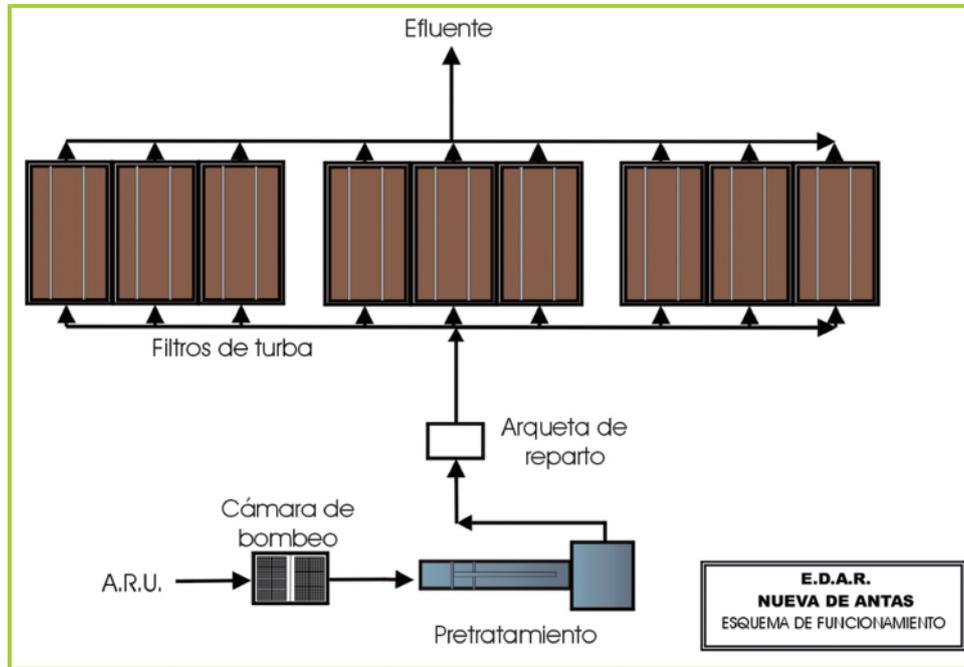


Figura 54.- Diagrama de flujo y vista de la EDAR de Antas (Almería).
Filtros de Turba.

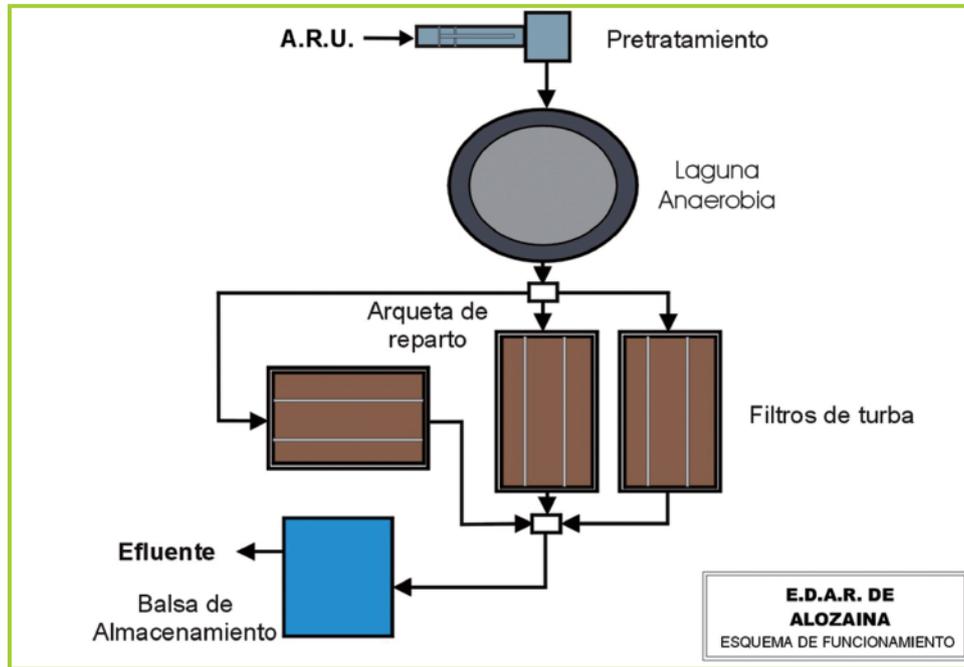


Figura 55.- Diagrama de flujo y vista de la EDAR de Alozaina (Málaga).
Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba.

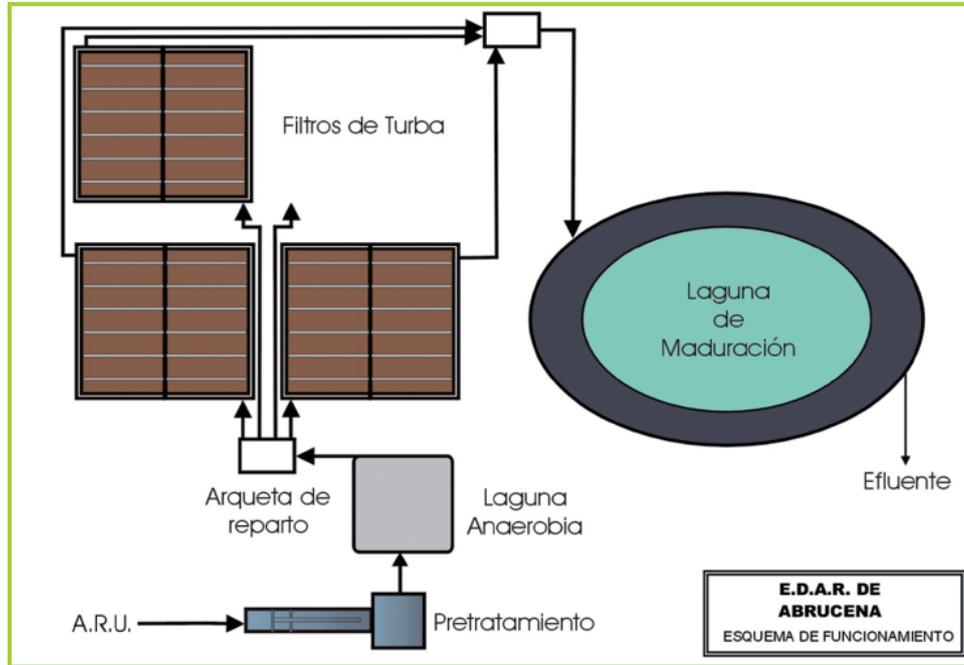


Figura 56.- Diagrama de flujo y vista de la EDAR de Abrucena (Almería). *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba + Lagunaje de Maduración.*

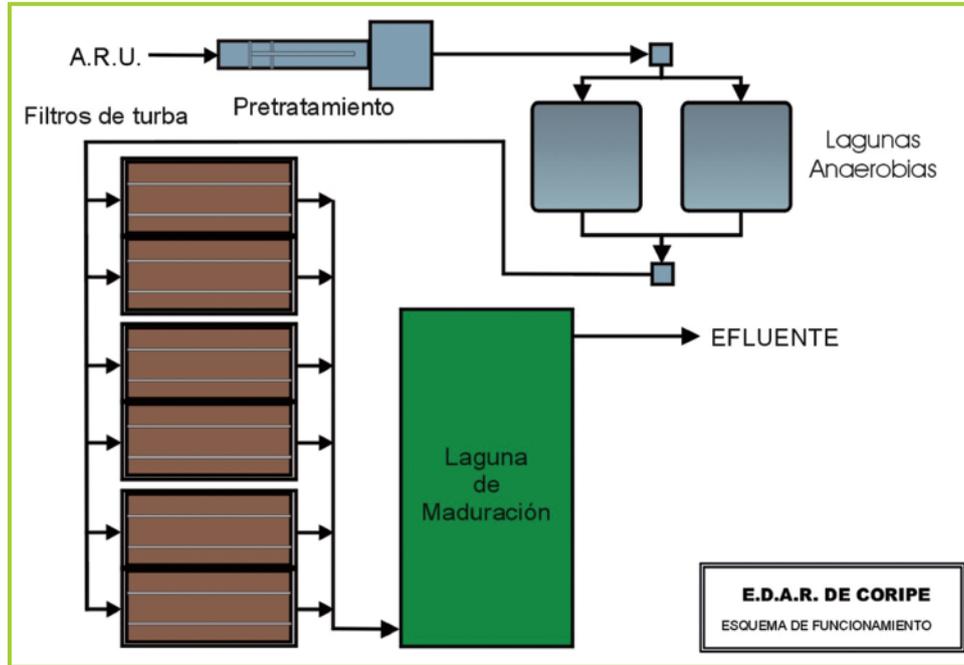


Figura 57.- Diagrama de flujo y vista de la EDAR de Coripe (Sevilla).
Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba + Lagunaje de Maduración.

Para el conjunto de los *Filtros de Turba* andaluces se ha llevado a cabo un estudio al objeto de:

- Analizar sus características constructivas.
- Comparar los valores de los parámetros de diseño con los reales de operación.
- Determinar los rendimientos medios que se alcanzan.
- Deducir los costes de implantación de este tipo de tecnología en función de la población equivalente servida.

12.1.- Características constructivas

12.1.1.- *Filtros de Turba* independientes

Pretratamiento

Desbaste

Aproximadamente, en la mitad de las instalaciones existentes se recurre a la implantación de un doble canal de desbaste, con rejillas de gruesos y de finos dispuestas en serie, siendo manual la limpieza de las rejillas en la mayoría de los casos.

La apertura de las rejillas de gruesos oscila entre 3 y 5 cm, siendo lo más habitual el empleo de rejillas de 3 cm de paso.

En el caso de las rejillas de medios-finos la separación entre barrotes se sitúa en el rango de 1 a 3 cm, siendo lo normal recurrir a aperturas de 1 cm.

Desarenado

Aproximadamente un tercio de las instalaciones recurren al empleo de desarenadores estáticos de doble canal, con una relación Longitud/ Anchura que oscila entre 6,3 y 16,7, con un valor medio de 9,8.

Desengrasado

Lo más frecuente es el empleo de desengrasadores estáticos con relaciones Longitud/Anchura que oscilan entre 1,0 y 3,9 (valor medio 2,3), y con una profundidad de 1-1,5 m.

Desarenado-Desengrasado

Casi la mitad de las instalaciones efectúan de forma conjunta la eliminación de las arenas y de las grasas, recurriendo al empleo de desarenadores-desengrasadores estáticos, en su mayoría de doble canal. Estos elementos presentan relaciones Longitud/Anchura que oscilan entre 5 y 40 (valor medio 18).

Tamizado

Algo más de la mitad de las instalaciones cuentan con tamices estáticos, que se suelen disponer tras la etapa de desarenado-desengrasado. La luz de paso de estos tamices es de 1 mm.

En la decena de casos en que se recurre al empleo de tamices rotativos, la apertura media de los mismos es de 1 mm.

En algunas ocasiones las aguas, tras su paso por la etapa de desarenado-desengrasado, alimentan directamente a los *Filtros de Turba* sin pasar por ninguna etapa de tamizado.

Medición de caudales

Una treintena de instalaciones carecen de equipos para la medida de los caudales influentes de aguas residuales. Las estaciones depuradoras que cuentan con caudalímetros recurren al empleo de canales Parshall, vertederos triangulares y medidores electromagnéticos, en proporciones similares.

Filtros de Turba

Se cuenta tanto con filtros construidos enteramente en hormigón, con filtros construidos por excavación e impermeabilización con lámina plástica (generalmente PEAD de 1-1,5 mm), como con la situación intermedia, en la que las paredes de los filtros se construyen en hormigón y el fondo se impermeabiliza con lámina plástica.

La disposición más habitual es la de tres módulos dobles, de sección rectangular, siendo las dimensiones unitarias medias de los *Filtros de Turba* de 20 m de longitud y 10 m de anchura.

Los espesores empleados de turba oscilan entre 30 y 50 cm, y las capas sobre las que ésta se asienta, en orden descendente, suelen ser: arena (10 cm), gravilla (10 cm) y grava (15-30 cm).

Para el reparto homogéneo de las aguas a tratar sobre la superficie filtrante de turba se recurre, en proporciones similares, tanto a tuberías como a canaletas. En el caso de recurrir a tuberías, éstas son metálicas (generalmente de aluminio), o plásticas (PVC y polietileno), y se encuentran perforadas para permitir la salida de las aguas influentes. Las tu-

berías son desmontables al objeto de que no interfieran en las etapas de regeneración de los *Filtros de Turba* agotados.

En el caso de la distribución mediante canaletas, éstas se disponen tanto en la parte central de los filtros como adosadas a las paredes de mayor longitud.

Para la recogida de los efluentes depurados lo más habitual es recurrir al empleo de tuberías drenaje dispuestas en las soleras de los *Filtros de Turba*. El número de drenes por unidad de filtración suele ser de 4, recurriéndose habitualmente al empleo de drenes de 110 mm de diámetro.

Una cuarta parte de los *Filtros de Turba* cuentan con sistemas de aireación del sustrato filtrante mediante chimeneas que emergen de la capa de turba. El número de chimeneas más habitual es de 4 por unidad de filtración y su diámetro suele ser de 90 mm.

12.1.2.- Combinación: *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba*

Pretratamiento

Desbaste

En aquellas estaciones de tratamiento que disponen de la etapa de desbaste, ésta suele estar constituida por una reja de gruesos de 5 cm de paso, ubicada en un canal que posteriormente se bifurca en canales que albergan rejas de limpieza automática (2-3 mm) y rejas de limpieza manual (2-3 cm), dispuestas en paralelo. Las rejas de limpieza manual quedan en reserva, entrando en operación en caso de

corte del suministro eléctrico o de avería en el mecanismo automático de limpieza.

Casi un tercio de las instalaciones existentes carecen de desbaste y recurren al empleo de tamices en cabecera. En la mayoría de estas situaciones los tamices son estáticos, con aperturas entre 1-2 mm.

Desarenado

La mayor parte de las instalaciones recurren al empleo de canales desarenadores estáticos de doble canal, con una relación Longitud/ Anchura que oscila entre 3,0 y 37,8, con un valor medio de 9,4

Desengrasado

Lo más habitual es el empleo de desengrasadores estáticos, con relaciones Longitud/Anchura que oscilan entre 1 y 3 (valor medio 1,5), y con una profundidad media de 1 m.

Tamizado

Como se comentó con anterioridad, normalmente se recurre al empleo de tamices en aquellas estaciones que carecen de etapa previa de desbaste. Los tamices estáticos de 1 mm de luz de paso son los más empleados, mientras que cuando se recurre al empleo de tamices rotativos las aperturas oscilan entre 0,5 y 2 mm.

Medición de caudales

La mayoría de las estaciones cuentan con sistemas para la medición de caudales, siendo el canal Parshall el método de medida más empleado, si bien es frecuente que no dispongan de medidores ultrasónicos de nivel, por lo que tan sólo son posibles las mediciones instantáneas de caudal, no disponiéndose de datos de caudales acumulados.

Lagunas Anaerobias

Configuración

La configuración más empleada está constituida por una única Laguna Anaerobia, seguida por la que recurre al empleo de dos Lagunas Anaerobias dispuestas en paralelo.

En un tercio de los casos no se contemplaba en el Proyecto inicial la inclusión de la etapa anaerobia, que fue implantada posteriormente en la etapa constructiva.

Profundidad

La profundidad de las Lagunas Anaerobias oscila entre 1,9 y 5,5 m, con un valor medio de 3,3, m. Los casos de menor profundidad se corresponden con aquellas situaciones en que las Lagunas Anaerobias no estaban contempladas en el Proyecto original.

Taludes interiores

Casi en la mitad de las ocasiones las Lagunas Anaerobias están ejecutadas en hormigón y presentan paredes verticales. El resto de las lagunas presentan taludes interiores que oscilan entre 2H:1V y 3H:2V.

Impermeabilización

En el caso de las Lagunas Anaerobias construidas por excavación en el terreno, lo habitual es recurrir para su impermeabilización al empleo de PEAD de 1-1,5 mm de espesor.

Filtros de Turba

Es frecuente recurrir al empleo de *Filtros de Turba* que constan de paredes verticales de hormigón y que presentan su fondo impermeabilizado con lámina de PEAD de 1 mm de espesor.

La disposición más frecuente es la de seis *Filtros de Turba* agrupados en tres módulos dobles, de sección rectangular, siendo las dimensiones unitarias medias de los filtros: 18 m de longitud y 10 m de anchura.

Los espesores empleados de turba oscilan entre 30 y 50 cm y las capas sobre las que esta se asienta, en orden descendente suelen ser: arena o gravilla (10 cm) y grava (20-30 cm).

Para el reparto homogéneo de las aguas a tratar sobre la superficie filtrante de turba se recurre generalmente al empleo de tuberías, tanto metálicas (generalmente de aluminio), como plásticas (PVC y polietileno), que presentan un diámetro de 35-75 mm y se encuentran perforadas para permitir la salida de las aguas influentes. Las tuberías son desmontables al objeto de que no interfieran en las etapas de regeneración de los *Filtros de Turba* agotados.

Para la recogida de los efluentes depurados lo normal es recurrir al empleo de tuberías de drenaje dispuestas en las soleras de los *Filtros de Turba*. Se suelen implantar drenes de 110 mm de diámetro, con separaciones entre los mismos que oscilan entre 0,7 y 2 m.

Una cuarta parte de los *Filtros de Turba* cuentan con sistemas de aireación del sustrato filtrante mediante chimeneas que emergen de la capa de turba. El número de chimeneas más habitual es de 10 por unidad de filtración y su diámetro suele ser de 110 mm.

12.2.- Comparación de las variables de diseño con los valores reales de operación

En las *Tablas XV y XVI* se comparan, para las distintas modalidades de *Filtros de Turba* (*Filtros de Turba independientes y combinación Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba*), los valores de los parámetros de diseño (obtenidos de los proyectos constructivos), con los valores reales de operación (obtenidos en visitas realizadas a las estaciones de tratamiento durante su etapa de seguimiento). Para cada parámetro se recoge su rango de variación y su valor medio.

Tabla XV.- Comparación de los parámetros de diseño con los reales de operación en las instalaciones de *Filtros de Turba*.

	Diseño		Operación	
	Rango	Media	Rango	Media
<i>Filtros de Turba</i>				
Carga hidráulica (m ³ /m ² .d)	0,3 – 2,4	1	0,2 – 1,2	0,6
Carga orgánica (g DBO ₅ /m ² .d)	80 – 884	307	39 – 312	172
Relación superficie total <i>Filtros de Turba</i> /h.e. (m ² /h.e)	0,1 – 1,1	0,5	-	-
Relación superficie operativa <i>Filtros de Turba</i> /h.e. (m ² /h.e)	0,1 – 0,8	0,2	0,1 – 1,5	0,5

Tabla XVI.- Comparación de los parámetros de diseño con los reales de operación en las instalaciones de *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba*.

	Diseño		Operación	
	Rango	Media	Rango	Media
<i>Lagunas Anaerobias</i>				
Carga volumétrica (g DBO ₅ /m ³ .d)	52 – 1.747	508		
Tiempo de retención (d)	0,1 – 5,3	1,8		
<i>Filtros de Turba</i>				
Carga hidráulica (m ³ /m ² .d)	0,4 – 6,6	1,2	0,1 – 1,5	0,6
Carga orgánica (g DBO ₅ /m ² .d)	54 – 1.350	220	9 – 186	73
Relación superficie total <i>Filtros de Turba</i> /h.e. (m ² /h.e)	0,1 – 1,4	0,5	-	-
Relación superficie operativa <i>Filtros de Turba</i> /h.e. (m ² /h.e)	0,1 – 0,7	0,2	0,2 – 6,6	1,7

En las instalaciones clásicas de *Filtros de Turba*, los valores medios de los parámetros de diseño, tanto de carga hidráulica como de carga orgánica, superan los valores recomendados para este tipo de tecnología, destacando el amplísimo rango en el que se mueven las cargas orgánicas empleadas para su diseño.

Los valores de carga hidráulica y de carga orgánica, medidos a lo largo del seguimiento de las estaciones de tratamiento, presentan valores medios inferiores a los de diseño y que se ajustan a los valores recomendados.

En el caso de las combinaciones *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba*, la etapa anaerobia se ha diseñado con cargas volumétricas muy elevadas. Esta situación se da especialmente en aquellas instalaciones en las que las Lagunas Anaerobias no estaban contempladas en el Proyecto original y fueron añadidas “a posteriori”.

En estas combinaciones los *Filtros de Turba* se han diseñado con elevados valores de carga hidráulica, pero gracias a los rendimientos de eliminación de materia orgánica alcanzados en la etapa anaerobia, las cargas orgánicas de diseño se encuentran por debajo del límite superior recomendado.

Como en el caso anterior, los valores de carga hidráulica y de carga orgánica, determinados a lo largo del seguimiento de este tipo de estaciones de tratamiento, presentan valores medios muy inferiores a los de diseño.

12.3.- Rendimientos medios de depuración de los *Filtros de Turba*

La *Figura 58* muestra, para los *Filtros de Turba* operando de forma independiente, la relación entre las cargas orgánicas aplicadas y los rendimientos de eliminación de DBO_5 alcanzados.

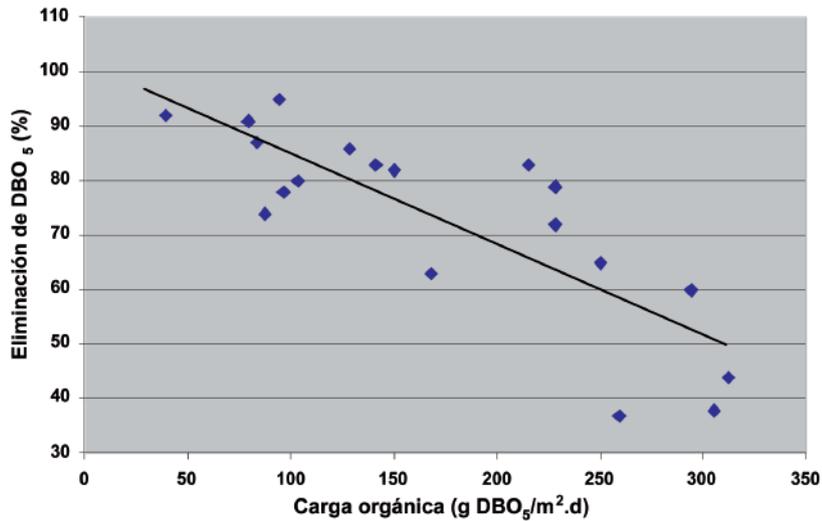


Figura 58.- Relación entre carga orgánica y eliminación de DBO₅ en los *Filtros de Turba* operando de forma independiente.

En el caso de las combinaciones *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba*, la *Figura 59* muestra la relación entre las cargas superficiales orgánicas aplicadas a los filtros y los rendimientos de eliminación de DBO₅ que se logran.

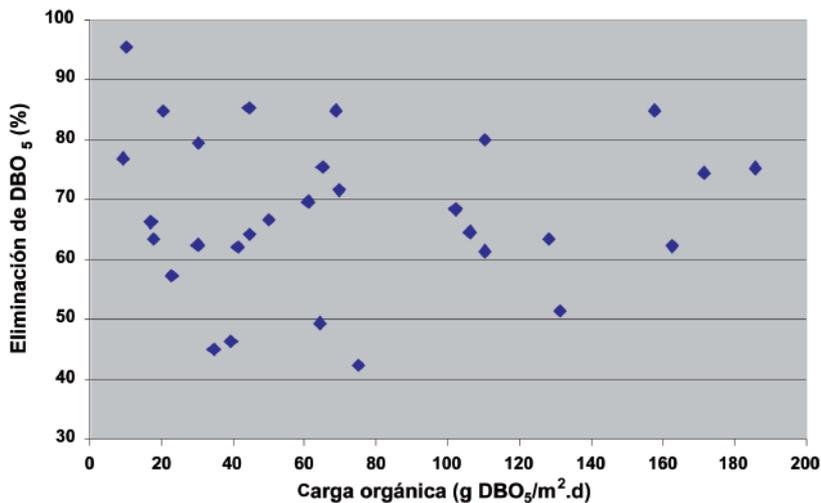


Figura 59.- Relación entre carga orgánica y eliminación de DBO₅ en las combinaciones *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba*.

En este caso, se observa que cuando los *Filtros de Turba* reciben efluentes procedentes de una etapa anaerobia previa, es mucho menor la incidencia que ejerce la carga aplicada sobre los rendimientos de eliminación de DBO₅, que cuando los filtros se alimentan directamente con aguas residuales brutas.

Los rendimientos medios de depuración que se alcanzan en las instalaciones de *Filtros de Turba* implantadas en Andalucía, se han calculado:

- En el caso de *Filtros de Turba* independientes, con relación a las aguas brutas influentes.
- En el caso de las combinaciones *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba*:
 - En las *Lagunas Anaerobias* con relación a las aguas brutas influentes.
 - En los *Filtros de Turba* con relación a las aguas brutas influentes.

La Tabla adjunta muestra los rangos y valores medios de los rendimientos que se han alcanzado en los *Filtros de Turba* sometidos a seguimiento.

Tabla XVII.- Rendimientos globales medios de los *Filtros de Turba* implantados en Andalucía.

Rendimiento (%)	Rango (%)	Rendimiento medio (%)
Sólidos en suspensión (%)	49 – 99	77
DBO ₅ (%)	37 – 96	72
DQO (%)	46 – 93	69
Nitrógeno (%)	5 – 86	39
Fosfatos (%)	0 – 100	31

Con relación a los rendimientos medios que suelen obtenerse en el empleo de *Filtros de Turba* para la depuración de aguas residuales urbanas (apartado 5), se observa que en las instalaciones andaluzas sometidas a seguimiento, tanto la eliminación de materia en suspensión como de materia orgánica se encuentran por debajo de los rangos habituales. Ello es achacable a ciertas estaciones de tratamiento que funcionan muy deficientemente, tanto por estar infradimensionadas como por no estar convenientemente mantenidas y explotadas, por lo que los rendimientos que en ellas se alcanzan bajan notablemente los valores de los rendimientos medios.

En el caso de la eliminación de nutrientes (N y P), los rendimientos medios que se alcanzan sí están en sintonía con los que normalmente se logran con la aplicación de este tipo de tecnología. La amplitud de los rangos de rendimientos queda justificada por la evolución de los mismos a lo largo de los ciclos operativos de los *Filtros de Turba*.

En el caso de aquellas instalaciones que recurren al empleo de la combinación de tecnologías *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba*, la *Tabla XVIII* recoge los rangos y valores medios de los rendimientos que se alcanzan.

Tabla XVIII.- Rendimientos medios de depuración de las combinaciones *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba* implantadas en Andalucía.

Rendimiento (%)	Rango (%)	Rendimiento medio (%)
Sólidos en suspensión (%)	37 – 97	79
DBO5 (%)	19 – 98	78
DQO (%)	12 – 92	72
Nitrógeno (%)	5 – 93	45
Fosfatos (%)	0 -100	38

En este caso, los rendimientos alcanzados se encuentran más próximos a los que son habituales en esta combinación de tecnologías (apartado 5), pese a que los rendimientos alcanzados en la etapa anaerobia (*Tabla XIX*), son inferiores a los que suelen lograrse en lagunas anaerobias correctamente dimensionadas y operadas. En aquellas instalaciones en las que la etapa anaerobia se añadió a posteriori, se han detectado los funcionamientos más deficientes.

Tabla XIX.- Rendimientos medios de la etapa anaerobia en las combinaciones: *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba* implantados en Andalucía.

Rendimiento (%)	Rendimiento medio (%)
Sólidos en Suspensión (%)	37
DBO ₅ (%)	41
DQO (%)	38
Nitrógeno (%)	8
Fosfatos (%)	-5

12.4.- Costes de implantación de los *Filtros de Turba* en función del tamaño de población servida

Las *Figuras 60 y 61* muestran la relación existente entre los costes de implantación de los *Filtros de Turba*, expresados en euros/habitante equivalente, y la población equivalente servida, tanto para la disposición de *Filtros de Turba* de forma aislada como para las combinaciones *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba*, existentes en Andalucía.

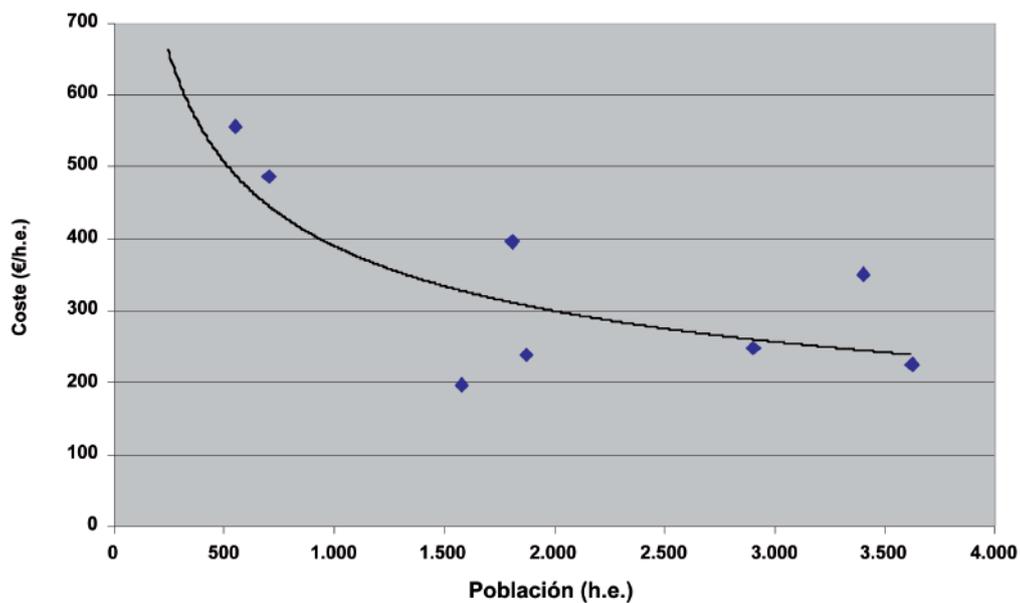


Figura 60.- Costes de implantación de los *Filtros de Turba* en Andalucía en función de la población equivalente servida.

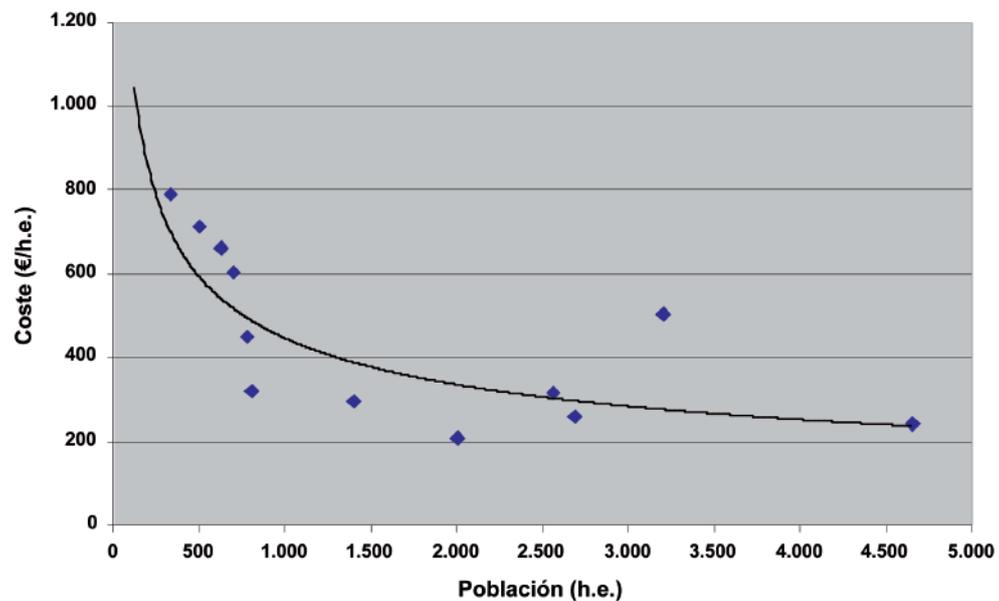


Figura 61.- Costes de implantación de la combinación *Lagunaje Anaerobio + Filtros de Turba* en Andalucía en función de la población equivalente servida.

Para la elaboración de estas gráficas todos los costes se han actualizado con base al año 2006.

BIBLIOGRAFÍA

Ansorena, J. (1994). Sustratos. Propiedades y caracterización. *Ediciones Mundi-Prensa*

Buelna, G. y Bélanger, G. (1990). Biofiltration a base de tourbe pour le traitement des eaux usées de petites municipalités. *Sci. Technol. Eau*, 23, pp. 259-264.

Buelna, G. y Bélanger, G. (1989). Peat based biofilters for municipal wastewater treatment: choice of peat. *Paper presents a Symposium Peat and Peatlands: Diversification and Innovation. Québec, Canada. 6-10 August.*

Buelna, G. y Bélanger, G. (1989). Performance dépuratoire d'un biofiltre á base de tourbe utilisé pour le traitement des eaux usées des petites municipalités. *In Proceedings 12th Symposium on Wastewater Treatment and 1st Workshop on Drinking Water. Montreal, Canada. 20-22 November.*

Cardenete, J. M. (1996). Aplicabilidad de las turbas de El Padul (Granada) a la depuración de aguas residuales. *Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Departamento: Ingeniería Civil.*

CENTA (2004). II Curso Experto Universitario en "Diseño y Cálculo de Infraestructuras Hidráulicas Municipales. Módulo IV "Depuración de Aguas Residuales. Tratamientos Biológicos III. Tecnologías no Convencionales.". *Universidad Internacional de Andalucía. Sede de Santa María de la Rábida. (Huelva). pp. 60-64.*

CENTA (2004). Investigación sobre sistemas de tratamiento con turbas: estudio de la viabilidad de utilización de Filtros de Turba como sustitutivos del proceso de Decantación Secundaria. *Convenio específico para el desarrollo de Actividades de Investigación y Desarrollo Tecnológico, Formación y Difusión en Materia Hidráulica. COPT Junta de Andalucía-CENTA. (2002-2006).*

CENTA-Secretaría General de Aguas (2004). Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Informe 1999-2002. *Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía.*

Dirección General de Obras Hidráulicas (1989). Plan de Investigación y Desarrollo de Tecnologías de Bajo Coste para la Depuración de Aguas Residuales. *Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.*

Dirección General de Obras Hidráulicas (1991). Tecnologías de Bajo Coste para la Depuración de Aguas Residuales. Seguimiento del Plan de Investigación y Desarrollo. *Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.*

Dirección General de Obras Hidráulicas (1993). Seguimiento del Plan I+D Tecnologías de Bajo Coste para la Depuración de Aguas Residuales. Memoria del Segundo Año de Experimentación. Junio 91-Junio 92. *Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.*

Dirección General de Obras Hidráulicas (1994). Seguimiento del Plan I+D Tecnologías de Bajo Coste para la Depuración de Aguas Residuales. Memoria del Tercer Año de Experimentación. Junio 92-Junio 93. *Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.*

Dirección General de Obras Hidráulicas (1995). Seguimiento del Plan I+D Tecnologías de Bajo Coste para la Depuración de Aguas Residuales. Julio 1993-Diciembre 1994. *Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.*

Dirección General de Obras Hidráulicas (1997). Planta Experimental de Depuración de Aguas Residuales. Evolución y Experiencias. *Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.*

Dirección General de Obras Hidráulicas (2000). Planta Experimental de Carrión de los Céspedes. Nuevas Experiencias. *Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía.*

Couillard, D. (1994). The Use of Peat in Wastewater Treatment. *Water Research, 28, 6. pp. 1.261-1.274.*

Crites, R. y Tchobanoglous, G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. McGraw-Hill Interamericana, S.A. Santafé de Bogotá, Colombia.*

Martin, A. M. (1991). Peat as an agent in biological degradation: peat filters in biological degradation of wastes. *Edited by Martin A. M. pp.341-362. Elsevier, London.*

Monson. S. y McCarthy. B. (1999). Wasterwater Treatment by Peat Filters. *Focus 10.000. University of Minnesota.*

Patterson, R. A. (1999). Peat treatment of septic tank effluent. *Proceedings of On-site '99 Conference: Making on-site wastewater systems work. Universidad de New England, Armidale (Australia). pp. 273-281*

Pérez. J. I. (2000). Evaluación de los parámetros de diseño y tipo de turba para la depuración de aguas residuales urbanas. *Tesis Doctoral. Universidad de Granada. ETS de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Departamento de Ingeniería Civil.*

Viraraghavan, T. y Rana S. M. (1991). Use of adsorption models for the design of peat-based onsite systems. *In Proceedings of the Sixth National Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems: On site Wastewater Treatment. Edited by Converse J.C. 165-172. American Society of Agricultural Engineers. St, Joseph. Michigan.*

Viraraghavan, T. (1989). Batch studies on septic tank effluent treatment using peat. *Can. J. Eng, 16, pp. 157-161.*

