



Comisión Europea

**GUÍA**

# PROCESOS EXTENSIVOS DE DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES



**ADAPTADAS  
A LAS PEQUEÑAS  
Y MEDIAS  
COLECTIVIDADES  
(500-5.000 H.E)**

Aplicación de la directiva  
del Consejo nº 91/271  
del 21 de mayo de 1991  
sobre el tratamiento de  
las aguas urbanas residuales



El desarrollo duradero es actualmente uno de los ejes principales de la política medioambiental de Europa. Ello implica para el hombre un control de sus vertidos domésticos y urbanos, mediante técnicas tan naturales y poco consumidoras de energía como sea posible. La Directiva "aguas urbanas residuales" del 21 de Mayo de 1991, y recientemente la Directiva Marco sobre el agua, han recordado la necesidad de un tratamiento apropiado de estos vertidos con el objetivo de mantener un buen estado ecológico de nuestras aguas.

Francia ha adoptado desde los años 70 una política ambiciosa de saneamiento urbano y rural sostenida financieramente por las Agencias del agua. Actualmente cuenta con 15 500 estaciones de depuración de las cuales más de 6 000 tienen un tamaño inferior a 2 000 equivalentes habitantes. Dichas estaciones equipadas con procesos extensivos de tratamiento, proporcionan buenas condiciones técnicas y financieras poco problemáticas y una buena integración ecológica. Gracias a la diversidad de sus zonas, dispone de multitud de experiencias en casi todas las situaciones existentes en Europa en cuanto a clima, geografía, y también en términos de características del suelo.

Por su parte, la Dirección General del Medio ambiente de la Comisión Europea deseaba sacar provecho de de estas herramientas de asesoramiento y de intercambio destinadas a las pequeñas colectividades, y de otras experiencias similares desarrolladas a través de la Unión, de las cuales algunas han sido fomentadas en el marco de proyectos Life-Environnement.

En este contexto, durante la presidencia francesa se ha desarrollado la valorización de estas experiencias a través de una colaboración entre la DG Medioambiental de la Comisión Europea, y del lado francés, la Dirección del agua del Ministerio de la Ecología y Desarrollo Sostenible y las Agencias del Agua. La presente guía es el fruto de ese trabajo conjunto iniciado desde entonces.

Expresamos el deseo de que esta aporte una ayuda útil a alcaldes y responsables municipales de servicios técnicos de las pequeñas y medianas aglomeraciones europeas con el fin de que estas últimas elijan las mejores bases técnicas y financieras posibles, en vista a una integración ecológica y a un desarrollo sostenible. De esta forma, esta guía pretende ser una ilustración, entre otras, del espíritu del 6º Programa Marco de Acción Europea para el medio ambiente 2001-2010 : "Nuestro Futuro, Nuestra Elección".



**P. PERERA**  
*Director de*  
Calidad del Medio Ambiente  
y de los Recursos Naturales  
Comisión Europea



**B. BAUDOT**  
*Director del Agua*  
Ministerio de la Ecología  
y Desarrollo Sostenible  
FRANCIA

Numerosas informaciones sobre la Unión Europea están disponibles en Internet vía el servidor Europa (<http://europa.eu.int>).

Una ficha bibliográfica figura al final de la obra.

Luxemburgo : Oficina de las publicaciones oficiales de las comunidades europeas, 2001

ISBN 92-894-1690-4

© Oficina Internacional del Agua, 2001

Cualquier forma de reproducción, total o parcial está prohibida sin la autorización del editor.  
Cualquier traducción, total o parcial está prohibido sin la autorización del editor.

*Editado in Francia* - IMPRESO SOBRE PAPEL BLANQUEADO SIN CLORO

	<i>Page</i>
▶ ¿ POR QUÉ ESTA GUÍA ?	2
▶ EL MARCO REGLAMENTARIO Y EL IMPULSO DE LA UNIÓN EUROPEA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS DE RECOGIDA Y DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS	3
→ <i>Calendario</i>	3
→ <i>Objetivos a alcanzar para cumplir los requisitos de la directiva</i>	3
▶ LAS TÉCNICAS UTILIZABLES PARA ALCANZAR LOS REQUISITOS DE LA DIRECTIVA	4
→ <i>Las técnicas intensivas clásicas</i>	4
▲ Lechos bacterianos	
▲ Discos biológicos	
▲ Lodos activados	
▲ Ventajas e inconvenientes de las diferentes técnicas intensivas	
→ <i>Las técnicas extensivas</i>	8
▶ PROCESOS EXTENSIVOS : FICHAS TÉCNICAS	9
→ <i>Cultivos fijos sobre soporte fino</i>	9
▲ Funcionamiento : mecanismos utilizados	
▲ Infiltración por percolación sobre arena	
▲ Filtros plantados de flujo vertical	
▲ Filtros plantados de cañas de flujo horizontal	
→ <i>Cultivos libres</i>	16
▲ Funcionamiento : mecanismos utilizados	
▲ Lagunaje natural	
▲ Lagunaje de macrofitas	
▲ Lagunaje aireado	
▶ CONCLUSIONES : ELEMENTOS PARA ELEGIR UNA TÉCNICA	23
→ <i>Resumen de las diferentes técnicas extensivas</i>	23
→ <i>Calidad de los vertidos</i>	23
→ <i>Ventajas e inconvenientes : recapitulación</i>	24
→ <i>Importancia del factor climático</i>	25
→ <i>Diagrama de decisión</i>	25
→ <i>Costes</i>	26
→ <i>Ventaja de los procesos extensivos : la integración en el paisaje</i>	26
▶ ANEXOS : ESTUDIOS DE CASOS	27
→ <i>Infiltración percolación : un caso particular, la instalación de Mázagón (España)</i>	27
→ <i>Infiltración percolación : una instalación clásica : el caso de Souillac Paille- Basse (Francia – Departamento del Lot)</i>	29
→ <i>Filtros plantados de flujo vertical : el caso de NEA Madytos – Modi (Grecia)</i>	30
→ <i>Sistema híbrido : (filtros plantados de flujo vertical y filtros plantados de flujo horizontal) el caso de Oaklands Park, Newnham-on-Severn, Gloucestershire (Reino Unido)</i>	32
→ <i>Lagunaje natural : el caso de la instalación de Vauciennes (Francia – Oise)</i>	34
→ <i>Lagunaje aireado : el caso de la instalación de Adinkerke (Bélgica)</i>	36
▶ GLOSARIO	38
▶ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

Jean-Marc BERLAND (OIEau), Catherine BOUTIN (CEMAGREF), Pascal MOLLE (CEMAGREF) y Paul COOPER (Consultor independiente) han redactado esta guía.

Jean-Antoine FABY (OIEau), Pascal MAGOAROU (Comisión Europea) y Jean DUCHEMIN (Comisión Europea) han realizado el seguimiento científico y técnico de este trabajo y aportado contribuciones puntuales.

Marta MOREN ABAT (Comisión Europea – DG Medio Ambiente) ha validado la versión española de esta guía.

## ¿ POR QUÉ ESTA GUÍA ?

Uno de los papeles de la Comisión es el de ayudar a los responsables técnicos de las aglomeraciones de un tamaño incluido entre 500 EH y 5.000 EH (eq = equivalentes habitante ver glosario) a implantar la directiva del Consejo 91/271 del 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas urbanas residuales (ver glosario) antes de finales del 2005. **En efecto, las aglomeraciones de menos de 2000 EH que disponen de una red de recogida también deben instalar un tratamiento apropiado [Artículo 7 de la directiva "Aguas Residuales Urbanas", (ver glosario)].** Una acción de sensibilización y de información es necesaria ya que los municipios y autoridades locales concernidas, responsables de la realización de los equipamientos, están menos estructuradas, organizados y equipados que las grandes aglomeraciones.

La Dirección General del Medio ambiente de la Comisión ayuda a la puesta a punto y a la producción de dispositivos extensivos adaptados para estas aglomeraciones, mediante el instrumento financiero LIFE-Medio ambiente. Esta herramienta tiene por objetivo facilitar la aplicación de la directiva gracias al desarrollo de acciones de demostración y de tecnologías innovadoras adaptadas a problemas medioambientales por resolver. Por otra parte, la Dirección General Medio ambiente sostiene la difusión de estas técnicas, mediante el desarrollo de consejos y de intercambios técnicos. Este documento y el desarrollo de ayudas tales como los fondos estructurales y fondos de cohesión son algunas muestras de este fomento.

Esta guía sólo describirá las técnicas intensivas y se focalizará, ante todo, sobre las técnicas extensivas de tratamiento. Estas últimas ocupan, por definición, más superficie que los procesos intensivos clásicos desarrollados para las grandes aglomeraciones. Sin embargo, los costes de inversión de los procesos extensivos son generalmente inferiores y las condiciones de explotaciones de estos procesos extensivos son menos difíciles, más flexibles y más económicas en cuanto a energía. Por último, estas técnicas necesitan menos personal y menos especialización que en el caso de las técnicas intensivas.

**Son aplicables a las diferentes aglomeraciones que no superan algunos miles equivalentes habitantes. Hay que recordar al leer este documento que las técnicas que vamos a abordar pueden aplicarse excepcionalmente a capacidades superiores a 5.000 EH.**

Después de repasar los objetivos que deben alcanzar las pequeñas y medias aglomeraciones (ver glosario) y una presentación rápida de las diferentes técnicas llamadas intensivas, describiremos más detalladamente las diferentes técnicas extensivas.

¿ POR QUÉ ESTA GUÍA ?

# EL MARCO REGLAMENTARIO Y EL IMPULSO DE LA UNIÓN EUROPEA PARA LA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURAS DE RECOGIDA Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS URBANAS RESIDUALES

## Calendario ←

La directiva del Consejo del 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas (ver glosario) constituye una de las piezas básicas de la política medioambiental de la Unión Europea.

Una de las principales disposiciones de este texto es la obligación, para las aglomeraciones (ver glosario), de instalar un sistema (ver glosario) de recogida de las aguas residuales obligatoriamente asociado a un sistema de tratamiento de las aguas residuales.

El cumplimiento de estas obligaciones es progresivo. Se trata de equipar :

- antes del 31 de diciembre de 1998, las aglomeraciones de más de 10.000 EH que vierten sus efluentes en una zona sensible ;
- antes del 31 de diciembre del 2000, las aglomeraciones de más de 15.000 EH que vierten sus efluentes en zonas no sensibles ;
- antes del 31 de diciembre del 2005, las aglomeraciones de 2.000 EH a 10.000 EH o de 2.000 EH a 15.000 EH no concernidas por las etapas de 1998 y de 2000.

En cuanto a la etapa del 2005, la directiva obliga a las aglomeraciones de 2.000 EH a 10.000 EH que vierten en una zona sensible, y hasta 15.000 EH para las que vierten sus efluentes en zona no sensible, a instalar un sistema de recogida y de tratamiento secundario (ver glosario) (para los vertidos en agua dulce o en los estuarios) o un sistema de recogida y de tratamiento apropiado (para los vertidos en aguas costeras).

Sin embargo, la directiva permite, cuando la instalación de un sistema de recogida no se justifique, porque no presenta interés para el medio ambiente, o bien porque su coste es excesivo, instalar sistemas de saneamiento individuales u otros sistemas apropiados que aseguren un nivel idéntico de protección del medio ambiente.

Por otra parte, la obligación de instalar un tratamiento no se limita a las aglomeraciones de más de 2.000 EH. La directiva precisa que los vertidos de las aglomeraciones más pequeñas deben someterse a un tratamiento apropiado en caso de que exista una red de recogida. Por último, recordemos que este texto impone a las aglomeraciones de menos de 2.000 EH que disponen de un sistema de recogida, implantar un tratamiento apropiado de sus efluentes antes del 31 de diciembre del 2005.

## Los objetivos que se deben alcanzar para responder a los requisitos de la directiva ←

Los requisitos especificados en la directiva "Aguas Residuales Urbanas" para las aglomeraciones incluidas entre 2.000 y 10.000 EH están resumidos en los dos cuadros siguientes.

**Cuadro nº 1 : Requisitos relativos a los vertidos procedentes de las estaciones de depuración de aguas residuales urbanas y sometidas a las disposiciones de la directiva del 21 de mayo de 1991<sup>(1)</sup>.**

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción <sup>(2)</sup>
Demanda bioquímica de oxígeno [DBO5 a 20°C (ver glosario)] sin nitrificación (3)	25 mg/l O <sub>2</sub>	70-90 %
Demanda química de oxígeno [DQO (ver glosario)]	125 mg/l O <sub>2</sub>	75 %
Total de las materias sólidas en suspensión [MES (ver glosario)]	35 mg/l <sup>(3)</sup> 35 mg/l en zona de alta montaña para las aglomeraciones de más de 10.000 EH. 60 mg/l en zona de alta montaña para las aglomeraciones cuyo tamaño se sitúa entre 2.000 y 10.000 EH.	90 % <sup>(3)</sup> 90 % en zona de alta montaña para las aglomeraciones de más de 10.000 EH. 70 % en zona de alta montaña para las aglomeraciones cuyo tamaño se sitúa entre 2.000 y 10.000 EH.

(1) El valor de concentración o el porcentaje de reducción pueden elegirse indiferentemente.

(2) Reducción con respecto a los valores de entrada

(3) Este requisito es opcional

El lagunaje es una excepción. En efecto, los análisis de los vertidos procedentes de este tipo de instalación deben efectuarse sobre muestras filtradas. Sin embargo, la concentración del total de las materias sólidas en suspensión en las muestras de agua no filtrada no debe superar 150 mg/l.

**Cuadro nº2 : Prescripciones relativas a los vertidos procedentes de las estaciones de depuración de las aguas residuales urbanas y efectuadas en zonas sensibles sujetas a eutrofización (ver glosario)<sup>(1)</sup>**

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción <sup>(2)</sup>
Fósforo total	2 mg/l (EH incluido entre 10.000 y 100.000) <sup>(4)</sup>	80 %
Nitrógeno total <sup>(3)</sup>	15 mg/l (EH incluido entre 10.000 y 100.000) <sup>(4)</sup>	70-80 %

(1) En función de las condiciones locales, se puede aplicar uno o dos parámetros. Además, es posible aplicar el valor de concentración o el porcentaje de reducción.

(2) Reducción con respecto a los valores de entrada.

(3) Total de nitrógeno dosificado según el método de Kjeldahl (ver glosario), de nitrógeno contenido en nitratos y el contenido en nitratos.

(4) Estos valores de la concentración son medias anuales. Sin embargo, para el nitrógeno, se pueden utilizar medias diarias si se demuestra que se obtiene el mismo nivel de protección. En este caso, la media diaria no puede superar 20 mg/l de nitrógeno total para todas las muestras, si la temperatura del efluente en el reactor biológico es superior o igual a 12°C. La condición relativa a la temperatura puede ser sustituida por una limitación del tiempo de funcionamiento, teniendo en cuenta las condiciones climáticas regionales.

## TÉCNICAS UTILIZABLES PARA CUMPLIR LOS REQUISITOS DE LA DIRECTIVA

### → Técnicas intensivas clásicas

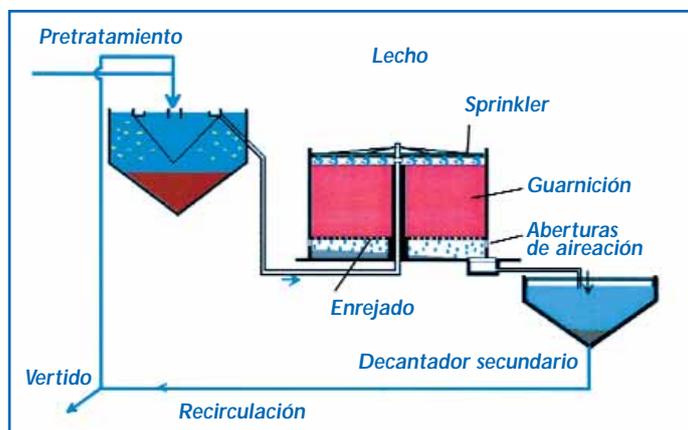
Las técnicas más desarrolladas en las plantas de depuración urbanas son las basadas en procesos biológicos intensivos. El principio de estos procesos es localizar sobre superficies reducidas e intensificar los fenómenos de transformación y destrucción de las materias orgánicas que se pueden observar en la naturaleza.

Se utilizan tres grandes tipos de procesos :

- los lechos bacterianos y discos biológicos ;
- los lodos activados ;
- las técnicas de biofiltración o filtración biológica acelerada.

#### ▲ Lecho bacteriano

El principio de funcionamiento de un lecho bacteriano consiste en hacer correr aguas residuales, previamente decantadas sobre una masa de material poroso o cavernoso que sirve de soporte a los microorganismos (bacterias) depuradores (ver esquema a continuación).



Se realiza una aireación bien por tiro natural o ventilación forzada. Se trata de aportar el oxígeno necesario para la conservación de las bacterias aerobias en buen estado de funcionamiento. Las materias contaminantes contenidas en el agua y el oxígeno del aire difunden, a contra corriente, a través del filme biológico hasta los microorganismos asimiladores. La película biológica incluye bacterias aerobias en la superficie y bacterias anaerobias cerca del fondo. Los subproductos y el gas carbónico producidos por la depuración se evacúan en los fluidos líquidos y gaseosos (Satin M., Belmi S – 1999).

Figura nº 1 : Esquema sinóptico de una estación de depuración que incluye un lecho bacteriano (según página Internet - <http://www.oieau.fr/> título guía de servicios)

**Cuadro nº3 : El dimensionado de los lechos bacterianos se efectúa de la manera siguiente (Documento técnico FNDAE nº22) :**

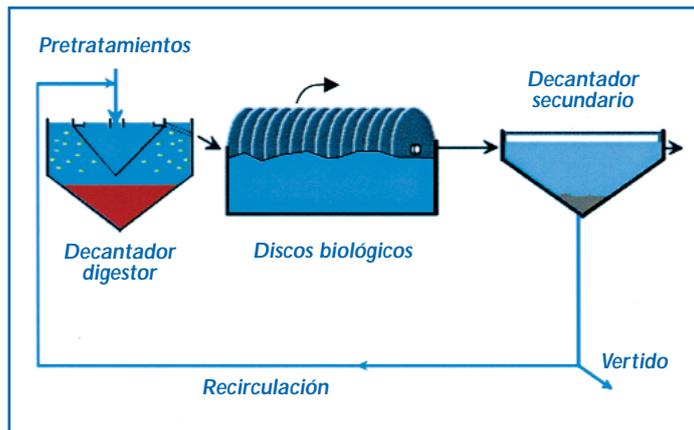
Objetivo de vertido	Tipo de guarnición	Carga orgánica máxima (kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> .d)	Altura de material mínimo (m)	Carga hidráulica mínima (m/h)	Tasa de recirculación mínima
≤ 35 mg DBO <sub>5</sub> /l	Tradicional	0,7	2,5	1	2
	Plástico	0,7	4	2,2	2
≤ 25 mg DBO <sub>5</sub> /l	Tradicional	0,4	2,5	0,7	2,5
	Plástico	0,4	5	1,8	2,5

**▲ Discos biológicos**

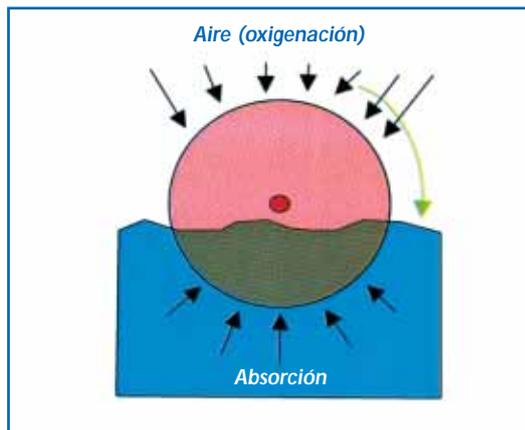
Otra técnica que necesita cultivos fijos se compone de discos biológicos giratorios (ver esquemas a continuación) Los microorganismos se desarrollan y forman una película biológica depuradora en la superficie de los discos. Como los discos están semisumergidos, su rotación permite la oxigenación de la biomasa fijada.

En este tipo de instalación, es conveniente asegurarse :

- de la fiabilidad mecánica de la armadura (accionamiento de arranque progresivo, buena fijación del soporte sobre el eje) ;
- del dimensionado de la superficie de los discos (este debe ser realizado con márgenes de seguridad importantes).



**Figura nº 2 :Cuadro sinóptico de una estación de depuración que incluye un disco biológico (según la página Internet - <http://www.oieau.fr/> título guía de servicios)**



**Figura nº 3 : Esquema del principio de funcionamiento de un disco biológico**

**Cuadro nº4 : El dimensionado de los discos biológicos se efectúa de la forma siguiente (Documento técnico FNDAE nº22) :**

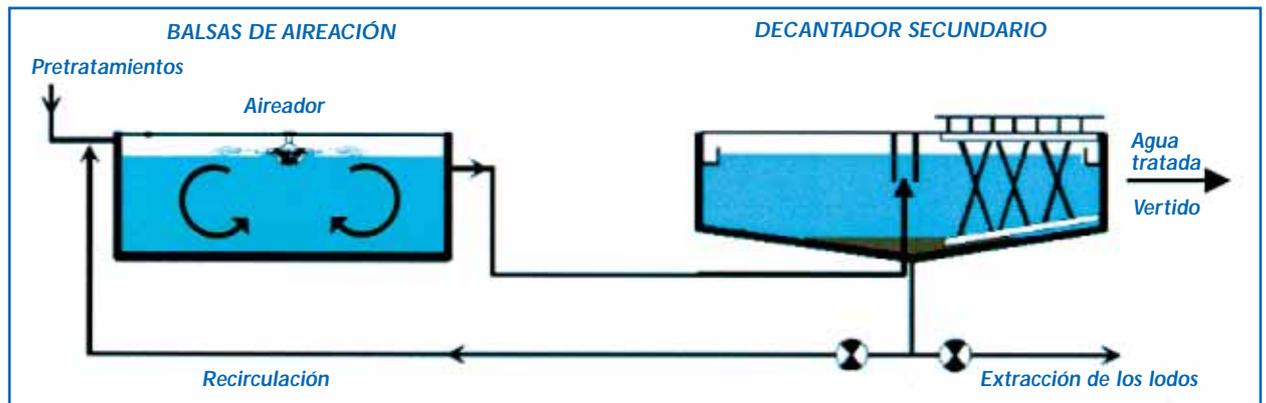
Objetivo del vertido	Carga orgánica que se debe aplicar (después decantación primaria)
≤ 35 mg DBO <sub>5</sub> /l	9 g DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> .j
≤ 25 mg DBO <sub>5</sub> /l	7 g DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> .j

Así, una técnica tipo para 1.000 EH y aplicando una carga orgánica de 9 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>.d, la superficie desarrollada útil es de 3900 m<sup>2</sup>.

Otros procesos de cultivos fijos como los biofiltros, son más bien adaptados para las colectividades más grandes que disponen de importantes medios técnicos y humanos y que sufren una especulación urbanística muy elevada, por lo que no se describen en esta guía.

## ▲ *Lodos activados*

El principio de los lodos activados reside en una intensificación de los procesos de autodepuración que existen en la naturaleza (ver esquema a continuación).



**Figura nº 4 : esquema de un lodo activado (según la página de Internet - <http://www.oieau.fr/> título guía de servicios)**

El proceso de "lodos activados" consiste en mezclar y en agitar aguas residuales brutas con lodos activados líquidos, bacteriológicamente muy activos. La degradación aerobia de la contaminación se efectúa mediante la mezcla de los microorganismos depuradores y del efluente que se debe tratar. Luego, se separan las fases "aguas depuradas" y "lodos depuradores" (Agencias del Agua – 1999).

Una instalación de este tipo incluye las etapas siguientes :

- Tratamientos preliminares y, eventualmente, primarios ;
- Balsa de activación (o balsa de aireación) ;
- Decantador secundario con recuperación de una parte de los lodos ;
- Evacuación de las aguas tratadas ;
- Digestores de los lodos en excesos procedentes de los decantadores.

El dimensionado de la balsa de aireación se efectúa de la manera siguiente (Documento técnico FNDAE nº22) :

- Carga másica : < 0,1 kg DBO<sub>5</sub> /kg MVS.d ;
- Carga volúmica : < 0,35 kg DBO<sub>5</sub> /m<sup>3</sup>.d ;
- Concentración de lodos : 4 a 5 g MS/l ;
- Tiempo de estancia : 24 horas aproximadamente ;
- Necesidades en O<sub>2</sub> : del orden de 1,8 kg O<sub>2</sub>/kg DBO<sub>5</sub> eliminada ;
- Potencia de agitación :
  - 30 a 40 W/m<sup>3</sup> para los aireadores de superficie de tipo turbinas ;
  - 3 a 10 W/m<sup>3</sup> para los agitadores ;
  - 10-20 W/m<sup>3</sup> para los sistemas de aireación de finas burbujas de aire.

Un lodo activado de aireación prolongada permite eliminar 95 % de la DBO<sub>5</sub>.

## ▲ Ventajas e inconvenientes de las diferentes técnicas intensivas

**Cuadro 5 :Ventajas e inconvenientes de las técnicas intensivas**  
(según la página de Internet el - <http://www.oieau.fr/> título guía de servicios)

	Ventajas	Inconvenientes
Lecho bacteriano y disco biológico	<ul style="list-style-type: none"> <li>● bajo consumo de energía ;</li> <li>● funcionamiento sencillo que necesita menos mantenimiento y control que la técnica de los lodos activados ;</li> <li>● buena decantabilidad de los lodos ;</li> <li>● menos sensible a las variaciones de carga y a los tóxicos que en la técnica de los lodos activados ;</li> <li>● generalmente adaptados para las pequeñas colectividades ;</li> <li>● resistencia al frío (los discos están siempre protegidos por cubiertas o por un pequeño edificio).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● rendimiento inferior que en la técnica por lodos activados, debido en gran parte a las normas antiguas de diseño. Un dimensionado más realista debe permitir alcanzar una calidad de agua tratada satisfactoria;</li> <li>● costes de inversión bastante elevados (pueden ser aproximadamente 20% superior a la técnica de un lodo activado) ;</li> <li>● necesidad de pretratamientos eficaces ;</li> <li>● sensible al atasco ;</li> <li>● obras de tamaño importante si se imponen los objetivos de eliminación del nitrógeno.</li> </ul>
Lodo activado	<ul style="list-style-type: none"> <li>● adaptado para cualquier tamaño de colectividad (excepto las muy pequeñas) ;</li> <li>● buena eliminación del conjunto de los parámetros de contaminación (MES, DQO, DBO5, N mediante nitrificación y desnitrificación) ;</li> <li>● adaptado para la protección de medios receptores sensibles ;</li> <li>● lodos (ver glosario) ligeramente estabilizados ;</li> <li>● facilidad de implantación de una desfosforación simultánea</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● costes de inversión bastante importantes ;</li> <li>● consumo energético importante ;</li> <li>● necesidad de personal cualificado y de vigilancia regular ;</li> <li>● sensibilidad a las sobrecargas hidráulicas ;</li> <li>● decantabilidad de los lodos que no siempre es fácil de dominar ;</li> <li>● fuerte producción de lodos que hay que concentrar.</li> </ul>

*Nota : El bajo rendimiento microbiológico de los sistemas intensivos (reducción de un coeficiente incluido entre 10 y 100, contra 1000 a 10 000 para los filtros y lagunas extensivas), puede ser un problema en caso de uso sanitario de las aguas próximas río abajo (agua potable, irrigación, baño, cría de moluscos...). En estos casos, es a veces necesario preferir una técnica extensiva o usar esta técnica para el tratamiento de acabado (ver árbol de decisión en la página 25).*

Las ventajas de estas técnicas son muy apreciadas por los gestores de tratamiento de aguas residuales. La otra ventaja, especialmente en el caso de los lodos activados, es que son objeto de investigaciones punteras realizadas por grandes grupos del agua y se pueden encontrar fácilmente publicaciones detalladas relativas a su dimensionado y a las innovaciones que permiten mejorar los rendimientos sobre uno u otro parámetro. Sin embargo, los lechos bacterianos y los discos biológicos siguen siendo, si se respetan las normas de dimensionado mencionadas anteriormente, técnicas especialmente adaptadas a las pequeñas aglomeraciones ya que presentan un coste de explotación muy inferior [consumo de energía (hasta cinco veces menos con respecto a un lodo activado), menos personal para el control de este tipo de estación rústica...].

→ Se pueden utilizar estas técnicas en combinación con técnicas extensivas. Especialmente, las estaciones constituidas de un disco biológico o de un lecho bacteriano, seguidas por una laguna de acabado, pueden permitir obtener vertidos de excelente calidad (eliminación de los nutrientes, fuerte reducción de los gérmenes patógenos).

En esta guía no se describirán las técnicas intensivas. Sin embargo, insistiremos en la descripción de técnicas menos conocidas como las técnicas extensivas de depuración.

Por otra parte, como esta guía se centra en la depuración de las aglomeraciones y de las industrias conectadas, no se abordarán las técnicas específicas al saneamiento autónomo (fosas sépticas, esparcimiento, lecho filtrante, fosa de acumulación...).

### ▲ Las técnicas que se deben desarrollar

Las técnicas llamadas extensivas que se describen detalladamente en esta guía son procesos que realizan la depuración mediante cultivos fijos sobre soporte fino o incluso mediante cultivos libres pero que utilizan la energía solar para producir oxígeno mediante fotosíntesis. El funcionamiento de este tipo de instalaciones sin electricidad es posible, excepto para el lagunaje aireado para el cual una aportación de energía es necesaria para alimentar los aireadores o los materiales de insuflación de aire.

Estas técnicas se distinguen también de las técnicas evocadas anteriormente por el hecho que las cargas de superficie aplicadas son muy pequeñas.

Estas técnicas fueron desarrolladas en diferentes países para las colectividades de tamaño, en general, inferior a 500 EH. Casos prácticos son los desarrollados en Francia con lagunas naturales, en la Baviera con un tipo de lagunaje natural de diseño bastante diferente de las realizadas en Francia o incluso en el Reino Unido con los filtros horizontales (zonas húmedas artificiales).

La difusión de estas técnicas para las aglomeraciones de un tamaño superior a 500 EH es factible si se adoptan algunas precauciones que vamos a recordar.

Esta guía tiene por objetivo dar un impulso a la difusión de estas técnicas y contribuir a demostrar que las técnicas extensivas son realmente necesarias para permitir el cumplimiento de los requisitos de la directiva "Aguas Residuales Urbanas".

Después de la descripción de los principales principios de funcionamiento de los cultivos fijos y los libres, detallaremos las técnicas según el esquema siguiente :

- Cultivos fijos:
  - Infiltración percolación ;
  - Filtro plantado de flujo vertical ;
  - Filtro plantado de flujo horizontal.
- Cultivos libres :
  - Lagunaje natural ;
  - Lagunaje de macrofitas ;
  - Lagunaje aireado.
- Sistemas mixtos.

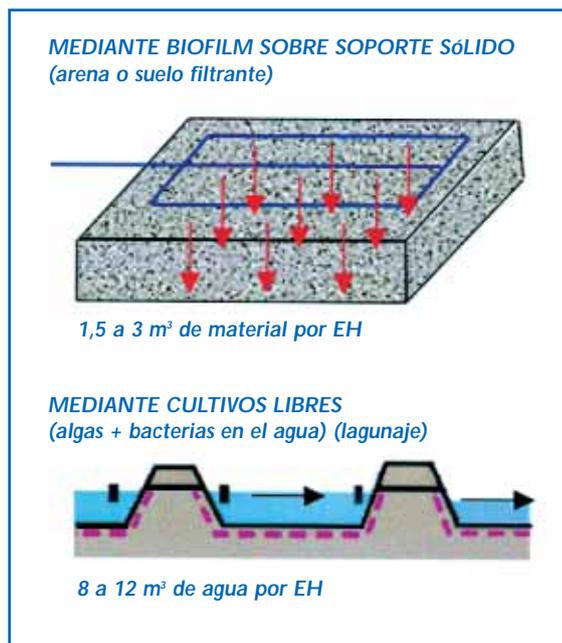


Figura nº 5 : Depuración "natural" extensiva de las aguas residuales

### La depuración y el papel de los vegetales en las zonas húmedas artificiales

Los sistemas de depuraciones por zonas húmedas artificiales reproducen los procesos de depuración de los ecosistemas (Wetzel, 1993). La gran heterogeneidad y diversidad de las plantas, suelos y tipos de flujo de las aguas induce una gran variedad de combinaciones posibles :

- sistemas de flujo por debajo de la superficie del suelo (filtros plantados de flujo horizontal o vertical) ;
- sistemas de flujo de agua libre en superficie (ver lagunajes naturales) ;
- más raramente, irrigación de sistemas vegetales (de los sauces por ejemplo), de bosquesillos de muy cortas rotaciones, para afinar el tratamiento por una última filtración.

Para el **conjunto de las zonas húmedas artificiales** encontramos los siguientes **mecanismos de depuración** :

#### Mecanismos físicos :

- filtración a través de medios porosos y de sistemas de raíces (ver mecanismos en cultivos fijos) ;
- sedimentación de MES y de coloide en lagunas o marisma (ver mecanismos cultivos libres),

#### Mecanismos químicos :

- precipitación de compuestos insolubles o coprecipitación con compuestos insolubles (N, P).
- adsorción sobre el sustrato, según las características del soporte implantado o por las plantas (N, P, metales) ;
- descomposición por fenómenos de radiación U.V. (virus), de oxidación y de reducción (metales).

#### Mecanismos biológicos :

- Los mecanismos biológicos, debidos al desarrollo bacteriano libre o fijo, permiten la degradación de la materia orgánica, la nitrificación en zona aerobia y la desnitrificación (ver glosario) en zona anaerobia. Para los sistemas de superficie de agua libre, la depuración biológica se realizará por procesos aerobios cerca de la superficie del agua y eventualmente anaerobios cerca de las sedimentaciones en profundidad. El desarrollo de algas fijas o en suspensión en el agua (fitoplancton) aporta gracias a la fotosíntesis, el oxígeno necesario a las bacterias depuratorias aerobias y fija una parte de los nutrientes (efecto "lagunaje").

## Cultivos fijos sobre soporte fino ←

### ▼ *Funcionamiento : mecanismos utilizados.*

Los procesos de depuración de cultivos fijos sobre soporte fino consisten en hacer correr el agua a tratar sobre varios macizos independientes.

Los dos mecanismos principales son:

- **Filtración superficial** : las materias en suspensión (MES) quedan retenidas en la superficie del macizo filtrante y, con ellas, una parte de la contaminación orgánica (DQO en particular) ;
- **Oxidación** : el medio granular constituye un reactor biológico, un soporte de gran superficie específica, sobre la cual se fijan y se desarrollan las **bacterias aerobias** responsables de la oxidación de la contaminación disuelta (DQO disuelto, nitrógeno orgánico y amoniacal).

La aireación está asegurada por :

- una convección a partir del desplazamiento de las láminas de agua ;
- una difusión del oxígeno desde la superficie de los filtros y las chimeneas de aireación, hacia el espacio poroso.

La oxidación de la materia orgánica se acompaña por un **desarrollo bacteriano**, que debe ser regulado con el fin de evitar el atasco biológico interno del macizo filtrante, y el desprendimiento episódico de la biomasa que son inevitables cuando las cargas aplicadas son importantes. La autorregulación de la biomasa se obtiene gracias a la implantación de **varios macizos independientes** alimentados en alternancia. Durante las fases de reposo (o de no alimentación), el desarrollo de las bacterias en situación " de ayuno " se reduce al máximo por depredación, desecación, ... Estas fases de reposo no deben ser demasiado largas con el fin de que los procesos depuratorios puedan reanudarse rápidamente, desde la nueva fase de alimentación. Frecuentemente, las técnicas de " cultivos fijos sobre soporte fino " están diseñadas basándose en 3 bandejas alimentadas cada una durante 3 a 4 días consecutivos.

**La gestión controlada del desarrollo bacteriano evita la colocación de una obra específica de separación agua + lodo. Las obras en cultivos fijos sobre soportes finos están diseñadas sin clarificador.**

El **dispositivo de alimentación** de las unidades de infiltración debe asegurar una distribución uniforme del influente (con el fin de utilizar toda la superficie disponible) y la homogeneidad de las cargas hidráulicas (ver glosario) unitarias. La alimentación puede realizarse mediante inmersión temporal (o por aspersión) a partir de una balsa cuyo vaciado se realiza a gran caudal por diversos medios (sifón, bombas...). Estas aportaciones secuenciales también permiten mantener una concentración importante de oxígeno en el filtro, mediante la difusión de aire entre dos sueltas.

El **macizo filtrante** está constituido generalmente de arena que puede ser arena añadida o arena de dunas in situ. La arena debe cumplir con algunas características precisas con el fin de establecer un compromiso entre el riesgo de atasco (arena demasiado fina) y el paso demasiado rápido (arena demasiado gruesa). Las arenas cuyas características se resumen a continuación presentan, según los conocimientos actuales (Liénard y al, 2000), el mejor compromiso. Debe evitarse incumplir estos límites debido al periodo de vida de las obras.

#### Características de las arenas :

- arena silicea ;
- arena limpia;
- D10 incluido entre 0,25 mm y 0,40 mm ;
- CU [coeficiente de uniformidad, (ver glosario)] incluido entre 3 y 6 ;
- contenido en finos inferior a 3 % de finos.

*Nota : El medio filtrante puede ser constituido por el suelo in situ cuando su granulometría permite ser clasificada entre arena gravosa y arena limosa*

### ▼ *La infiltración-percolación sobre arena*

#### Principio de funcionamiento

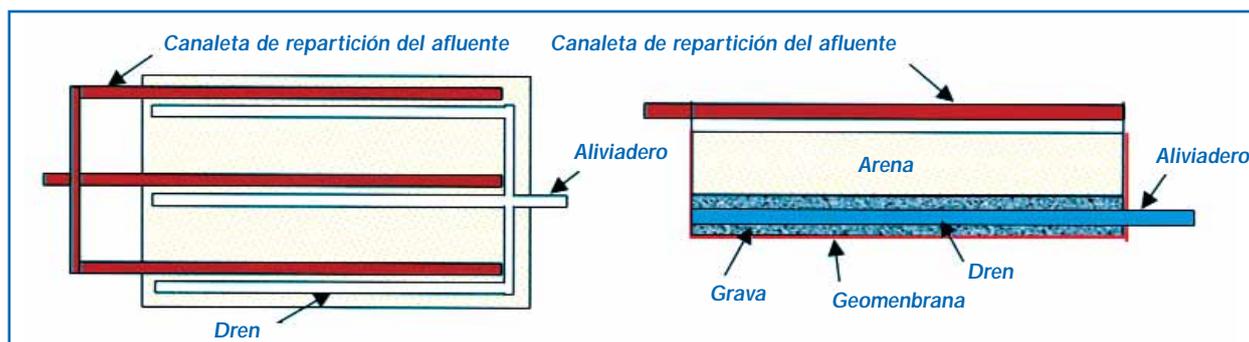
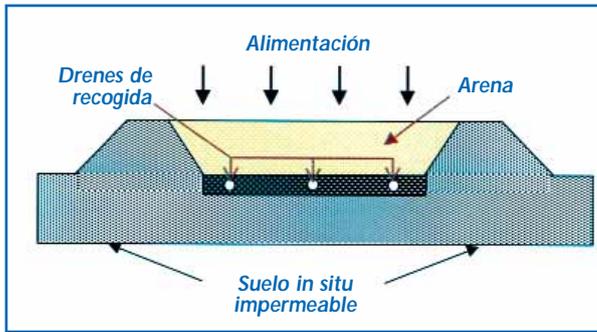
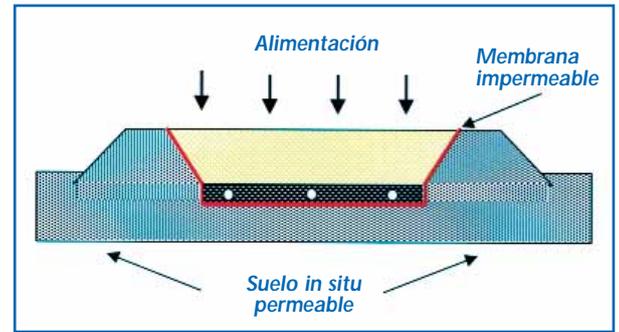


Figura nº 6 : Infiltración percolación estanca y drenada (Agencias del Agua, 1993)



**Figura nº 7 : Sistema drenado sobre suelo in situ impermeable (Agencias del Agua, 1993)**



**Figura nº 8 : Sistema drenado con un macizo drenante estanco gracias a una membrana impermeable (Agencias del Agua, 1993)**

La Infiltración-percolación de aguas residuales es un proceso de depuración por filtración biológica aerobia sobre un medio granular fino. El agua fluye sucesivamente sobre varias unidades de infiltración. Las cargas hidráulicas son equivalentes a varios centenares de litros por metro cuadrado de macizo filtrante y día. El agua que se debe tratar está uniformemente repartida por la superficie del filtro que no está cubierto. El nivel de distribución de las aguas se mantiene al aire libre y es visible.

Otra opción interesante de depuración por el suelo está constituida por los filtros de arena horizontales o verticales enterrados. Estas técnicas utilizadas, particularmente, para las situaciones relacionadas con el saneamiento autónomo, siguen siendo interesantes para el saneamiento autónomo agrupado para unos centenares de equivalentes habitantes. Para un filtro de arena vertical enterrado, un dimensionado de  $3,5 \text{ m}^2 / \text{hab}$  es necesario y se recomienda una alimentación a baja presión.

### Bases del dimensionado

Una estación, en la cual la infiltración-percolación constituye el medio principal de tratamiento de las aguas residuales, debe incluir : un pretratamiento, una obra de decantación (para las aglomeraciones de unos centenares de equivalentes habitantes, se puede utilizar una gran fosa séptica para todas las aguas), un almacenamiento, un sistema de repartición entre las balsas, un dispositivo de alimentación, los macizos filtrantes y la restitución al cauce o el vertido.

Se deben dimensionar los lechos de infiltración percolación sobre arena de la forma siguiente (Documento técnico FNDAE nº22) : **Superficie =  $1,5 \text{ m}^2/\text{EH}$  (independientemente que se trate de un lecho drenado o no)**



Instalación de MAZAGON (España)  
Capacidad de 1700 EH (Foto : F. Brissaud)

*Nota : los filtros de arenas verticales enterrados y drenados pueden ser interesantes para las instalaciones más pequeñas (autónomas y autónomas agrupadas) que necesitan una superficie de  $3 \text{ m}^2/\text{hab}$  en vez de  $1,5 \text{ m}^2/\text{hab}$  para la filtración al aire libre.*

### Determinación del espesor

Cuando la descontaminación no forma parte de los objetivos de la instalación, un espesor de macizo filtrante de 80 cm es suficiente.

En caso de que la infiltración-percolación tenga por función adicional la eliminación de los gérmenes patógenos, el espesor del macizo filtrante depende del nivel de descontaminación esperado. La curva que aparece a continuación presenta la relación entre la reducción de los coliformes fecales en función de la carga hidráulica (h) y del espesor del macizo filtrante cuando se trata de arena (Estudio Inter Agencias nº9, 1993).

Si el macizo es arena implantada naturalmente, la relación de obtener y es preferible solicitar a los laboratorios para

entre su espesor y la descontaminación es más difícil de caracterizar correctamente la arena concernida y sus capacidades de descontaminación.

El número de unidades es función :

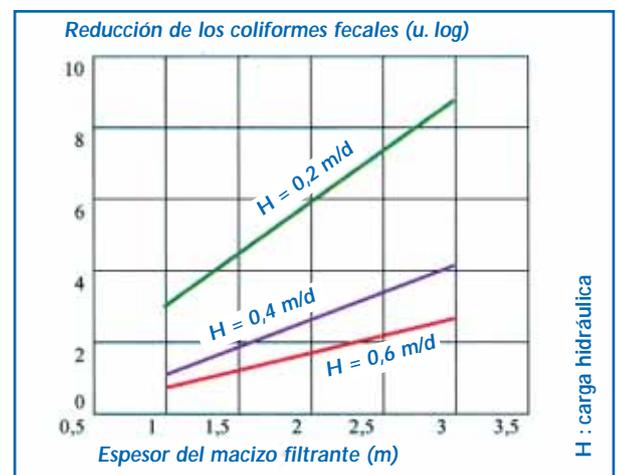
- de la superficie total de macizo filtrante ;
- de la superficie máxima de la unidad de infiltración compatible con un reparto uniforme del afluente sobre esta misma unidad.

### Implantación

Las paredes de las excavaciones deben ser, en la medida de lo posible, verticales con el fin de que, en cualquier punto del macizo filtrante, el camino vertical seguido por el agua sea exactamente idéntico al espesor del macizo.

La altura de los ribazos (talud por encima del nivel de infiltración) debe ser aproximadamente de 30 cm. Se deben instalar aliviaderos de seguridad, para hacer frente a las emergencias y evacuar los caudales en exceso hacia un medio receptor, o bien hacia otras balsas menos cargadas.

Se pueden proteger los taludes de los ribazos de las balsas mediante placas de hormigón, tablestacas alquitranadas, de hormigón proyectado o incluso una vegetalización.



**Figura nº 9 : Reducción de los coliformes fecales en función de la carga hidráulica (H en m/d) y del espesor del macizo filtrante**

## Explotación

### Cuadro nº6 : Explotación de una instalación de infiltración percolación

Tareas	Observaciones
Mantenimiento normal (cada 3 - 4 días)	<ul style="list-style-type: none"><li>● maniobra de las válvulas ;</li><li>● limpieza del desbaste;</li><li>● observación del grado de atasco de la superficie de las unidades de infiltración, particularmente de la altura de agua sobre el nivel de infiltración ;</li><li>● tiempo de desaparición de la lámina de agua ;</li><li>● en las instalaciones no gravitarias, observación del caudal de las bombas ;</li><li>● llevar un libro de mantenimiento para registrar todas las tareas efectuadas, las mediciones de caudal (aforo, tiempo de funcionamiento de las bombas), para un conocimiento correcto de los flujos. Además, esto permite elaborar balances de funcionamiento .</li></ul>
Seguimiento regular Visitas mensuales o cada 2 meses	<ul style="list-style-type: none"><li>● exámenes visuales, flujo de las aguas correcto, aspecto de los efluentes ;</li><li>● recogida de los flotantes (decantador-digestor), nivel de los lodos (laguna anaerobia o decantador digestor) ;</li><li>● regulaciones de nivel, altura de agua máxima en la balsa, dispositivos de alimentación (sifones, canaletas, etc....) ;</li><li>● válvulas o dispositivos de repartición ;</li><li>● socavado y conservación de la nivelación de los niveles de infiltración ;</li><li>● aliviadero de la estación (sistemas drenados) y calidad de los vertidos ;</li><li>● funcionamiento de los aspersores y limpieza (cada mes).</li></ul>
Otras operaciones de mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"><li>● mantenimiento de los dispositivos electromecánicos (1 o 2 veces / año) ;</li><li>● segado de los ribazos y de los rellenos alrededor de los macizos ;</li><li>● las acumulaciones orgánicas que, al término de las fases de secado, están reducidas a virutas muy fácilmente desprendibles de la arena deben ser rastrilladas y evacuadas hacia la descarga, según una periodicidad que se debe ajustar empíricamente ; se debe prever el cambio de los 5 a 10 primeros cm de arena cada 3-4 años;</li><li>● vaciado de los lodos del decantador digestor (1 o 2 veces / año) o de las lagunas de decantación (de 1 a 2 veces / año) o incluso de las fosas sépticas de todas las aguas (1 vez cada 3 o 4 años) ;</li><li>● análisis regulares de los contenidos en nitratos del vertido permiten dar una indicación sobre la salud de la estación *.</li></ul>

\* Un filtro de flujo vertical que funciona de manera óptima produce nitratos y cualquier reducción de concentración a la salida (después de una semana o un mes) refleja una falta de oxígeno, y, por consiguiente, una degradación del tratamiento. Se puede realizar este seguimiento fácilmente utilizando papeles indicadores.

## Rendimientos

Se obtienen con este sistema excelentes resultados: (en concentraciones).

- DBO<sub>5</sub> inferior a 25mg/l ;
- DQO inferior a 90mg/l;
- MES inferior a 30mg/l ;
- Nitrificación casi completa ;
- Desnitrificación limitada para este tipo de instalación. En su versión " saneamiento autónomo " la depuración por el suelo puede permitir una cierta eliminación del nitrógeno. Un estudio realizado por la Dirección Departamental de Asuntos Sanitarios y Sociales de Loire-Atlantique en 1993 ha permitido constatar que se podía eliminar 40% del nitrógeno (incluso más) mediante un filtro de arena vertical. Esta reducción puede llegar hasta 50% si se utiliza un filtro de arena horizontal (Cluzel F. – 1993) ;
- Fósforo : reducción importante durante 3 o 4 años (60-70%), luego baja reducción y posteriormente se hace negativa después de 8-10 años (Duchemin J. - 1994) ;
- Posibilidad de eliminación de los gérmenes testigos de la contaminación fecal siempre que se disponga de una altura de materia suficiente y de un funcionamiento hidráulico sin camino preferente (1000 veces con 1 m de espesor).

## Ventajas técnicas

- excelentes resultados para la DBO<sub>5</sub>, la DQO, las MES ;
- nitrificación más a fondo;
- superficie necesaria muy inferior que en el caso de un lagunaje natural ;
- capacidad de descontaminación interesante.

## Inconvenientes técnicos

- necesidad de una obra de decantación primaria eficaz ;
- riesgo de atasco que se debe resolver (por lo que es importante utilizar una arena "limpia" y con una buena granulometría) ;
- necesidad de disponer de grandes cantidades de arena, lo que puede generar inversiones importantes si no se encuentra próxima;
- adaptación limitada a las sobrecargas hidráulicas.

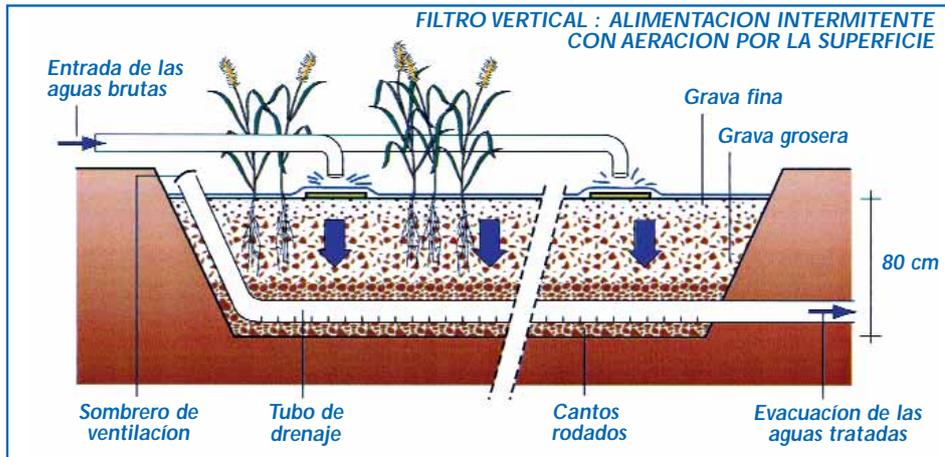
## ▼ Filtros plantados de flujo vertical

### Principio de funcionamiento

Los filtros son excavaciones en el suelo, estancas, rellenas con capas sucesivas de grava o de arena de una granulometría variable según la calidad de las aguas residuales que se deben tratar.

A la inversa de la infiltración percolación anteriormente descrita, el afluente bruto se reparte directamente, **sin decantación previa**, por la superficie del filtro. Fluye en su seno, experimentando un tratamiento físico (filtración), químico (adsorción...) y biológico (biomasa fijada sobre soporte fino). Las aguas depuradas son drenadas y los filtros se alimentan por tongadas de aguas residuales brutas. Para un mismo piso, la superficie de filtración está separada en varias unidades que permiten instaurar periodos de alimentación y periodos de reposo.

El principio depuratorio se basa en el desarrollo de una biomasa aerobia fijada sobre un suelo reconstituido (ver : capítulo sobre cultivos fijos sobre soporte fino). El oxígeno procede de la convección y difusión. La aportación de oxígeno por las raíces pequeñas de las plantas es, en este caso, despreciable con respecto a las necesidades (Armstrong; 1979).



La técnica se compone :

- de un desbaste;
- de un primer piso de filtros verticales ;
- de un segundo piso de filtros verticales.

Figura n° 10 : principio de los filtros plantados de flujo vertical (fuente : CEMAGREF)

### Bases del dimensionado

El dimensionado de los filtros verticales ha sido establecido empíricamente, definiendo las cargas orgánicas de superficie diarias límites aceptables (20 a 25 g DBO<sub>5</sub> m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup> de superficie total plantada).

El primer piso está dimensionado para recibir aproximadamente 40 g DBO<sub>5</sub> m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup> que representan 60 % de la superficie total, es decir, aproximadamente 1,2 m<sup>2</sup>/EH. Cuando la red es unitaria o parcialmente unitaria, el dimensionado del primer piso alcanza 1,5 m<sup>2</sup>/EH (Agencia del Agua, 1999). Este piso está compartimentado en un número de filtros múltiplo de 3, lo que permite obtener periodos de reposo 2/3 del tiempo.

La superficie del segundo piso es generalmente de 40 % de la superficie total, es decir, aproximadamente 0,8 m<sup>2</sup>/EH. En este piso, el tiempo de reposo necesario es igual al de funcionamiento, que necesita, por consiguiente, la colocación de un número de filtros múltiplo de 2 e igual a 2/3 del número de filtros utilizados para el primer piso (ver esquema a continuación).

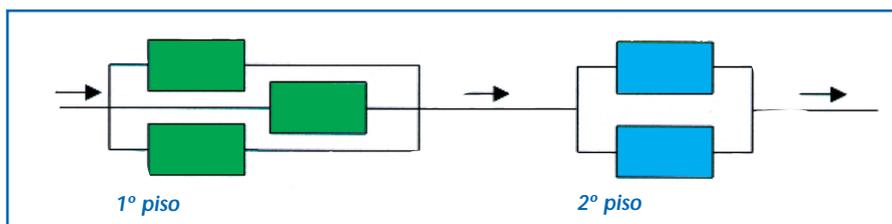


Figura n° 11 : Esquema de diseño de la primera y segunda etapas

### Implantación

#### Alimentación

La velocidad de alimentación con aguas residuales brutas debe ser superior a la velocidad de infiltración con el fin de repartir correctamente el afluente. Los sedimentos que se acumulan en la superficie contribuyen a la disminución de la permeabilidad (ver glosario) intrínseca del material y, por consiguiente, mejoran la repartición del afluente. Los vegetales limitan el atasco de superficie y las varillas perforan los sedimentos acumulados. Las entradas de agua se realizan en varios puntos.

#### Material

El material de guarnición del primer piso se compone de varias capas de grava. La capa activa es una grava que presenta una granulometría de 2 – 8 mm, para un espesor del orden de 40 cm. Las capas inferiores tienen una granulometría intermedia (10-20 mm) que permiten alcanzar una capa drenante de grava (20 – 40 mm).

La segunda etapa afina el tratamiento. Los riesgos de atasco son menores. Se compone de una capa de arena (ver infiltración-percolación) de una altura de al menos 30 cm.

#### Evacuación

La capa inferior de grava (20 – 40 mm) asegura el drenaje del efluente. Los drenes tales como tubos sintéticos, rígidos y equipados de muescas anchas, se utilizan preferentemente ya que son poco sensibles al atasco. Cada dren está conectado a una chimenea de aireación.

## Plantación

Se pueden utilizar teóricamente varias especies de plantas (Scirpus spp, Typha...), pero las cañas (de tipo Phragmites australis), debido a su resistencia durante ciertas condiciones (filtro sumergido durante un largo periodo, periodos secos, elevada tasa de materia orgánica), y el rápido crecimiento de las raíces y rizomas, son los más utilizados en los climas templados (Brix, 1987). La densidad de plantación es de 4 plantas/m<sup>2</sup>.

## Diseño

### Selección de los terrenos

Las condiciones del sitio son las siguientes :

- **Especulación urbanística** : La superficie implicada por este proceso imposibilita su instalación en las aglomeraciones de tamaño medio sometidas a una fuerte especulación urbanística.
- **Relieve** : Un desnivel del orden de 3 a 4 metros entre los puntos río arriba y río abajo permite alimentar los filtros por gravedad (los sifones no necesitan ninguna aportación de energía). Para las colectividades de un tamaño de aproximadamente 3000 / 4000 H.E., la instalación de bombas puede ser necesaria.

## Explotación

El mantenimiento de estos sistemas no necesita una calificación particular, pero obliga al jefe de explotación a realizar actuaciones frecuentes y regulares.

### Cuadro nº7 : Explotación de los filtros plantados de flujo vertical

Tareas	Frecuencia	Observaciones
Deshierba	1 <sup>er</sup> año	<ul style="list-style-type: none"><li>● Eliminación de malas hierbas (Kadlec y al-2000). Una vez las plantas predominantes están establecidas, esta operación deja de ser necesaria.</li></ul>
Segado	1 / año (otoño)	<ul style="list-style-type: none"><li>● Segado y evacuación de las cañas. El hecho de evacuarlas permite evitar su acumulación en la superficie de los filtros. Para ahorrar tiempo, se pueden eventualmente quemar las cañas si la estanqueidad no está realizada por una geomembrana y si los tubos de alimentación son de fundición (Liénard y al, 1994).</li></ul>
Seguimiento y mantenimiento regular	1 / trimestre 1 / semana	<ul style="list-style-type: none"><li>● Limpiar el sifón de alimentación del primer piso con manguera de agua a presión.</li><li>● Análisis regulares de nitratos en el efluente permiten dar una indicación sobre el buen funcionamiento de la estación*.</li></ul>
Mantenimiento habitual	1 a 2/ semana 1 / semana 2 / semana	<ul style="list-style-type: none"><li>● Limpiar el desbaste.</li><li>● Verificar regularmente el funcionamiento de los aparatos electromecánicos y detectar las averías lo más rápidamente posible.</li><li>● Maniobra de las válvulas</li></ul>
Otras operaciones de mantenimiento	Cada visita	<ul style="list-style-type: none"><li>● Llevar un libro de mantenimiento que registre todas las tareas efectuadas, las mediciones de caudal (canal caudalimétrico, tiempo de funcionamiento de las bombas), para un buen conocimiento de los flujos. Además, esto permite elaborar balances de funcionamiento.</li></ul>

*Un filtro de flujo vertical que funciona de manera óptima produce nitratos y cualquier reducción de concentración en salida (después de una semana o un mes) refleja una falta de oxígeno, y, por consiguiente, una degradación del tratamiento. Se puede realizar este seguimiento fácilmente utilizando papeles indicadores.*

## Rendimientos

- DBO<sub>5</sub> ≤ 25 mg/l
- DQO ≤ 90 mg/l
- MES ≤ 30 mg/l
- NJK ≤ 10 mg/l en general con puntas que no superan 20 mg/l
- Fósforo : Reducción normalmente débil (depende de la capacidad de adsorción del sustrato y de la edad de la instalación)
- gérmenes patógenos : eliminación media (1 a 2 unidades log).

## Ventajas técnicas

- Sencillo y bajo coste de explotación. Ningún consumo energético si la topografía lo permite ;
- Posibilidad de tratar las aguas residuales domésticas brutas ;
- Gestión de lodos reducida al mínimo;
- Buena adaptación a las variaciones estacionales de la población..

## Inconvenientes técnicos

- Explotación regular, segado anual de la parte aérea de las cañas, deshierba manual antes del predominio de las cañas ;
- Utilizar esta técnica para capacidades superiores a 2 000 h.e. es muy delicado debido al necesario control de la parte hidráulica y del coste con respecto a las técnicas clásicas. Un diseño para dimensiones superiores sólo puede ser factible si se realiza una reflexión profunda sobre la adaptación de las bases del dimensionado y las condiciones al respecto, para asegurar el control de la parte hidráulica ;
- Riesgo de presencia de insectos o de roedores.



Instalación en Oaklands Park (Reino Unido)  
Capacidad de 65 h.e. (Foto : P. Cooper)

## ▼ Filtros plantados de cañas de flujo horizontal

### Principio de funcionamiento

En los filtros de flujo horizontal, el macizo filtrante está casi totalmente saturado de agua. El afluente se reparte sobre toda la anchura y la altura del lecho gracias a un sistema repartidor situado a un extremo de la balsa que fluye principalmente en un sentido horizontal a través del sustrato. La alimentación se efectúa casi siempre en continuo ya que la carga orgánica aportada es débil.

La evacuación se realiza mediante un dren colocado en el extremo opuesto del lecho, en el fondo y enterrado en una zanja de piedras drenantes. Este tubo está conectado a un sifón que permite ajustar la altura de vertido, por consiguiente, la del agua en el lecho, de tal modo que esté saturado durante el periodo de alimentación. El nivel de agua debe mantenerse aproximadamente a 5 cm por debajo de la superficie del material. En efecto, el agua no debe circular por encima de la superficie para no cortocircuitar la cadena de tratamiento, como resultado, no hay agua libre.

### Bases del dimensionado

Para definir la superficie necesaria, los valores empíricos proporcionados a continuación representan los resultados de depuración esperados (Vymazal y al, 1998) :

- ➔ Para concentraciones iniciales del orden de 150 a 300 mg.l<sup>-1</sup> de DBO<sub>5</sub>, las superficies plantadas son del orden de **5 m<sup>2</sup>/h.e. en tratamiento secundario**; lo que corresponde a kDBO<sub>5</sub> = 0,1m/d ;
- ➔ Para las concentraciones incluidas entre 300 y 600 mg.l<sup>-1</sup> de DBO<sub>5</sub>, **concentraciones más representativas de un agua sucia urbana habitual**, parece preferible elegir la práctica danesa que consiste en dimensionar el filtro a **10 m<sup>2</sup>/h.e.** ;
- ➔ Para el tratamiento de efluentes de redes pluviales (Cooper - 1996) la superficie es de **0,5 m<sup>2</sup>/EH**

La **sección del filtro** debe ser definida por un estudio específico. Es función de la permeabilidad inicial del material elegido (1 a 3.10<sup>-3</sup> m.s<sup>-1</sup>).

La **profundidad del filtro** será igual a la profundidad máxima de penetración de las raíces. Esta profundidad es de 60 cm para los phragmites (Marsteiner, 1996).

La hipótesis de una mejora notable de la conductividad hidráulica inicial, debida al desarrollo intenso de las raíces de las cañas, tanto en densidad como en profundidad, no ha sido confirmada (Boon - 1986). En efecto, el aumento de la conductividad hidráulica gracias al desarrollo de raíces está compensado en parte por la acumulación de MES y

de materia orgánica (Cooper - 1996). Por lo que es importante que el soporte elegido disponga de una permeabilidad de 1 a 3.10<sup>-3</sup> m.s<sup>-1</sup>. Por consiguiente, se debe excluir la mayoría de los suelos habituales.

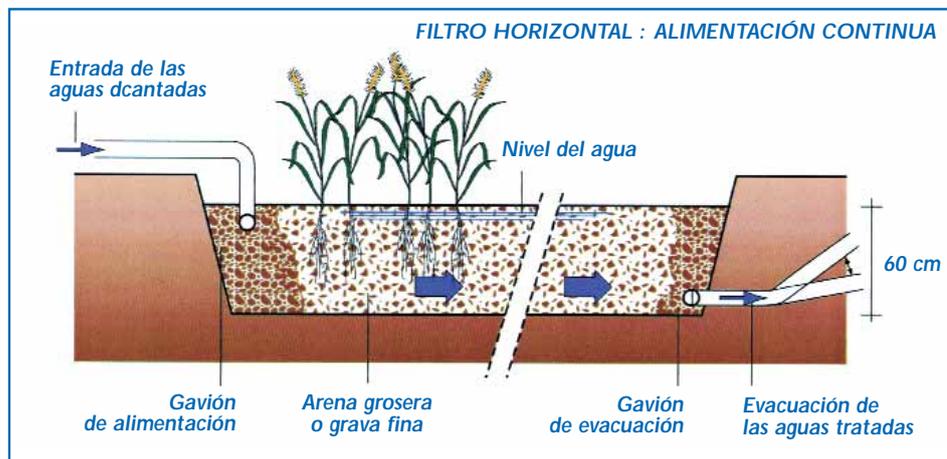


Figura nº 12 : corte transversal de un lecho horizontal (Fuente : Cooper - 1993)

### Implantación

#### Compartimentación

Para dimensiones superiores a 500 m<sup>2</sup>, un fraccionado en varias unidades de tamaño reducido facilitará el mantenimiento y mejorará la repartición hidráulica.

#### Pendiente

La pendiente del fondo del lecho debe permitir vaciar totalmente el filtro. La pendiente no debe, sin embargo, provocar la desecación de las raíces a nivel de la salida. Una variación de la profundidad del lecho igual a 10 % de la altura de materia en la entrada es suficiente (Kadlec, R.H. y al - 2000).

#### Materias

Al principio, el proceso ha sido desarrollado utilizando suelo in situ, pretendiendo alcanzar al final, una conductividad hidráulica de 3.10<sup>-3</sup> m s<sup>-1</sup>. Numerosos filtros fueron construidos sobre la hipótesis que la conductividad hidráulica aumentaría con el desarrollo de raíces.

Debido a malas experiencias, se recomienda actualmente usar gravas lavadas, con una granulometría diferente según la calidad de las aguas entrantes (3-6, 5-10, 6-12 mm) (Vymazal - 1998).

#### Vegetales

La variedad más utilizada es la caña Phragmites Australis debido a su velocidad de crecimiento, desarrollo de raíces y de su resistencia en las condiciones de saturación del suelo. La plantación puede realizarse utilizando semillas, plantas jóvenes o rizomas con una densidad del orden de 4 por m<sup>2</sup>.

## Diseño

### Selección de los terrenos

Las condiciones del sitio son las siguientes :

- Especulación urbanística importante ;
- Relieve : un desnivel de algunos metros entre el punto de alimentación de la futura estación y río abajo permite alimentar los filtros por gravedad. El desnivel necesario no es muy importante debido a la escorrentía horizontal.
- Características del suelo en el fondo del filtro : si el suelo es arcilloso, la estanqueidad natural puede conseguirse mediante simple compactación (conductividad requerida  $1.10^{-8} \text{m.s}^{-1}$ ). En caso contrario, se necesita colocar una geomembrana.

## Explotación

El mantenimiento de estos sistemas no necesita unas competencias particulares. Sin embargo, el jefe de explotación está obligado a efectuar actuaciones frecuentes y regulares. En la gama de población que nos interesa, se debe pensar en el mantenimiento de las obras de decantación primaria (evacuación de los lodos) y del piso de tratamiento biológico en el caso de que el filtro asegure un tratamiento terciario.

### Cuadro nº8 : Explotación de los filtros plantados de flujo horizontal

Tarea	Frecuencia	Observaciones
Mantenimiento de las instalaciones de pretratamiento	1 / semana	El objetivo es asegurar su correcto funcionamiento y que no viertan demasiado MES que podrían provocar un atasco.
Ajuste del nivel de salida	1 / semana	El ajuste regular del nivel de agua de salida permite evitar las escorrentías de superficie. Para las estaciones importantes ( $> 500 \text{ m}^3 \text{ j}^{-1}$ ), la verificación del nivel de salida puede necesitar una visita diaria.  La hidráulica de este tipo de proceso es un punto clave. Conviene verificar la buena distribución del efluente en el filtro. La limpieza del dispositivo de alimentación debe ser prevista en la fase de diseño.
Vegetación Deshierba	1 <sup>er</sup> año	Durante el primer año (incluso para el segundo año) es útil realizar la eliminación de malas hierbas para no dificultar el desarrollo de las cañas (Kadlec R.H. y al, 2000). Esta operación también puede realizarse sumergiendo ligeramente la superficie del filtro (10 cm) en detrimento de los rendimientos de depuración (Cooper - 1996). Una vez establecido el predominio, esta operación deja de ser necesaria.
Segado	inútil	La ausencia de escorrentía de superficie permite evitar el segado. Los vegetales muertos no estorban el funcionamiento hidráulico de los filtros y, además, permiten aislar térmicamente el filtro.
Otras operaciones de mantenimiento	Cada visita	Mantener un libro de mantenimiento que registre todas las tareas efectuadas, las mediciones de caudal (canal caudalimétrico, tiempo de funcionamiento de las bombas), para un buen conocimiento de los flujos. Además, esto permite elaborar balances de funcionamiento.

## Rendimientos

En cuanto al rendimiento, considerando la  $\text{DBO}_5$ , para concentraciones de entrada que varían entre 50 y 200 mg/l, y para un dimensionado de 3 a 5  $\text{m}^2/\text{EH}$ , los sistemas de flujo de tipo horizontal y guarnecido con grava obtienen unos rendimientos incluidos entre 70 y 90 %. Estas concentraciones son, sin embargo, demasiado pequeñas para ser consideradas como representativas de un agua sucia urbana y parece más prudente seguir el ejemplo danés.

En efecto, 80 instalaciones danesas, dimensionadas con aproximadamente 10  $\text{m}^2/\text{EH}$ , obtienen unos rendimientos del orden del 86 % sobre la  $\text{DBO}_5$  y MES, del 37 % para el nitrógeno total, y del 27 % sobre el fósforo total (Cooper - 1996).

De una manera general, en tratamiento secundario, la nitrificación está limitada pero la desnitrificación es muy buena. Los rendimientos sobre el fósforo dependen del tipo de suelo utilizado, pero quedan relativamente bajos.

## Ventajas técnicas

- Bajo consumo energético ;
- No se necesitan competencias particulares para el mantenimiento ;
- Buena reacción a las variaciones de carga.

## Inconvenientes técnicos

- La superficie utilizada es importante ;
- Una instalación para aglomeraciones de aproximadamente 4.000 EH sólo puede ser factible si se realiza una reflexión profunda sobre las condiciones de adaptación de las bases del dimensionado y las condiciones a respetar para asegurar el control de la parte hidráulica.

## → Cultivos libres

### ▲ Funcionamiento : principios utilizados

Los procesos de depuración mediante "cultivos libres" se basan en el desarrollo de cultivos bacterianos, de tipo aerobio principalmente. El oxígeno proviene de diversas fuentes según las técnicas.

El cultivo bacteriano es separado del agua tratada por un mecanismo de sedimentación en una obra (clarificador, laguna de decantación...).

### ▲ Lagunaje natural

#### Principio de funcionamiento

La depuración está asegurada gracias al largo tiempo de retención, en varias balsas estancas dispuestas en serie. El número de balsas más común es 3. Sin embargo, utilizar una configuración de 4 incluso 6 balsas permite tener una desinfección más a fondo.

El lagunaje natural se basa en la fotosíntesis. La capa de agua superior de las balsas está expuesta a la luz. Esto permite la existencia de algas que producen el oxígeno necesario para el desarrollo y conservación de las bacterias aerobias. Estas bacterias son responsables de la degradación de la materia orgánica. El gas carbónico formado por las bacterias, así como las sales minerales contenidas en las aguas residuales, permiten a las algas multiplicarse. De este modo, hay una proliferación de dos poblaciones interdependientes : las bacterias y las algas, también llamadas "microfitas". Este ciclo se automantiene siempre y cuando el sistema reciba energía solar y materia orgánica.

En el fondo de la balsa, donde la luz no penetra, se encuentran las bacterias anaerobias que degradan los sedimentos procedentes de la decantación de la materia orgánica. Se produce a ese nivel una liberación de gas carbónico y de metano.

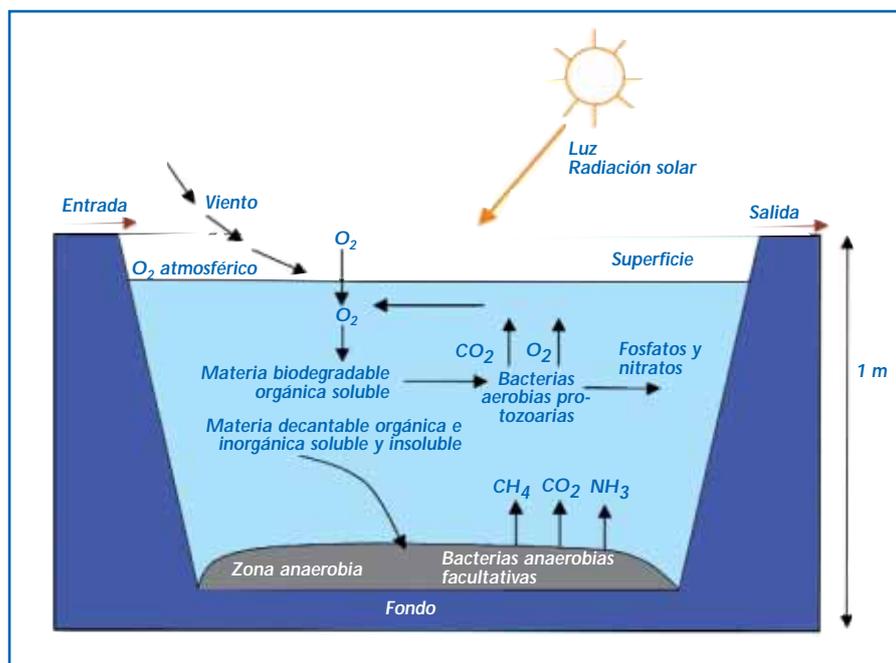


Figura n° 13 : Los mecanismos utilizados en las balsas de lagunaje natural (según "Agences Financières de Bassin", CTGREF - 1979)

#### Bases del dimensionado

Un lagunaje natural se compone, habitualmente, de varias balsas estancas o "lagunas de microfitas", que funcionan en serie.

#### Número de lagunas

La instalación de tres lagunas es frecuente y permite asegurar un buen nivel de fiabilidad de funcionamiento para la eliminación de la materia orgánica. Los rendimientos más elevados, en cuanto a la desinfección, se obtienen con una compartimentación superior (hasta seis lagunas en serie).

La función respectiva de las diferentes balsas es la siguiente :

- La primera permite, ante todo, la reducción de la carga contaminante carbonada ;
- La segunda permite la reducción del nitrógeno y del fósforo;
- La tercera afina el tratamiento y fiabiliza el sistema, en caso de disfunción de una balsa río arriba o durante una operación de mantenimiento.

La carga de superficie aplicada diaria es del orden de 4,5 g DBO<sub>5</sub> por m<sup>2</sup> de superficie total, lo que corresponde a una superficie de agua del orden de 10 a 15 m<sup>2</sup>/ EH (Vuillot y al - 1987).

La baja carga aplicada conduce a que los afluentes quedan retenidos durante mucho tiempo en las balsas. En ausencia de aportación de aguas pluviales, el tiempo de estancia se sitúa alrededor de 70 días. Para los climas cálidos y secos (país del sur de Europa), estas superficies pueden reducirse a la mitad, ya que la temperatura acelera los procesos biológicos y la evaporación aumenta el tiempo de estancia (ver Radoux M., Cadelli D., Nemcova M., Ennabili A., Ezzahri J., Ater M. - 2000).

Por esta razón, los volúmenes tratados son, en un momento dado, totalmente diferentes de los volúmenes evacuados hacia el medio natural. Con el fin de asegurar el correcto funcionamiento hidráulico de las instalaciones (y para detectar eventuales infiltraciones de aguas subterráneas o de fugas), es siempre conveniente poder comparar los caudales río arriba y río abajo utilizando dispositivos apropiados (caudalímetros o tiempo de funcionamiento de las bombas).

### Diseño de la primera laguna

El valor de  $6\text{ m}^2 / \text{h.e.}$  se utiliza con éxito, lo que corresponde a una carga de superficie nominal del orden de  $8,3\text{ g DBO}_5/\text{m}^2$  y día.

Para las instalaciones para población variable, y si el tiempo es cálido y soleado, se puede realizar el dimensionado basándose sobre la población máxima.

La forma de la laguna no debe favorecer el crecimiento bacteriano a costa del de las algas. Se debe respetar el equilibrio entre los dos con el fin de que la aportación en oxígeno siga siendo suficiente. Para eso, se preferirá una forma de balsa recogida en vez de una forma demasiado longitudinal. El ratio  $L/l < 3$  es el utilizado en Francia (ver esquema a continuación).

La profundidad de la balsa debe permitir :

- evitar el brote de vegetales superiores ;
- la penetración de la luz y la oxigenación de una fracción máxima de volumen ;

La altura de agua debe ser de 1 metro (+ 0,2 m). Sin embargo, con el fin de facilitar la limpieza del cono de acumulación de las sedimentaciones que se desarrollan habitualmente a nivel del punto de alimentación, se puede realizar una zona de sobrepesadumbre. Esta zona, de una altura adicional de 1 metro máximo, puede ocupar unas decenas de  $\text{m}^2$ . Siempre debe ser accesible desde el ribazo o desde una pasarela construida a tal efecto.

### Diseño de la segunda y tercera lagunas

Estas dos balsas deben tener dimensiones idénticas y la superficie total de las dos debe ser igual a  $5\text{ m}^2/\text{h.e.}$

La altura de agua debe ser de 1 metro (+ 0,2 m). Su forma general puede ser bastante variable en función especialmente de las condiciones topográficas y de las normas a respetar con el fin de obtener una buena integración en el paisaje.

### Pretratamiento de las aguas brutas

Se debe instalar un desbaste antes del tratamiento en las grandes instalaciones. Para las instalaciones inferiores a 500 h.e., es posible usar un tabique con forma de sifón flotante y móvil. En la entrada de la primera balsa, un tabique con forma de sifón (desengrasador rústico) sumergido a 30 o 40 cm permite retener los flotantes.

### Espacio necesario

La selección del terreno está condicionada por la importancia de la superficie del sistema de lagunas. La superficie del lagunaje incluye los planos de agua, así como los accesos que deben estar diseñados para facilitar el mantenimiento. Por ejemplo, se debe disponer aproximadamente de  $15\text{ m}^2/\text{h.e.}$  de superficie global para construir los  $4\ 400\text{ m}^2$  de balsas necesarias para tratar las aguas residuales generadas por 400 h.e. Un terreno de 0,6 hectáreas es, por consiguiente, necesario (ver esquema a continuación).

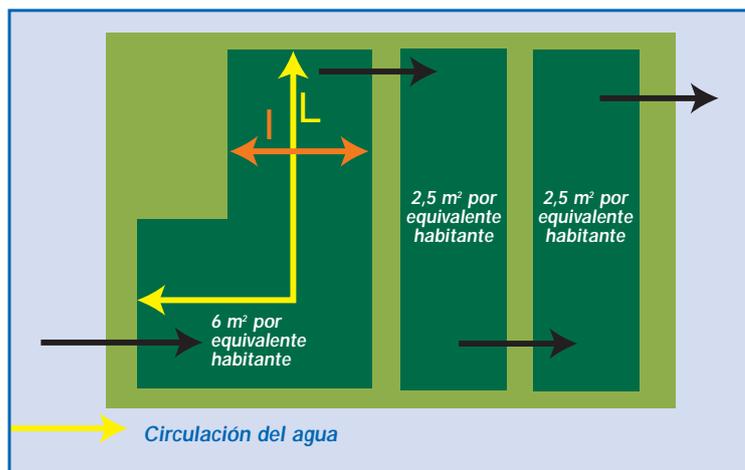


Figura nº 14 : Superficie de un lagunaje natural (agencia del agua Seine-Normandie, CEMAGREF - 1998)

### Topografía

Se debe elegir el terreno de modo que pueda existir una escorrentía por gravedad hasta el medio receptor. Buscar un emplazamiento que genere un mínimo de trabajo de nivelación. Por último, no se deben elegir los terrenos exageradamente inclinados debido a los riesgos de desprendimientos, de erosión y de alimentación por la cuenca hidrográfica (una cuenca hidrográfica demasiado inclinada generará un fuerte y súbito aumento del caudal de las aguas pluviales después de un evento pluvioso).

### Localización

La instalación debe situarse en un punto bajo, en un lugar donde los vientos predominantes contribuyen a airear la capa de agua superficial.

No deben existir árboles a menos de 10 metros, ya que las raíces pueden generar caminos preferenciales a nivel de los diques. Por otra parte, la caída de hojas en las balsas puede generar una sobrecarga orgánica así como un riesgo de obstrucción de las obras de canalizaciones.

El terreno debe ser de tipo limoso arcilloso. Sobre todo, el subsuelo no debe ser cárstico o agrietado.

## Implantación

### La nivelación

La inclinación de los diques estancos naturalmente debe respetar una relación H/I de al menos 1/2,5 con el fin de :

- limitar la acción erosiva del rompeolas ;
- facilitar el mantenimiento normal ;
- permitir a los aparatos de limpieza acceder a todas las balsas.

Con el fin de prevenir la erosión por el rompeolas y eventualmente las degradaciones debidas a los roedores, es útil encespar los ribazos antes de llenar con agua o utilizar losas autobloqueantes, geomallas o cualquier otro material de protección de los ribazos.

Se deben construir los diques por compactaciones sucesivas de capas de 15 a 20 cm, con el fin de asegurar un asentamiento homogéneo hasta el "corazón del relleno".

### Se debe realizar la compactación de la solera después de la de los diques.

La colocación de una geomembrana es posible pero presenta el inconveniente de aumentar el coste de inversión de la obra. En esta situación, la pendiente de los diques podrá ser más fuerte (hasta 1/1,5), la superficie total de las obras será así más pequeña.

Se deben prever conexiones de sifones entre las balsas con el fin de bloquear los hidrocarburos y las lentillas de agua.

Es preferible instalar un by-pass fijo en cada balsa para facilitar las operaciones de vaciado y de limpieza.

### El último piso de la realización consiste en llenar con agua clara muy rápidamente las diferentes balsas con el fin de mantener la permeabilidad obtenida, evitando cualquier riesgo de desecación de la obra, verificar la estanqueidad y favorecer la colocación del ecosistema.

Los malos olores pueden aparecer durante los cambios de estación (relacionados con el fenómeno de anaerobiosis) si el afluente presente en la primera laguna es demasiado concentrado. Se puede solucionar esta situación, haciendo recircular el agua de la primera balsa o diluyendo el efluente mediante un dispositivo de descarga sobre la red.

Con el fin de evitar las lagunas no estancas, es absolutamente necesario realizar previamente un estudio pedológico e hidrogeológico.

## Explotación

### El cuadro descrito a continuación detalla precisamente las tareas que se deben realizar

Tarea	Frecuencia	Observaciones
Vigilancia general – puntos controlados : <ul style="list-style-type: none"><li>● presencia de roedores ;</li><li>● obstrucción de las obras de comunicación ;</li><li>● desarrollo de las lentillas de agua ;</li><li>● buena escorrentía del agua ;</li><li>● ausencia de flotantes ;</li><li>● color del agua ;</li><li>● ausencia de olores ;</li><li>● estado de los diques.</li></ul>	1 / semana	Esta verificación debe realizarse mediante una visita del conjunto de los diques, método que tiene la ventaja de disuadir la instalación de los roedores.  Por otra parte, los métodos de <b>lucha contra las lentillas de agua</b> son o bien preventivos mediante la presencia de patos o bien curativas mediante la retirada de los vegetales (por madero flotante por ejemplo).
Mantenimiento de las obras de pretratamiento	1 / semana	Se trata de impedir la puesta en carga de la red o el by-pass de los efluentes y de evitar los malos olores;
Siega de los diques y de los ribazos y de la cintura vegetal (o pasto para corderos)	De 2 a 4 / año	El reto es mantener el acceso a las balsas de agua, limitar la instalación de roedores y el desarrollo de larvas de insectos y controlar el estado de los ribazos.
Limpieza parcial del cono de sedimentación (entrada de la primera balsa)	1 o 2 / año	Debe realizarse por bombeo líquido.
Limpieza de las balsas	Cada 5 a 10 años, según la carga realmente recibida para la primera balsa, cada 20 años para las balsas siguientes	Debe realizarse cuando el volumen de lodo alcance el 30% del volumen de la balsa. Dos métodos de limpieza se utilizan habitualmente: <ul style="list-style-type: none"><li>● mediante maquinarias de obra, después de vaciar la balsa. Esto implica la presencia de un by-pass fijo en cada balsa ;</li><li>● por bombeo, sin vaciado previo, operación llamada "vaciado bajo agua".</li></ul>

## Rendimientos

Los rendimientos, calculados sobre los flujos de materia orgánica, alcanzan más del 75 %, lo que corresponde a una concentración en DQO filtrada de 125 mg/l. Además, el caudal, y, en consecuencia, el flujo de escape, se reduce frecuentemente en verano (-50%) debido a la evapotranspiración.

Las concentraciones en nitrógeno total a nivel del vertido son muy bajas en verano, pero pueden alcanzar varias decenas de mg/l (expresados en N) en invierno.

La reducción del fósforo es considerable en los primeros años (> 60%), luego disminuye para alcanzar un rendimiento nulo al cabo de 20 años aproximadamente. Esta reducción se debe a una liberación del fósforo desde el fango del fondo. Las condiciones iniciales serán restauradas gracias a la limpieza de las balsas (cuando el medio es sensible al fósforo, la limpieza debe realizarse cada 10 años y no cada 20 años).

La desinfección es importante, especialmente en verano. Este rendimiento está relacionado con el largo tiempo de estancia del efluente (del orden de 70 días para un tratamiento completo).

## Ventajas

- Una aportación de energía no es necesaria si el desnivel es favorable ;
- La explotación es sencilla pero si la limpieza global no se realiza en su fecha, el rendimiento de la laguna se reduce sensiblemente ;
- Elimina una gran parte de los nutrientes : fósforo y nitrógeno (en verano) ;
- Muy buena eliminación de los gérmenes patógenos en verano (4-5 logs), buena en invierno (3 logs) ;
- Se adapta bien a fuertes variaciones de carga hidráulica ;
- No hay obra "en duro", obra civil sencilla ;
- Buena integración en el paisaje ;
- Ausencia de ruido ambiental ;
- Los lodos de limpiezas están bien estabilizados (excepto los presentes al principio de la primera balsa) y fácil de espaciar sobre un suelo agrícola

## Inconvenientes técnicos

- Gran superficie ;
- Coste de inversión que dependen mucho de la naturaleza del subsuelo. En un terreno arenoso inestable, es preferible no utilizar este tipo de laguna ;
- Rendimiento inferior que en los procesos intensivos sobre la materia orgánica. Sin embargo, el vertido de materia orgánica se efectúa en forma de algas, lo que es menos nefasto que una materia orgánica disuelta para la oxigenación del medio río abajo. Sin embargo, este vertido es pequeño en verano (evapotranspiración), periodo más favorable para los ríos ;
- Calidad del vertido variable en función de la estación.

## ▲ *Lagunas de macrofitas*

Las **lagunas de macrofitas** reproducen las zonas húmedas naturales que incluyen una **capa de agua libre**, a la vez que intenta valorizar los intereses de los ecosistemas naturales. Se utilizan poco en Europa, pero están frecuentemente realizadas para los tratamientos terciarios después de un lagunaje natural, de lagunas opcionales o de lagunaje aireado en los Estados- Unidos. Se utiliza generalmente esta técnica con el fin de mejorar el tratamiento (en los parámetros DBO5 o MES) o de afinarlo (nutrientes, metales,...). **Sin embargo, el uso de una laguna de acabado con microfitas permitirá obtener mejores rendimientos y será más cómodo de mantener.**

## ▲ *Lagunaje aireado*

### Principio de funcionamiento

#### Descripción general

La oxigenación es, en el caso del lagunaje aireado, aportada mecánicamente por un aireador de superficie o una insuflación de aire. Este principio se diferencia por la ausencia de la extracción continua o reciclado de lodos. El consumo de energía de las dos técnicas es, a capacidad equivalente, similar (1,8 a 2 kW/kg de DBO<sub>5</sub> eliminada).

#### Grandes mecanismos utilizados

En la **etapa de aireación**, las aguas a tratar están en presencia de microorganismos que van a consumir y asimilar los nutrientes constituidos por la contaminación a eliminar. Estos microorganismos son principalmente bacterias y hongos (comparables a los que están presentes en las estaciones de lodos activados).

En la **etapa de decantación**, las materias en suspensión que son los montones de microorganismos y de partículas aprisionadas, decantan para formar los lodos. Estos lodos están bombeados regularmente o retirados de la balsa cuando constituyen un volumen demasiado importante. Este piso de decantación está constituido de una simple laguna de decantación, o incluso, lo cual es preferible, por dos balsas que es posible de derivar por separado para proceder a su limpieza.

En lagunaje aireado, la población bacteriana sin recirculación conduce :

- ➔ a una pequeña densidad de bacterias y a un elevado tiempo de tratamiento, para obtener el nivel de calidad requerido ;
- ➔ a una floculación poco importante de las bacterias, lo que conlleva el implantar una laguna de decantación de dimensiones grandes.

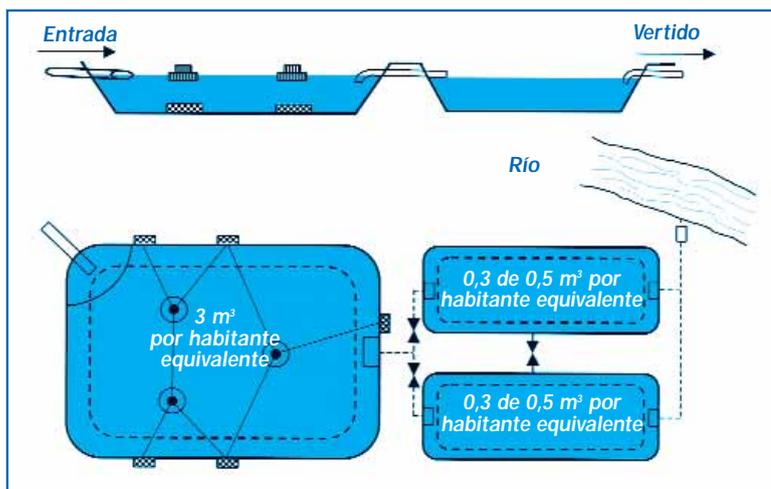


Figura n° 15 : Esquema de principio de un lagunaje aireado (según Agences Financières de bassin, CTGREF – 1979)

### Bases del dimensionado

#### Selección de los terrenos

Se debe prever una superficie incluida entre 1,5 a 3 m<sup>2</sup> por usuario.

#### Laguna de aireación

#### Cuadro n° 10 : Base del dimensionado para las lagunas airadas

Parámetro	Base del dimensionado
Tiempo de estancia	20 días (tiempo de estancia que se reduce, en realidad, a una quincena de días después de unos años de funcionamiento debido al volumen ocupado por los sedimentos de materias en suspensión => por lo que no se debe intentar reducir este tiempo de estancia durante el diseño).
Volumen	3 m <sup>3</sup> por habitante equivalente .
Profundidad	2 a 3,50 m con aireadores de superficie (las turbinas rápidas de 4 kW corresponde a profundidades del orden de 2,5 m, las de 5,5 kW se utilizan con profundidades de entre 2,5 y 3m) > 4,00 m posible con insuflación de aire
Forma de la balsa	un cuadrado alrededor de cada aireador
Potencia específica de aireación	Las necesidades de oxígeno son del orden de 2 Kg O <sub>2</sub> / kg DBO <sub>5</sub> . Para limitar las sedimentaciones a un volumen que no perturben el tratamiento y, por otra parte, prevenir la formación de algas microscópicas, es necesario sobredimensionar los aireadores y utilizar una potencia incluida entre 5 y 6 W / m <sup>3</sup> . En funcionamiento, siempre se puede reducir el tiempo de funcionamiento de estos reactores con respecto a los tiempos de marcha de los aireadores de menos potencia, lo que permite limitar los costes adicionales de funcionamiento.

## Laguna de decantación

### Cuadro nº 11 : Base del dimensionado para la laguna de decantación

Parámetro	Base del dimensionado
volumen	0,6 a 1 m <sup>3</sup> por habitante equivalente
profundidad	2 a 3 m con aireadores de superficie
Forma de la balsa	rectangular con una relación anchura / longitud igual a 2/1 o 3/1
Profundidad	2 m con el fin de dejar un metro de agua libre antes de retirar los lodos.

El uso de dos lagunas de decantación que poseen un tiempo de estancia de 4 días (0,6 m<sup>3</sup>/EH x 2) y que funcionan en alternancia facilita la extracción de los lodos, que debe realizarse cada dos años.

#### Implantación

A diferencia del lagunaje natural, la estanqueidad mediante geomembrana será privilegiada con el fin de limitar los riesgos de degradación de los ribazos por el fuerte oleaje del agua en movimiento. En caso de realización de una estanqueidad natural, es conveniente instalar sobre los ribazos materiales que aseguren una protección contra el oleaje (hormigón proyectado, reja + plantación de juncos). El periodo de vida de la obra está en juego.

Cualquiera que sea el modo de construcción elegido, losas de hormigón completan la protección contra los socavados en la vertical de la turbina.

#### Explotación

Las diferentes tareas de conservación y de mantenimientos se describen en el cuadro a continuación :

### Cuadro nº 12 : Explotación de las lagunas aireadas

Tarea	Frecuencia	Observaciones
Limpieza de las instalaciones de pretratamientos (desbaste + tabique con forma de sifón)	1 / semana	/
Inspección general de las balsas	1 / semana	/
Extracción de los lodos de las lagunas de decantación	1 vez cada dos años en carga nominal	El primer vaciado sólo es necesario después de 3 o 4 años de funcionamiento.
Regulación, programación de la aireación	2 / año	Operación con mayor complejidad que necesita varias semanas después de cada programación y verificación del nuevo equilibrio biológico en la balsa.
Segado, siega	De 2 a 5 / año	/
Verificación y medida de los contadores	1 / semana	/
Registro del cuaderno de instrumentos	1 / semana	/

#### Rendimientos

El nivel de calidad del efluente es bueno en cuanto a la materia orgánica : más del 80% de reducción. Para los nutrientes, la eliminación queda limitada a la asimilación bacteriana y se mantiene a un nivel del orden del 25-30%.

La técnica se presta fácilmente a la aportación complementaria de adyuvantes físico-químicos con el fin de eliminar los ortofosfatos.

#### Ventajas técnicas

Este proceso es especialmente tolerante a numerosos factores que generan, en general, serias disfunciones en los procesos de depuración clásicos :

- variación de cargas hidráulicas y/o orgánicas importantes ;
- efluentes muy concentrados ;
- efluentes desequilibrados en nutrientes (causa de abundancia filamentosa en lodos activados) ;
- tratamientos conjuntos de efluentes domésticos e industriales biodegradables ;
- buena integración en el paisaje ;
- lodos estabilizados.

#### Inconvenientes técnicos

- vertido de una calidad media sobre todos los parámetros ;
- presencia de materiales electromecánicos que necesitan un mantenimiento realizado por un agente especializado ;
- ruidos ambientales relacionados con la presencia de sistema de aireación ;
- fuerte consumo energético.

### *Sistemas combinados [asociación de técnicas extensivas (cultivos libres o fijos)]*

La asociación de varios sistemas naturales, en cultivos libres o fijos, en serie o en paralelo, es a veces implantada para permitir adaptar el tratamiento a un objetivo específico (calidad del vertido, integración de las aguas de lluvia, afluente particular...).

En el tratamiento principal, las experiencias son todavía muy raras y sus rendimientos reales difíciles de evaluar. Algunos estudios (Radoux M. y al - 2000) sobre MHEA, (Mosaicos Jerarquizados de Ecosistemas Artificiales) muestran potencialidades interesantes sin definir bases escritas de dimensionado.

El uso de filtros verticales y horizontales en serie parece ser una solución interesante para permitir un tratamiento más a fondo del nitrógeno y del fósforo según el tipo de soporte utilizado (Cooper - 1999). Un primer piso de filtros verticales permite una buena reducción de las MES, de la DBO5 así como una nitrificación casi completa. Un segundo piso de filtros horizontales afina el tratamiento sobre las MES y la DBO5, y permite una desnitrificación así como una adsorción del fósforo si el soporte elegido incluye buenas características (Fe, Al, Ca).

Configuraciones más complejas son frecuentemente utilizadas para afinar los tratamientos secundarios o terciarios. Después de los tratamientos de tipo laguna aireada o lagunaje natural, las lagunas de macrofitas emergentes permitirían liberarse del riesgo de vertidos temporales de calidad mediocre.

Se utilizan frecuentemente sistemas de lagunas facultativas seguidas por lagunas de macrofitas emergentes para el tratamiento de las aguas de lluvia (Strecker y al - 1992).

Cuando la gama de población alcanza un valor cercano a 4.000 h.e., conviene comparar correctamente los costes de inversión y de gestión con los de los procesos reputados más intensivos. Las condiciones de gestión relacionadas con superficies importantes no son despreciables.

Una multitud de configuraciones es posible según la voluntad de reproducir los diversos sistemas naturales de zona húmeda. Sin embargo, hay que pensar que el crecimiento de la complejidad de una estación de depuración de este tipo se realiza en detrimento de su simplicidad de gestión, que es lo que se está buscando. Además, el estado actual de los conocimientos científicos sobre el funcionamiento de las zonas húmedas nos incita frecuentemente a intentar simplificar la configuración con el fin de controlar mejor la depuración.

# CONCLUSIONES : ELEMENTOS PARA ELEGIR UNA TÉCNICA

## Resumen de las diferentes técnicas ←

Las técnicas de depuración que responden a la terminología de "técnicas extensivas" están resumidas en el cuadro descrito a continuación, que presenta para algunas técnicas la necesidad de un tratamiento primario (ver glosario) río arriba y para las otras, el uso exclusivo en tratamiento de acabado (o terciario).

**Cuadro nº13 : las técnicas de depuración extensivas**

Técnica Clásica	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
Infiltración-percolación	Decantador digestor	Infiltración-percolación	
Filtros plantados de flujo vertical	Filtros plantados de flujo vertical ( 1er piso), filtros plantados de flujo vertical ( 2º piso)		
Filtros plantados de flujo horizontal	Decantador digestor	Filtros plantados de flujo horizontal	
Lagunaje natural	1ª balsa de lagunaje, 2ª balsa de lagunaje, 3ª balsa de lagunaje		
Lagunaje de macrofitas	Desaconsejado	Desaconsejado	Una o varias balsas
Lagunaje aireado	Laguna aireada + laguna de decantación		Laguna de acabado
Sistemas mixtos,  por ejemplo...	1ª balsa de lagunaje, 2º balsa de lagunaje	Infiltration -	Infiltración-percolación
	Laguna aireada + laguna de decantación		Infiltración-percolación
	Filtros plantados de flujo vertical + Filtros plantados de flujo horizontal		

La mayoría de ellas aseguran una eliminación no despreciable de uno de los parámetros característicos del tratamiento terciario (nitrógeno, fósforo o gérmenes testigos de la contaminación fecal) según los niveles variables y descritos a continuación en el cuadro 14.

## Calidad de los vertidos ←

La eficacia de las técnicas extensivas según los parámetros aparece a continuación :

**Cuadro nº14 : Eficacia de las técnicas extensivas según los parámetros**

Parámetros	Materia orgánica	N-NK	N Global	P total	Contaminación fecal
Infiltración percolación	Sí	Sí	No	No	Si dimensionado específico
Filtros plantados de flujo vertical	Sí	Sí	No	No	No
Filtros plantados de flujo horizontal	Sí	Mala nitrificación	Buena desnitrificación	No	No
Lagunaje natural	Medio	Sí	Sí	Sí, los primeros años	Sí
Lagunaje de macrofitas	Medio	Sí	Sí	Sí, los primeros años	Sí
Lagunaje aireado	Medio	Medio	No	No	No

## → Ventajas e inconvenientes : recapitulación

Puesto que la elección se realizará en función de las ventajas y de los inconvenientes de las diferentes técnicas, se presenta un cuadro recapitulativo de ellas.

**Cuadro nº15 : Recapitulación de las ventajas e inconvenientes de las técnicas extensivas**

Técnica	Ventajas	Inconvenientes
La Infiltración percolación sobre arena	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Excelentes resultados con la DBO<sub>5</sub>, la DCO, las MES y nitrificación a fondo ;</li> <li>● Superficie necesaria menor que para un lagunaje natural ;</li> <li>● Capacidad de descontaminación inter-esante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Necesidad de una obra de decantación primaria eficaz ;</li> <li>● Riesgo de atasco a gestionar ;</li> <li>● Necesidad de disponer de grandes cantidades de arena ;</li> <li>● Adaptación limitada a las sobrecargas hidráulicas.</li> </ul>
Los filtros plantados de flujo vertical	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Facilidad y pequeño coste de explotación. Ningún consumo energético si la topografía lo permite ;</li> <li>● Tratamiento de las aguas residuales domésticas brutas ;</li> <li>● Gestión reducida al mínimo de las sedimentaciones orgánicas retenidas en los filtros del 1er piso ;</li> <li>● Buena adaptación a las variaciones estacionales de población.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Explotación regular, segado anual de la parte aérea de las cañas, deshierba manual antes del predominio de las cañas ;</li> <li>● El uso de esta técnica para capacidades superiores a 2 000 h.e. sigue siendo muy delicado debido a la dificultad de controlar la parte hidráulica y además es necesario considerar el coste respecto a las técnicas clásicas ;</li> <li>● Riesgo de presencia de insectos o de roedores ;</li> </ul>
Filtros plantados de cañas de flujo horizontal	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bajo consumo energético ;</li> <li>● No hay ruido ambiental y buena integración en el paisaje ;</li> <li>● No necesidad de cualificación especial para el mantenimiento ;</li> <li>● Buena reacción a las variaciones de carga.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Superficie importante, accesos incluidos. Esta es del orden de 10 m<sup>2</sup>/h.e. (equivalente a la superficie de una laguna natural).</li> <li>● Una instalación para tamaños de 2000 a 15 000 h.e. puede ser factible si se realiza una reflexión profunda sobre las condiciones de adaptación de las bases del dimensionado y las condiciones a respetar para asegurar el control de la parte hidráulica</li> </ul>
Lagunaje natural	<ul style="list-style-type: none"> <li>● La aportación de energía no es necesaria si el desnivel es favorable ;</li> <li>● La explotación es ligera, pero si la limpieza global no se realiza a tiempo, el rendimiento de la laguna se reduce sensiblemente ;</li> <li>● Elimina una gran parte de los nutrientes : fósforo y nitrógeno (en verano).</li> <li>● Buena eliminación de los gérmenes patógenos en verano ;</li> <li>● Se adapte bien a fuertes variaciones de carga hidráulica ;</li> <li>● No hay construcción "en duro", obra civil sencilla ;</li> <li>● Buena integración en el paisaje ;</li> <li>● Ausencia de ruido ambiental ;</li> <li>● Los lodos procedentes de limpieza están bien estabilizados excepto los presentes al principio de la primera balsa.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Superficie importante (10 m<sup>2</sup>/h.e.) ;</li> <li>● Coste de inversión que depende mucho de la naturaleza del subsuelo. En un terreno arenoso o inestable, es preferible no utilizar este tipo de laguna ;</li> <li>● Rendimiento inferior que con los procesos intensivos sobre la materia orgánica. Sin embargo, el vertido de materia orgánica se efectúa en forma de algas ; lo que es menos perjudicial que una materia orgánica disuelta para la oxigenación del medio río abajo ;</li> <li>● Calidad del vertido variable según las estaciones ;</li> <li>● El control del equilibrio biológico y de los procesos depuratorios queda limitado.</li> </ul>
Lagunaje aireado	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Tolerante a variaciones de cargas hidráulicas y/o orgánicas importantes ;</li> <li>● Tolerante a los efluentes muy concentrados ;</li> <li>● Tolerante a los efluentes desequilibrados en nutrientes (causa de abundancia filamentosa en lodos activados) ;</li> <li>● Tratamiento conjunto de efluentes domésticos e industriales biodegradables.</li> <li>● Buena integración en el paisaje ;</li> <li>● Lodos estabilizados.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Vertido de una calidad media para todos los parámetros ;</li> <li>● Presencia de materiales electromecánicos que necesita el mantenimiento por un agente especializado ;</li> <li>● Ruidos ambientales relacionados con la presencia de sistema de aireación ;</li> <li>● Fuerte consumo energético.</li> </ul>

## La importancia del factor climático ←

La adecuación de las diferentes características de cada técnica a cada contexto local es el factor que debe guiar a la persona responsable de esta elección. En este marco, la adaptabilidad de las técnicas a las condiciones climáticas debe ser estudiada detalladamente.

Los filtros verticales pueden soportar periodos de heladas sin reducción importante de la calidad del tratamiento. Sin embargo, siendo la alimentación alternada, largos periodos de heladas sin protección térmica por la nieve, pueden comprometer el funcionamiento hidráulico del filtro y, por consiguiente, el tratamiento. Un aislamiento con pajas puede evitar una helada excesiva (Wallace y al – 2000, Brix – 1998). Cabe indicar como ejemplo, el caso de Dinamarca, donde, sin embargo, no se constata ninguna diferencia de rendimiento entre estaciones, en numerosos sitios.

Los filtros horizontales soportan fácilmente largos periodos de heladas. Varios factores permiten aislar térmicamente las aguas de las temperaturas exteriores : la nieve, las cañas segadas mantenidas en la superficie y, para periodos críticos de heladas, la capa de aire bloqueada bajo la capa de hielo formada en la superficie del filtro. Los rendimientos pueden ser, sin embargo, inferiores que durante el periodo estival. Para los climas extremos, conviene tener en cuenta un factor de seguridad en el momento del dimensionado.

Los sistemas de lagunas de macrofitas son sensibles a las condiciones de temperatura del agua. La cinética de degradación se reduce cuando bajan las temperaturas. En cuanto a las lagunas de microfitas, la fotosíntesis puede seguir realizándose por debajo de uno o dos centímetros de hielo.

En el dimensionado de las lagunas de macrofitas, la constante de degradación es función de la temperatura. Sin embargo, la variabilidad de los caudales y de las concentraciones en función de las estaciones hace difícil la interpretación del impacto de la temperatura. El ciclo del nitrógeno es más sensible a los efectos de la temperatura. Los efectos sobre la DBO5 son curiosamente menos evidentes y provocan numerosos debates (Kadlec, R.H. y al – 2000). Por el contrario, las MES no están afectadas por la temperatura.

El tiempo de retención en las balsas varía en función de las condiciones climáticas y, por consiguiente, afecta indirectamente los rendimientos esperados. La fuerte evapotranspiración que se produce durante las estaciones calientes pueden aumentar considerablemente el tiempo de retención y, por consiguiente, el rendimiento. La helada de una capa de agua superior en invierno, por el contrario, reduce el tiempo de retención.

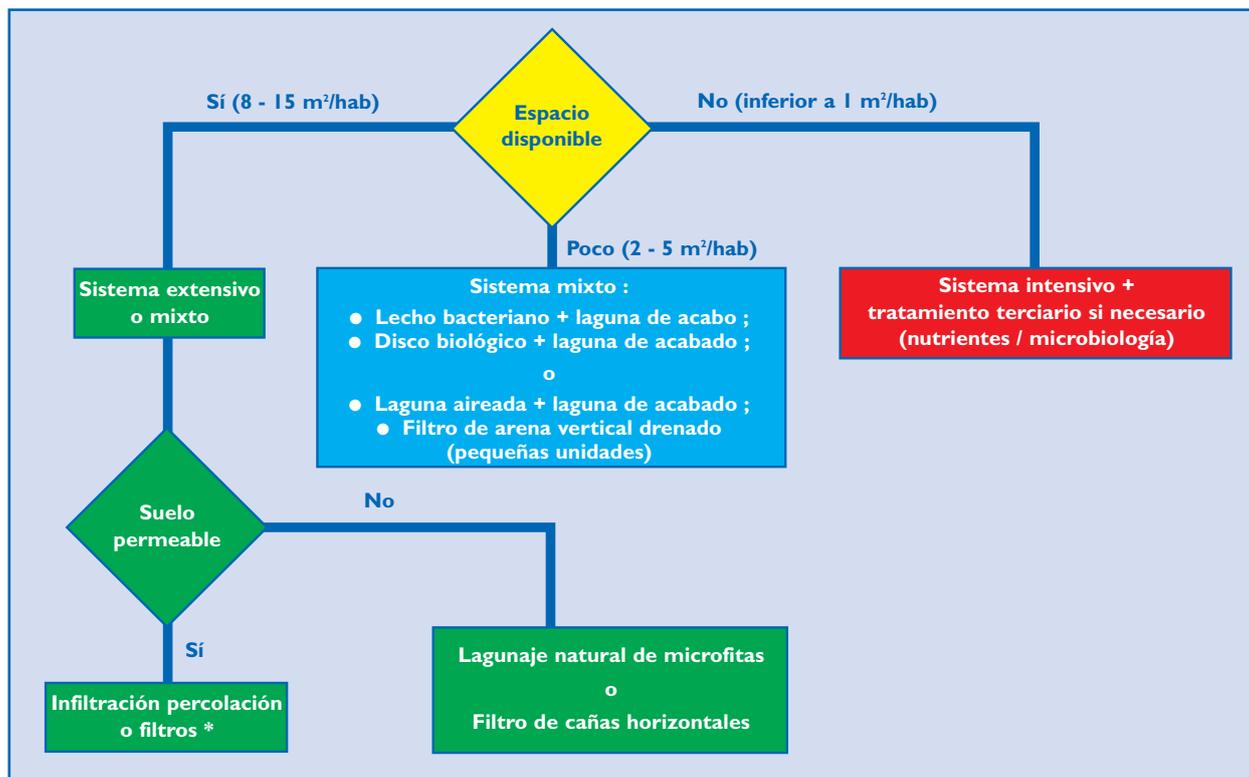
Se debe evitar la implantación de lagunas aireadas en zonas climáticas de frío extremo.

Cualquiera que sea la técnica elegida, en los climas extremos, convendrá tener en cuenta un factor de seguridad a nivel de dimensionamiento. Se debe realizar un trabajo complementario para determinar más precisamente estos factores de forma más precisa.

En realidad, es el espacio disponible y la permeabilidad del suelo, más que el clima, los principales factores determinantes.

## Árbol de decisión ←

Proponemos el árbol de decisión siguiente para la elección de una técnica de depuración.



\* filtro vertical si se busca la eliminación del  $\text{NH}_4^+$  y de los gérmenes (no hay acción sobre  $\text{NO}_3^-$ ) ; filtro vertical + filtro horizontal o filtro horizontal si se desea la desnitrificación. El riesgo de una concentración elevada en  $\text{NH}_4^+$  a nivel del vertido es entonces más importante.

Figura nº 16 : Árbol de decisión (Jean Duchemin – Comisión Europea - 2001)

## → Los costes

Los datos del cuadro descrito a continuación proceden de experiencias francesas y son, ante todo, válidos y validados para esta zona geográfica.

**Cuadro nº16 : costes (en EURO) para una estación de 1000 habitantes**  
(fuente : documento técnico FNDAE nº22 – 1998)

	Lodos activados	Lechos bacterianos	Discos biológicos	Lagunas aireadas	Lagunas naturales	Decantador digestor + infiltración percolación	Decantador digestor + lecho plantado de cañas
Inversión	230.000 (± 30 %)	180.000 (± 50 %)	220.000 (± 45 %)	130.000 (± 50 %)	120.000 (± 60 %)	190.000 (± 50 %)	190.000 (± 35 %)
Funcionamiento (cuya energía) => Coste anual en EURO/año	11.500	7.000	7.000	6.500	4.500	6.000	5.500

Otra fuente proporciona costes sensiblemente diferentes para los procesos intensivos ya que el coste de inversión tanto para los lodos activados como para los lechos bacterianos se sitúan en aproximadamente 155.000 EURO (ver Agencia del Agua Seine-Normandie – 1999). Sin embargo, estas últimas cifras proceden de datos transmitidos por los constructores, mientras que los datos del cuadro descrito anteriormente proceden de encuestas sobre el terreno en las cuales los costes de 10 a 15 estaciones de una misma técnica fueron comparados y analizados.

Una tercera fuente (ver Alexandre O, Grand d'Esnon – 1998), proporciona cifras para una estación de depuración de un tamaño incluido entre 2.000 h.e. y 15.000 h.e., de tipo aireación prolongada con tratamiento del nitrógeno y eventualmente del fósforo. La construcción de este tipo de estación es, después de una licitación realizada con éxito, de 120-140 EURO (Tasas no incluidas)/h.e. La operación global que incluye la Dirección de Obra, los diferentes estudios preliminares, los trámites de autorización de vertido, los estudios de valorización de los lodos y residuos son aproximadamente de 150 EURO (Tasas no incluidas)/EH. Si se utiliza la hipótesis de un sobredimensionado normal de 15 a 20 %, una estación de depuración de una capacidad incluida entre 2.000 y 15.000 h.e. cuesta 185 EURO (Tasas no incluidas)/h.e. La obra civil evaluada a 92,5 EURO /h.e. se amortiza en 20 años. La parte electromecánica evaluada a 92,5 EURO /h.e. se amortiza en 12 años.

Las cifras, en los ejemplos citados anteriormente, pueden variar sensiblemente según las fuentes, mientras que el objeto estudiado sigue siendo el mismo (construcción de una estación en Francia). Esto confirma que la realización de una comparación de los costes entre las diferentes técnicas extensivas a nivel europeo es muy delicada. Diferentes estudios permiten afirmar que las estaciones de depuración alemanas cuestan, para una capacidad idéntica, 20 a 25 % más cara que en Francia debido al coste de la construcción, del material utilizado y de los factores de seguridad utilizados (ver Berland J.M., 1994). En cambio, los costes de las estaciones en Grecia o en Portugal serán menos elevados que en Francia, debido a un coste de la construcción inferior. Por otra parte, el contexto local puede inducir diferentes costes adicionales a nivel de la inversión (nivelación en una zona de granito, suelo permeable que obliga a la colocación de geomembrana, ausencia de arena próxima...). Por lo que enumerar normas en este campo se revela como una operación arriesgada.

En cambio, se puede afirmar que la explotación de las diferentes técnicas extensivas es más ligera y, por consiguiente, menos costosa que la de las técnicas intensivas especialmente en cuanto al coste energético y al coste generado por la gestión de los lodos. La gran ventaja de estas técnicas es que, además, no necesitan mano de obra especializada. Sin embargo, no se debe, en ningún caso, despreciar estas tareas so pena de ver los rendimientos de la instalación reducirse de manera vertiginosa (ver cuadro 15).

Globalmente, el uso de procesos extensivos debería permitir, para una capacidad idéntica, realizar un ahorro medio del 20 al 30% sobre los costes de inversión, y del 40 al 50% sobre los gastos de funcionamiento, con respecto a los sistemas de depuración intensivos.

## → Ventaja de los procesos extensivos : la integración en el paisaje

Las estaciones de depuración se construyen frecuentemente construidas en zonas periurbanas, habitualmente en las afueras. En estos lugares, el paisaje urbano puede ser objeto de críticas debido a la concentración del hábitat y de su aspecto a veces con demasiado "hormigón". En estos casos, al seleccionar una técnica extensiva que no presente ruidos ambientales y ofrezca calidades de integración en el paisaje, podrá ser percibida de una manera más positiva que si se tratase de una estación compacta clásica la cual puede representar una molestia adicional.

Además, las zonas húmedas (balsas, cañaverales) recreadas con estas técnicas atraen frecuentemente una fauna acuática interesante, que permite realizar acciones pedagógicas para estudiantes y habitantes de las zonas periféricas.



La laguna de Rochefort Sur Mer

## Infiltración-percolación ← *Un caso particular, la instalación de Mazagón (España)*

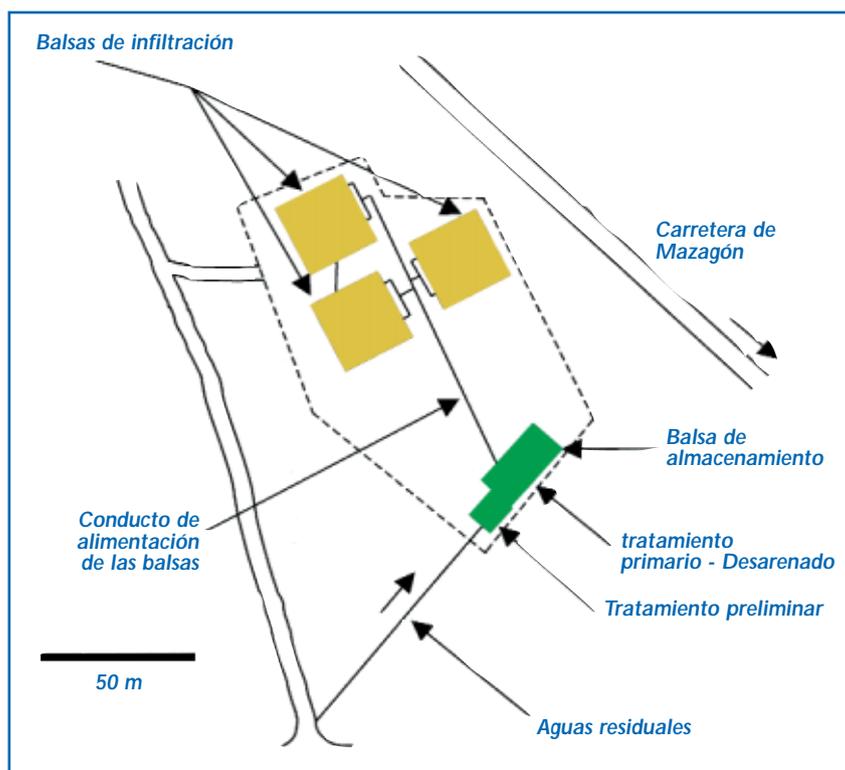
### ▲ Generalidades

La instalación trata las aguas residuales de Mazagón, pueblo turístico situado en la costa atlántica al sur de España. La población de este pueblo es de 850 habitantes en invierno y aumenta de forma importante en verano para alcanzar 20.000 h.e. La estación de depuración piloto sólo trata una parte de esta contaminación y ha sido diseñada para una capacidad media de 1.700 h.e.

Cabe destacar que sólo se desea aquí una depuración parcial, por lo que existe un subdimensionado con respecto al valor indicado por esta guía ( $1,5 \text{ m}^2 / \text{hab}$ ) el cual ha sido validado para un cierto número de instalaciones existentes.

### ▲ Descripción del proyecto

La instalación se compone de una unidad de desarenado de  $170 \text{ m}^3$ , de una balsa de almacenamiento y de tres pares de balsas de infiltración presentes en las dunas. Cada unidad de infiltración presenta una superficie de  $200 \text{ m}^2$ . Se trata de un sistema no drenado. La capa freática se sitúa entre 5,1 metros y 6,6 metros de profundidad según las balsas.



**Figura nº 17 :**  
**Esquema de la instalación**  
(V. Mottier, F. Brissaud, P. Nieto  
and Z. Alamy – 2000)

Aproximadamente  $100 \text{ m}^3$  de aguas residuales se esparcen en una suelta. Cada secuencia se realiza sobre dos balsas de infiltración. Las sueltas se activan mediante válvulas manuales. Una secuencia de alimentación de aguas residuales de una unidad de infiltración dura entre 40 y 50 minutos, lo que corresponde a un caudal de  $130 \text{ m}^3/\text{h}$ . Hay una sola suelta por día y por unidad de infiltración.

Los efluentes se reparten en los filtros de arena mediante canaletas de repartición (conductos perforados).

Las tomas para muestreo fueron realizadas a 30, 60, 100, 150 y 200 centímetros de profundidad mediante trampillas construidas para este seguimiento.



La instalación de Mazagón  
(España)

## ▲ Resultados

Cabe destacar que el afluente no se reparte sobre la superficie de infiltración de manera homogénea. La mitad de la superficie está inundada después de cinco minutos de distribución de los afluentes, 75 % a los 12 minutos y 90 % después de 21 minutos.

Se observa una heterogeneidad similar al final de la alimentación. Este inconveniente se debe a :

- una distribución no uniforme por las canalizaciones ;
- una alimentación larga en comparación con la superficie de infiltración y la permeabilidad de la arena ;
- desigualdades de altura a nivel de la superficie de infiltración, a pesar de frecuentes rastrillajes.

El resultado es una importante heterogeneidad de la carga efectivamente aplicada a nivel de superficie de la parcela de infiltración.

95 % del volumen de la suelta ha superado dos metros de profundidad dos horas después del inicio de la alimentación. La velocidad de percolación está incluida entre 1,1 y 2 m/h.

## ▲ Rendimientos

### Parámetros químicos clásicos

Los rendimientos medidos sobre los diferentes parámetros químicos clásicos son los siguientes :

**Tableau 17 : Performances de l'installation**

<b>Rendimiento en primavera (1993) – valor medio sobre cuatro sueltas</b>				
	DQ (mgO <sub>2</sub> /l)	NH <sub>4</sub> (mgN/l)	NO <sub>2</sub> (mgN/l)	NO <sub>3</sub> (mgN/l)
Afluente	279	31,5	0,02	2,3
Agua depurada	36	0,5	0,08	28,2
Rendimiento de depuración	87 %	98 %		
<b>Rendimientos en verano (1993) – valor medio sobre tres sueltas</b>				
Afluente	408	53,8	0,02	3,0
Agua depurada	35	0,3	0,14	32,4
Rendimiento de depuración	91 %	99 %		

La DQ ha sido reducida en un 90 % y más del 98% de N-NH<sub>4</sub> ha sido oxidado. Por consiguiente, los rendimientos con la DQ y NH<sub>3</sub> son excelentes. Sin embargo, estos datos proceden de una sola campaña de recogida que ha durado cinco meses (de marzo hasta agosto de 1993), lo que no permite verificar la conservación de los rendimientos a largo plazo.

### La desinfección

Los rendimientos relacionados con la desinfección fueron medidos sobre los coliformes totales, los coliformes fecales y los estreptococos fecales. Las medias fueron realizadas a partir de las mediciones efectuadas sobre siete secuencias.

La tasa de reducción está expresada de la forma siguiente :

$$\Delta m = \log (C_i/C_0)$$

El resultado está expresado en unidades log (U log).

con  $C_i$  = número de microorganismos en el efluente  
 $C_0$  = nombre de micro-organismes dans l'eau épurée

Esta tasa de reducción es de 1,2 U log para los coliformes totales, 1,6 U log para los coliformes fecales y 1,3 U log para los estreptococos fecales.

Por consiguiente, la desinfección es mediocre para un proceso de infiltración sobre arena. Esto se debe principalmente a la granulometría de la arena utilizada que es relativamente grosera y a su irregularidad. Los rendimientos sobre este tipo de parámetro son incluso inferiores que los alcanzados por las técnicas compactas "clásicas" (todos activados, lechos bacterianos...).

## ▲ Referencias bibliográficas relacionadas con la infiltración percolación de Mazagón (España)

V. Mottier, F. Brissaud, P. Nieto and Z. Alamy - 2000 wastewater treatment by infiltration percolation: a case study, in Water Science and Technology, Vol. 41, P.P. 77-84.

## Infiltración percolación : una instalación clásica : el caso de Souillac Paille- Basse (Francia – Departamento del Lot)

### ▲ Generalidades

El objetivo de la depuración es la protección del acuífero cárstico. La población abastecida en el momento de la medición de los rendimientos (1993) era de 900 h.e. y era principalmente estacional.

La red de saneamiento es una red separativa y el caudal diario es de 100 m<sup>3</sup> / d de caudal de punta.

### ▲ Descripción del proyecto

La instalación se compone de la forma siguiente :

- Pretratamiento : bomba de desmenuzamiento;
- Decantador digestor (capacidad : 1.200 h.e.) ;
- Alimentación : por sueltas del 17 o 34 m<sup>3</sup>, según la capacidad de la balsa en servicio :
  - alimentación por bombeo a 40 m<sup>3</sup>/h. Las bombas están pilotadas por flotadores ;
  - la distribución entre las balsas está pilotada manualmente ;
  - la repartición sobre las balsas ha sido sucesivamente la siguiente :
    - configuración inicial : 3 puntos de alimentación por balsa, con equirrepartición por vertido ;
    - configuración definitiva : 2 puntos de alimentación por sub-balsa.
- Balsas :
  - configuración inicial : 2 balsas de 400 m<sup>2</sup> cada una ;
  - configuración definitiva : compartimiento de las balsas en subunidades de 130 o 200 m<sup>2</sup>.
- Macizo filtrante :
  - Arena añadida (d<sub>10</sub> = 0,21 mm ; coeficiente de uniformidad = 2,4), espesor : 0,80 m ;
  - Capa drenante : 20 a 40 cm de grava.
- Vertido : infiltrado in situ hacia la capa freática.
- Funcionamiento :
  - Alimentación por sueltas de 0,13 m o 0,26 m en la configuración inicial y de 0,085 m o 0,17 m en la configuración definitiva ;
  - La duración de los periodos de funcionamiento es extremadamente variable, de 1 día a un mes aproximadamente. En general una sola balsa está en servicio ;
  - Lamina de agua cotidiana sobre la balsa en funcionamiento : h = 50 cm / d.

### ▲ Rendimientos

**Cuadro 18 : Rendimientos de la instalación**

	Efluentes decantados	Efluentes de percolación
MES (mg/l)	117	20 à 36
DCO (mg/l)	580	201 à 282
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	263	54 à 120
NTK (mg/l)	112	53 à 75
N-NO <sub>3</sub> (mg/l N)	< 1	70* à 1
Coliformes fecales / 100 ml	2.10 <sup>7</sup>	6.10 <sup>6</sup> à 2.10 <sup>7</sup>

\* media influida por algunos valores excepcionalmente elevados.

La carga contaminante de los efluentes decantados es tal que su oxidación sólo es posible con la condición de que se apliquen cargas hidráulicas diarias iguales como máximo a 15 cm/d. Como las cargas aplicadas son por lo menos 3 a 5 veces más elevadas, la oxidación es sólo parcial. La solución consistiría en cambiar de sub-balsa en cada nueva suelta ; para eso serán necesarios equipos más sofisticados (válvulas motorizadas maniobradas a distancia).

Las cargas hidráulicas importantes incluso muy importantes para un pequeño espesor de macizo filtrante no permiten alcanzar un nivel de descontaminación elevado.

### ▲ Referencias bibliográficas relacionadas con la infiltración percolación de Souillac Paille-Basse

Brissaud F. - 1993, Epuration des eaux usées urbaines par infiltration percolation : état de l'art et études de cas, Etude Inter Agences n°9, Agences de l'Eau, Ministère de l'Environnement, Paris.

## → *Filtros plantados de flujo vertical, la experiencia de NEA Madytos – Modi (Grecia)*

### ▲ *Generalidades*

En 1991 a la iniciativa de la comunidad europea, un programa de evaluación de las estaciones de depuración de tipo filtros plantados de flujo vertical se inicia en Grecia sobre los municipios de NEA MADYTOS – MODI. El dimensionado ha sido realizado sobre la base de las experiencias inglesas (Montgomery Watson, University of Portsmouth, Camphill Water) y francesas (Sociedad de Ingeniería Naturaleza y Técnica, SINT) con el objetivo principal de demostrar :

- la eficacia del tratamiento con el mínimo equipo electromecánico ;
- la buena integración del proceso en su medio ambiente ;
- el desarrollo de un interés y de una responsabilización local del saneamiento ;
- la reducción de los costes de inversión y de mantenimiento ;
- la posibilidad de reutilización local de los lodos y del efluente tratado.

Esta estación es una de las mayores estaciones de tipo filtros plantados de flujo vertical existente en el mundo. Su capacidad es de 3500 habitantes equivalentes. Fue llenada con agua en junio de 1995 y fue objeto de un seguimiento del funcionamiento y de los rendimientos sobre 2 años, lo que no permite verificar la conservación de los rendimientos a largo plazo.

### ▲ *Descripción del proyecto*

La totalidad del flujo pasa por un desbaste automático que puede ser derivado hacia un desbaste manual.

#### **Tratamiento primario**

Dos tratamientos primarios diferentes fueron realizados con el fin de probar los rendimientos :

La técnica A recibe aproximadamente 2/3 del flujo en un decantador-digestor. Los lodos se envían sobre lechos de secado de los lodos (filtros verticales según Liénard y al – 1995).

La técnica B recibe aproximadamente 1/3 del flujo. Se compone de 4 filtros verticales dimensionados de 0,6 m<sup>2</sup>/h.e. o bien una superficie de 620 m<sup>2</sup>. Funcionan por dos en alternancia semanal.

#### **Tratamiento secundario**

Dos pisos de filtros verticales componen este piso.

Las aguas decantadas del flujo A se envían sobre un primer piso de 8 filtros verticales, por un sifón, de una superficie total de 1360 m<sup>2</sup> dimensionados a 0,6 m<sup>2</sup>/EH. 6 de los 8 filtros reciben las aguas simultáneamente y 2 están en reposo.

Las aguas del flujo B, procedentes del primer piso, se envían sobre 2 filtros dimensionados a 0,3 m<sup>2</sup>/EH para una superficie total de 340 m<sup>2</sup>. Funcionan en alternancia semanal.

El segundo piso recibe la totalidad de las aguas procedentes de las etapas anteriores. Se trata de 6 filtros verticales dimensionados a 0,35 m<sup>2</sup>/EH para una superficie total de 1170 m<sup>2</sup>. 4 están alimentados simultáneamente y 2 están en reposo.

El cuadro siguiente resume las características de los filtros :

**Cuadro 19 : Rendimientos de la instalación**

	<b>Flujo B Primer piso</b>	<b>Flujo B Segundo piso etapa 1</b>	<b>Flujo A Segundo piso etapa 1</b>	<b>Flujo A+B Segundo piso etapa 2</b>
Dimensionado (m <sup>2</sup> /EH)	0,6	0,3	0,6	0,35
Superficie total (m <sup>2</sup> )	620	340	1360	1170
Número de filtros	4	2	8	6
Superficie por filtros (m <sup>2</sup> )	(2x140) + (2x170)	170	170	195
<b>Altura de sustrato</b>				
Arena (m)	-	0,15	0,15	0,15
Grava fina (m)	0,70	0,60	0,60	0,60
Grava grosera (m)	0,10	0,10	0,10	0,10
Capa drenante (m)	0,15	0,15	0,15	0,15

#### **Tratamiento terciario**

Dos lagunas situadas río abajo de los filtros tienen por función reducir el número de organismos patógenos con el fin de poder reutilizar las aguas en irrigación. Las dos lagunas presentan características idénticas : o bien 1,5 m a 2m de profundidad para un volumen de almacenamiento total de 4500 a 7000 m<sup>3</sup>.

## ▲ *Implantación*

### **Estanqueidad**

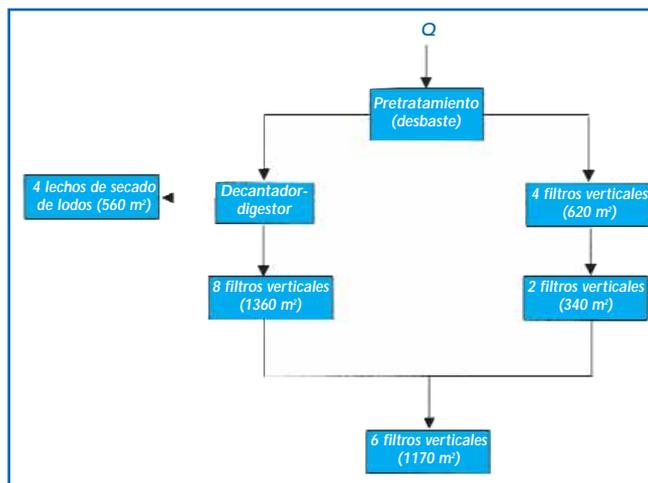
Como la permeabilidad del suelo no es la adecuada, se ha realizado una estanqueidad. El contexto económico griego hace que el hormigón sea más barato que una geomembrana en este caso.

### **Materiales**

Los diferentes materiales de guarnición (gravas lavadas, arenas, rodillos para el drenaje) fueron obtenidos en las proximidades.

## ▲ *Rendimientos*

Los rendimientos obtenidos en estos dos años de estudios muestran una importante degradación de la DBO<sub>5</sub>, de la DQO, de las MES así como una nitrificación activa.



**Figura nº 18 : Esquema de la técnica (Montgomery Watson – 1997)**

### **Cuadro nº20 :**

#### **Rendimientos medios de los dos años de estudio (Final report programme Life)**

Parámetros	Entrada	Salida Filtros Verticales	Valores mínimos
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	516	17	5,7
DCO (mg/l)	959	58	24,9
MES (mg/l)	497	5	1,1
NH <sub>4</sub> (mg/l)	80	4,7	0,75
N-NO <sub>3</sub> (mg/l)	2,6	44,9	24
P-PO <sub>4</sub> (mg/l)	66	44	18,8
Coliformes totales (cfu/100ml)	8,8.10 <sup>7</sup>	6,1.10 <sup>5</sup> (4,2.10 <sup>4</sup> en las lagunas)	689
Coliformes fecales (cfu/100ml)	2,3.10 <sup>7</sup>	2,1.10 <sup>5</sup> (8,6.10 <sup>3</sup> en las lagunas)	285

Más específicamente, para las diferentes etapas del proceso, podemos aportar los comentarios siguientes :

### **Tratamiento primario fosa Imhoff (A) y filtros verticales (B)**

Los rendimientos obtenidos con las técnicas A y B muestran el interés de la alimentación en aguas residuales brutas de los filtros verticales. Los rendimientos son del 74 hasta 90 % para las MES, del 50 hasta 80 % para la DBO<sub>5</sub> y del 12,5 hasta 37,5 % para el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> de media para los flujos A y B respectivamente. Funcionar sin instalación de decantación permite evitar los costes adicionales generados por la gestión de los lodos y en nuestro caso, la realización de lechos de secado de los lodos. Además, el efluente es correctamente oxigenado a la salida de los filtros, lo que es favorable para la continuación del tratamiento.

### **Tratamiento secundario, etapa 1**

La eficacia del tratamiento sobre la materia orgánica y las MES induce concentraciones de salida del orden de 20 mg/l para la DBO<sub>5</sub> y las MES. La concentración en O<sub>2</sub> disuelto aumenta en las dos técnicas, conservando la desviación inducida por la primera etapa.

### **Tratamiento secundario, etapa 2**

Los dos flujos están mezclados antes de esta etapa. La reducción de las MES y de la DBO<sub>5</sub> a niveles del orden de 5 a 10 mg/l se acompaña por una nitrificación casi completa (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> a 0). Se miden concentraciones del orden de 45 mg/l en N-NO<sub>3</sub>. Por consiguiente, la desnitrificación es menor ya que sólo se alcanza 40 %.

## ▲ *Conclusión*

La calidad del efluente en la salida de los pisos de filtros en cuanto a la DQO, DBO<sub>5</sub> y las MES cumple con las recomendaciones europeas (< 25 mg/l en DBO<sub>5</sub> y 35 mg/l en MES). La alimentación de aguas residuales brutas sobre un primer piso de filtros es preferible tanto por la calidad del tratamiento como por el coste de la inversión. Los filtros permiten una muy buena nitrificación. Variaciones de la calidad de tratamiento (Montgomery Watson – 1997) son inherentes a las variaciones de cargas, de temperaturas y de actividad fotosintética debidas a las estaciones. Sin embargo, los filtros desempeñan correctamente el papel de zona tampón y el vertido es de calidad casi constante durante todo el año. Este tipo de estación responde muy bien a las variaciones de cargas y de temperaturas.

## ▲ *Referencias bibliográficas relacionadas con los filtros plantados de flujo vertical de NEA Madytos – Modi (Grecia)*

Montgomery W., (1997), Demonstration project in the treatment of domestic wastewater with constructed wetlands. Stage II - Monitoring of Maintenance. Final report. LIFE95\UK\A13\GR\181\THE.

Liénard A., Duchène Ph., Gorini D. (1995), A study of activated sludge dewatering in experimental reed-planted or unplanted sludge drying beds. Wat. Sci. Tech., 32 (3), pp 251-261.

➔ **Sistema híbrido (filtros plantados de flujo vertical y filtros plantados de flujo horizontal): caso de Oaklands Park, Newnham-on-Severn, Gloucestershire (Reino Unido)**

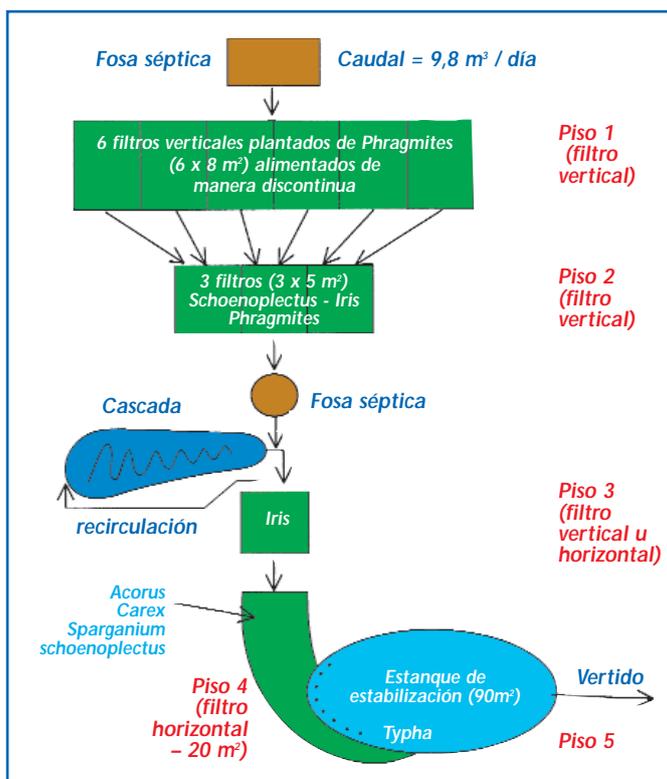
▲ **Generalidades**

El sistema híbrido ha sido construido en julio del 1989 para abastecer Camphill Village Trust en la periferia de Newnham en el estuario del río Severn (Inglaterra occidental). El movimiento de Camphill es una organización caritativa internacional que construye y gestiona centros de acogida y de vida para las personas desfavorecidas. Las comunidades de Camphill practican la agricultura biológica. Desde la construcción de este primer sistema en 1989, muchas otras instalaciones de este tipo fueron implantadas en otras comunidades de Camphill y organizaciones caritativas similares.

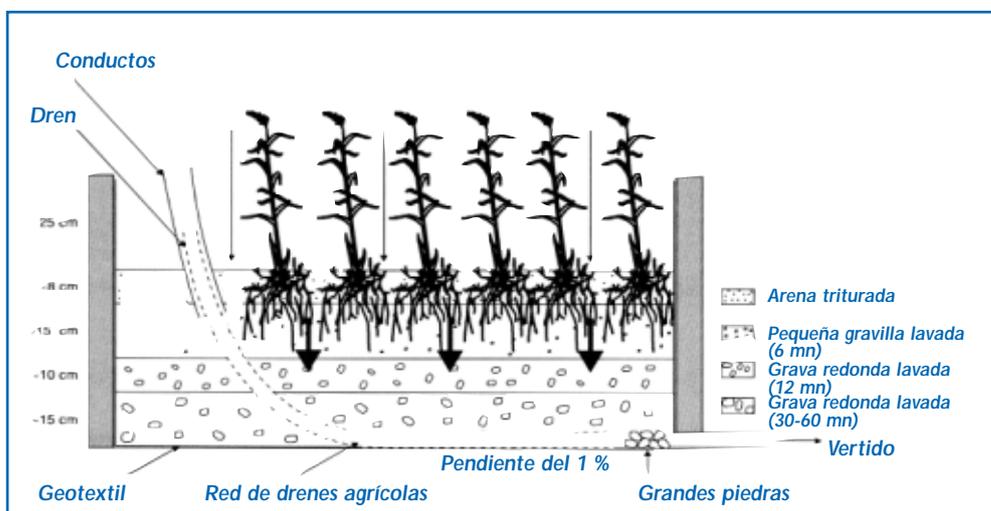
▲ **Descripción del proyecto**

El sistema de Oaklands Park ha sido inicialmente diseñado para abastecer 98 h.e. pero trata, en realidad, solamente los vertidos correspondientes a 65 h.e. El sistema que se puede observar en el esquema descrito a continuación presenta dos pisos de filtros verticales, alimentados con intermitencia, de una superficie total de 63 m<sup>2</sup> seguidos de dos pisos de filtros horizontales alimentados continuamente y que presentan una superficie total de 28m<sup>2</sup>. La superficie total utilizada es de solamente 1,4 m<sup>2</sup> / h.e. El esquema en corte a continuación muestra la estructura de los filtros verticales utilizados en el primer y segundo pisos.

Cada filtro vertical está alimentado durante 1 a 2 días y posteriormente dejado en reposo durante 10 días aproximadamente. Eso permite a los filtros desecarse entre las alimentaciones e impedir el atasco por la biomasa depuradora. La alimentación está controlada manualmente por los miembros de la comunidad. Los filtros horizontales están alimentados continuamente.



**Figura nº 19 : sistema mixto de Oakland Park (Cooper y al, 1996)**



**Figura nº 20 : Corte de los pisos de filtros verticales**

## ▲ Rendimientos

Se describe a continuación una síntesis de los rendimientos procedentes de 47 mediciones realizadas en agosto de 1989 y marzo de 1990 (Bryan y Findlater / WRc – 1991, Cooper y al – 1996 y Cooper – 2001).

### Cuadro 21 : rendimientos del sistema mixto de Oakland Park (valores medios de 47 mediciones realizadas entre agosto de 1989 y marzo de 1990)

Parámetro, mg / litro	Afluente	Piso I	Piso II	Piso III	Piso IV	Piso V
DBO <sub>5</sub>	285	57	14	15	7	11
Materias en suspensión	169	53	17	11	9	21
NH <sub>4</sub> N	50,5	29,2	14,0	15,4	11,1	8,1
NO <sub>3</sub> N + NO <sub>2</sub> N	1,7	10,2	22,5	10,0	7,2	2,3
Ortofosfato	22,7	22,7	16,9	14,5	11,9	11,2

Piso I : 6 filtros verticales utilizados con intermitencia (rotación => 1 en servicio 5 en reposo)

Piso II : 3 filtros verticales utilizados con intermitencia (rotación => 1 en servicio 3 en reposo)

Piso III : 1 filtro horizontal

Piso IV : 1 filtro horizontal

Piso V : Estanque de estabilización

Una segunda serie de 17 mediciones se ha realizado durante el periodo de diciembre de 1990 hasta agosto de 1991. Los resultados de esta serie confirman los presentados en el cuadro descrito anteriormente.

La eliminación de la DBO<sub>5</sub> y de las materias en suspensión en los pisos que implican filtros verticales es satisfactoria y permite cumplir con las normas de vertido de la directiva "aguas residuales urbanas". Se observa un cierto deterioro del agua tratada a nivel de la laguna en cuanto a la DBO<sub>5</sub> y las materias en suspensión. Esto se debe al crecimiento de las algas que se añaden a la DBO<sub>5</sub> y producen materias en suspensión. La reducción de los ortofosfatos y NH<sub>4</sub>N también es muy débil en este piso.

La nitrificación es muy fuerte en los pisos que implican filtros verticales. Se observa en la reducción del NH<sub>4</sub>N y el aumento concomitante del NO<sub>3</sub>N + NO<sub>2</sub>N. Sin embargo, el piso II no permite alcanzar una nitrificación completa.

Se observan aumentos significativos de los compuestos nitrogenados NO<sub>3</sub>N + NO<sub>2</sub>N en los filtros verticales luego una reducción a nivel de los pisos III y IV a pesar de la concentración relativamente débil de la DBO<sub>5</sub>. Eso parece indicar que existen mecanismos de desnitrificación a nivel de los filtros horizontales amplificados por el largo tiempo de estancia que caracteriza estos pisos.

Una desnitrificación se produce a nivel de los dos filtros verticales donde la suma de los compuestos NH<sub>4</sub>N + NO<sub>3</sub>N + NO<sub>2</sub>N es menos importante (36,5 mg N / litro) que la concentración de NH<sub>4</sub>N que entra en el sistema (50,5 mg N / litro). La medición de la concentración en NH<sub>4</sub>N del efluente infravalora probablemente la carga en nitrógeno real del efluente. En efecto, las aguas residuales contienen urea (procedente de la orina), que puede tardar 20 horas para ser hidrolizada en NH<sub>3</sub> y no está detectada por el método analítico que permite determinar los NH<sub>4</sub>N. La verdadera carga en contaminación nitrogenada se situará alrededor de 70 – 100 mg N / litro.

En conclusión, esta primera experiencia de sistema mixto representa un verdadero éxito. Se ha demostrado así que el uso combinado de filtros horizontales y de filtros verticales permiten reducir la DBO<sub>5</sub> a 20 mg / l, las materias en suspensión a 30 mg / l y conseguir una substancial nitrificación.

## ▲ Referencias bibliográficas relacionadas con el sistema híbrido de Oaklands Park

Bryan D and Findlater B C, (1991), The modified Max Planck Institute Process- a review of the operation of a vertical flow Reed Bed Treatment System at Oaklands Park, WRc Report UC 1264, WRc Swindon, UK.

Burka U and Lawrence P C (1990), A new community approach to wastewater treatment with higher plants. pp 359-371 in P F Cooper and B C Findlater (Editors), Constructed Wetlands in Water Pollution Control, Pergamon Press, Oxford, UK.

Cooper P F, Job G D, Green M B and Shutes R B E (1996), Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. pp206 WRc Publications, Medmenham, Marlow, Buckinghamshire, UK.

Cooper P F (2001), Nitrification and denitrification in Hybrid Constructed Wetland systems. Chapter 12 in Transformations in Natural and Constructed Wetlands, Vymazal, J (Editor) to be published by Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands in February, 2001 from paper presented at workshop of the same name held at Trebon, Czech Republic.

Seidel K (1978), Gewässerreinigung durch höhere Pflanzen, Zeitschrift Garten und Landschaft, H1, pp9-17

## → *Lagunaje natural : caso de la instalación de Vauciennes (Francia – departamento de Oise)*

### ▲ *Generalidades*

El lagunaje natural de Vauciennes incluye tres balsas en serie. La sucesión de las balsas es la siguiente :

- una laguna de microfitas ;
- una laguna de macrofitas ;
- una laguna mixta.

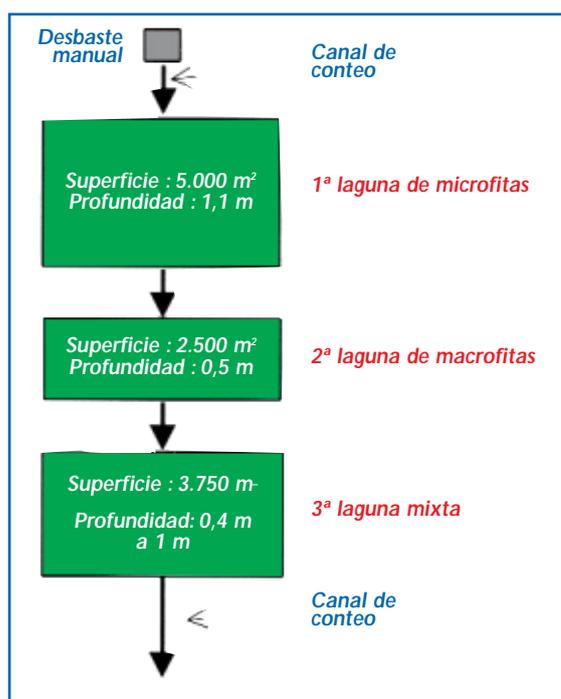
Los rendimientos de esta instalación fueron seguidos de forma precisa desde octubre de 1981 hasta julio de 1991 por el SATESE del Oise y el CEMAGREF, a petición de la Agencia del Agua Seine-Normandie (Schetrite S. – 1994).

### ▲ *Descripción del proyecto*

El dimensionado se caracteriza por los parámetros siguientes :

- capacidad nominal : 1000 habitantes equivalente ;
- caudales diarios : 150 m<sup>3</sup> / día ;
- caudal de punta : 24,5 m<sup>3</sup> / h ;
- carga diaria : 54 kg DBO<sub>5</sub> / día.

La red que recoge las aguas residuales es, por una parte, pseudo separativa (equipado de vertederos de tormentas) y, por otra parte, separativa.



**Figura n° 21 :**  
**lagunaje de Vauciennes**

### ▲ *Rendimientos*

Se describen a continuación los rendimientos, calculados sobre valores medios procedentes de 11 campañas de mediciones realizadas entre octubre de 1981 y julio de 1991.

**Cuadro 22 : Rendimientos de las instalaciones**

	DBO <sub>5</sub> (mg/l)	DCO (mg/l)	MES (mg/l)	Nitrógen o Kjeldhal (mg/l)	NH <sub>4</sub> (mg/l)	Fósforo total (mg/l)
Concentraciones medias de las aguas brutas	175	546	302	55	38	20
Concentraciones medias del efluente de salida	- *	83,6	34,7	13,9	9	4,6

\* Se ha medido la DBO en las muestras de salida de las tres balsas hasta la 6ª campaña de medición (abril 85). Debido a las incertidumbres sobre el valor obtenido (presencia de algas, de Adelfa...), no pudo medirse después de esa fecha. Especialmente para evitar este tipo de incidente que la directiva " aguas residuales urbanas " indica que los análisis de los vertidos procedentes de este tipo de instalaciones deben ser efectuados sobre muestras filtradas.

Después del llenado, los rendimientos medios sobre la DQO y las MES aumentan progresivamente y se mantienen en una horquilla relativamente estable más allá de la 3ª campaña de mediciones, o bien entre 60 y 90 % y 70 a 95 % para las MES. Los malos rendimientos de los primeros meses tienen por origen tasa de carga muy baja de las instalaciones (del 15 al 20 % solamente en la 3ª campaña).

Los rendimientos sobre el nitrógeno global (nitrógeno Kjeldhal +  $\text{NH}_4$ ) medidos en un periodo estival son considerablemente estables cualquiera que sea la carga a la entrada (rendimiento = 70 %). No se observa una degradación del tratamiento para este periodo, durante los 10 años de seguimiento.

En invierno, los rendimientos sobre el nitrógeno global disminuyen continuamente a lo largo de los años (de 60 % a 10 %). Las concentraciones a la salida son función de la carga admitida por las instalaciones. Sin embargo, el lagunaje sólo recibe aun en enero de 1990, 25 % de su carga nominal. Durante esta estación, los rendimientos de eliminación en nitrógeno global son en media 50 % para las instalaciones generalmente sometidas a cargas más importantes. Por consiguiente, se puede suponer que el tratamiento de la carga en nitrógeno se degrada progresivamente durante los meses de invierno.

Los rendimientos de eliminación del fósforo total disminuyen regularmente desde la primera campaña de medición. Pasan de 75 % en 1981 a 30 % en enero de 1990 y eso independientemente de la estación. Sin embargo, en la última campaña de mediciones, en julio de 1991, parece que los rendimientos son excepcionalmente buenos (81 % en julio de 1991 contra 32 % en enero de 1990). La hipótesis más probable para explicar esta súbita subida de los rendimientos está relacionada con la aparición reciente de una cobertura de lentillas de agua que capturaría en fase de crecimiento una gran cantidad del fósforo presente en el agua.

En cuanto a los aspectos bacteriológicos, las reducciones medias se sitúan todas a nivel de 4 unidades logarítmicas y no marcan tendencias significativas en la reducción cuando la insolación disminuye.

### ▲ *Referencias bibliográficas relacionadas con el lagunaje natural de Vauciennes*

Collectif (1984), Synthèse du fonctionnement du lagunage naturel de Vauciennes (Oise), CEMAGREF, SATESE de l'Oise, Agence de l'Eau Seine Normandie, Paris.

Schetrite S. (1994), Etude synthétique du fonctionnement du lagunage naturel de Vauciennes (Oise) : Octobre 81 à juillet 91, CEMAGREF, SATESE de l'Oise, Agence de l'Eau Seine-Normandie, Paris.

## → *Lagunaje aireado : caso de la instalación de Adinkerke (Bélgica)*

### ▲ *Generalidades*

Adinkerke se sitúa en el Flandes belga. La estación de esta aglomeración es una laguna aireada. La aireación se realiza mediante insuflación de aire. Si los principios biológicos utilizados son los mismos, el diseño de este tipo de instalación es sensiblemente diferente al presentado en las fichas técnicas para los métodos que utilizan aireadores. Desde el punto de vista energético, la diferencia esencial con otros sistemas de lagunaje aireado es la baja capacidad instalada. Tampoco presentamos detalladamente el dimensionado de esta instalación cuya técnica no representa a la mayoría de las instalaciones utilizadas actualmente.

### ▲ *Descripción del proyecto*

La estación se compone de tres balsas en serie, las dos primeras están aireadas, la 3ª es la balsa de acabado (laguna de decantación). El esquema a continuación presenta las diferentes balsas y sus equipos.

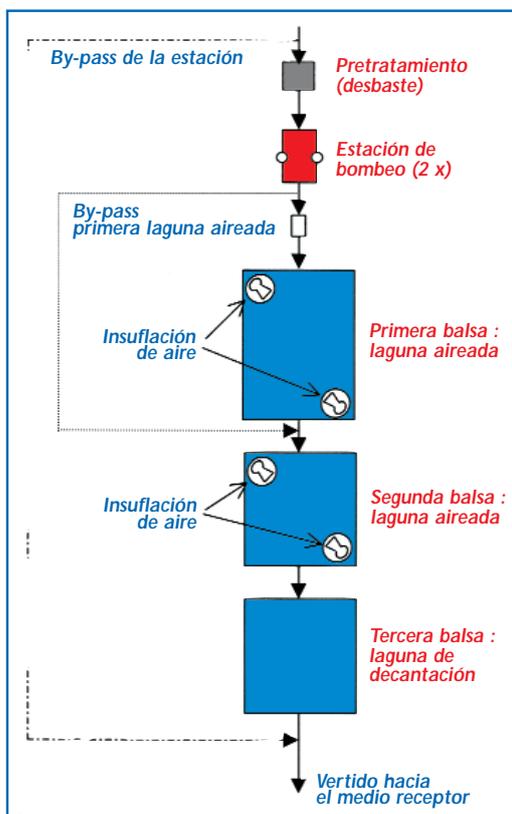


Figure n° 21 : Lagunaje aéreo de Adinkerke

### Características de los equipos

Cuadro 23 : características de los equipos

	Número	Tipo	Dimensión
Bombas para aguas residuales	2	Bombas sumergidas	Caudal : 2 x 40 m <sup>3</sup> /h Caudal : P1+ P2 60 m <sup>3</sup> /h
Balsas de lagunaje	2	Lagunaje aireado	Volumen total : 4000 m <sup>3</sup> Tiempo de estancia : 100 horas Superficie total : 1.812 m <sup>2</sup>
Dispositivos de aireación	4	Insuflación de aire (aeroeyector)	/
Estanque de clarificación	1	Rectangular	Superficie : 490 m <sup>2</sup> Volumen : 490 m <sup>3</sup> Profundidad : 1 m

## Diseño

El dimensionado de las obras se caracteriza por los valores siguientes :

- carga en  $\text{DBO}_5 = 37 \text{ kg } \text{DBO}_5 / \text{ día}$  ;
- carga hidráulica =  $300 \text{ m}^3 / \text{ día}$  ;
- caudal máximo =  $1.400 \text{ m}^3 / \text{ día}$  ;

### ▲ Rendimientos

Se presentan a continuación los rendimientos calculados sobre valores medios procedentes de 18 mediciones realizadas en 1999:

**Cuadro 24 : Rendimientos de las instalaciones**

	<b><math>\text{DBO}_5</math></b>	<b>DCO</b>	<b>Materias en suspensión</b>	<b>Nitrógeno total</b>	<b>Fósforo total</b>
Agua sucia entrante en estación : valor medio sobre 1999 en mg / l	245,7	744,9	409,5	76,5	11,1
Vertido de la estación en el medio : valor medio sobre 1999 en mg / l	12,6	76,7	22,3	50,2	1,5
Rendimiento de la instalación (en %)	94,9	89,7	94,6	34,4	86,5

Se constata a la vista de estos resultados que esta técnica que utiliza la insuflación de aire permite cumplir muy ampliamente con los requisitos de la directiva "aguas residuales urbanas".

### ▲ Referencias bibliográficas relacionadas con el lagunaje aireado de adinkerke

Datos transmitidos por la sociedad AQUAFIN (Organismo de la región flamenca que diseña, financia, realiza y explota la infraestructura supracomunal para el tratamiento de las aguas residuales urbanas).

# GLOSARIO

<i>Aglomeración</i>	Zona en la cual la población y/o las actividades económicas son suficientemente concentradas para que sea posible recolectar las aguas urbanas residuales para llevarlas hacia una estación de depuración o un punto de vertido final.
<i>Nitrógeno Kjeldahl</i>	Suma del nitrógeno orgánico y del nitrógeno amoniacal.
<i>Lodos</i>	lodos residuales, tratados o no, procedentes de las estaciones de depuración de aguas urbanas residuales;
<i>Carga Hidráulica</i>	peso h de una columna de agua de altura H por encima de un nivel de referencia, expresado en metros de altura de agua.
<i>Coefficiente de Uniformidad (CU)</i>	CU = D60 / D10 Con : D10 = diámetro sobre la curva acumulativa para el cual 10 % de la arena es más fina ; D60 = diámetro sobre la curva acumulativa para el cual 60 % de la arena es más fina.  Por consiguiente, el CU es un índice de uniformidad o, al contrario, de irregularidad de la distribución del tamaño de las partículas . Si $CU < 2$ , la granulometría se llama uniforme. Si $2 < CU < 5$ la arena es heterogénea pero la granulometría es llamada apretada ya que no se sale del campo de la familia de las arenas.
<i>DBO<sub>5</sub></i>	La Demanda Bioquímica en Oxígeno es una medición de las materias orgánicas fácilmente biodegradables. Corresponde a la cantidad de oxígeno disuelta en el agua necesaria para oxidar mediante proceso biológico estas materias orgánicas. Esta medición se efectúa según un protocolo normalizado en cinco días, lo que explica el término DBO <sub>5</sub> . Es la base de la definición principal del equivalente habitante (EH) supuestamente vertido cada día en las aguas de las materias orgánicas que se traducen por un flujo de DBO <sub>5</sub> de 60 g/d.
<i>DQO</i>	Representa la cantidad de oxígeno consumida, expresada en mg/l de la cantidad de materia químicamente oxidable de una muestra. De acuerdo con la metodología standard, es la oxidación producida por un exceso de potasio dicromato (K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ) en un cultivo mediamente ácido, de la materia oxidable contenida en una muestra. DQO es un parametro muy util para identificar la presencia de contaminación en aguas residuales. Representa la mayor parte de compuesto orgánicos y también las sales universales oxidables (sulfidos, cloridos...) Las aguas residuales industriales a menudo pueden alcanzar valores de DQO de varios gramos por litro.
<i>Desnitrificación</i>	Conversión de los nitratos en nitritos luego en N <sub>2</sub> O o en nitrógeno. La desnitrificación de las aguas residuales urbanas se utiliza esencialmente a nivel del tratamiento terciario donde se efectúa en parte o totalmente por una depuración microbiológica.
<i>Aguas industriales residuales</i>	todas las aguas residuales procedentes de locales utilizados con fines comerciales o industriales, distintos de las aguas domésticas residuales y las aguas pluviales
<i>Aguas domésticas residuales</i>	aguas residuales procedentes de los establecimientos y servicios residenciales y producidas esencialmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.
<i>Aguas urbanas residuales</i>	aguas domésticas residuales o mezcla de las aguas domésticas residuales con aguas industriales residuales y/o aguas pluviales.
<i>Equivalente habitante (EH)</i>	carga orgánica biodegradable que tiene una demanda bioquímica de oxígeno en cinco días (DBO <sub>5</sub> ) de 60 gramos de oxígeno por día.
<i>Eutrofización</i>	enriquecimiento del agua en elementos nutritivos, especialmente de los compuestos del nitrógeno y/o del fósforo, que provoca un desarrollo acelerado de las algas y de los vegetales de especies superiores que induce una perturbación indeseable del equilibrio de los organismos presentes en el agua y una degradación de la calidad del agua en cuestión.
<i>MES (materias en suspensión)</i>	Conjunto de las partículas minerales y (o) orgánicas presentes en un agua natural o contaminada.

## Permeabilidad

aptitud del suelo o de un sustrato rocoso a dejar el agua infiltrarse en las capas más profundas

## Sistema de recogida

sistema de canalizaciones que recoge y encamina las aguas urbanas residuales.

## Tratamiento apropiado

tratamiento de las aguas urbanas residuales por cualquier proceso y/o sistema de evacuación que permite, para las aguas receptoras de los vertidos, cumplir con los objetivos de calidad elegidos así como responder a las disposiciones pertinentes de la presente directiva y de otras directivas comunitarias.

## Tratamiento primario

tratamiento de las aguas urbanas residuales por un proceso físico y/o químico que incluye la decantación de las materias sólidas en suspensión o por cualquier otro proceso por el cual la DBO<sub>5</sub> de las aguas residuales entrantes está reducida en al menos 20 % antes del vertido y el total de las materias sólidas en suspensión de las aguas residuales entrantes reducido en al menos 50 %.

## Tratamiento secundario

tratamiento de las aguas residuales urbanas por un proceso que incluye generalmente un tratamiento biológico con decantación secundaria por otro proceso que permite cumplir con las condiciones del cuadro 1 del anexo I de la directiva del 21 de mayo de 1991 (ver cuadro a continuación).

**Cuadro 25 : Prescripciones relativas a los vertidos procedentes de las estaciones de depuración de las aguas urbanas residuales y sometidas a las disposiciones de los artículos 4 y 5 de la directiva ARU. Se pueden aplicar el valor de la concentración o el porcentaje de reducción.**

parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción <sup>(1)</sup>	método de medición de referencia
Demanda bioquímica en oxígeno (DBO <sub>5</sub> a 20 °C) sin nitrificación <sup>(2)</sup>	25 mg/l O <sub>2</sub>	70-90 40 en los términos del artículo 4 capítulo 2	Muestra homogeneizada no filtrada, no decantada. Determinación del oxígeno disuelto antes y después de una incubación de 5 días a 20°C ± 1°C, en la oscuridad completa. Añadiendo un inhibidor de nitrificación.
Demanda química en oxígeno (DQO)	125 mg/l O <sub>2</sub>	75	Muestra homogeneizada no filtrada, no decantada. Bicromato de potasio
Total de las materias sólidas en suspensión	35 mg/l <sup>(3)</sup> 35 en los términos del artículo 4 capítulo 2 (más de 10 000 h.e.) 60 en los términos del artículo 4 capítulo 2 (de 2 000 a 10 000 h.e.)	90 <sup>(3)</sup> 90 en los términos del artículo 4 capítulo 2 (más de 10 000 h.e.) 70 en los términos del artículo 4 capítulo 2 (de 2 000 a 10 000 h.e.)	- Filtración de una muestra representativa sobre una membrana de 0,45 µm, secado a 105°C y pesada. - Centrifugación de una muestra representativa (durante 5 minutos al menos, con aceleración media de 2.800 a 3.200 g), secado a 105°C, pesada.

(1) Reducción con respecto a los valores a la entrada.

(2) Este parámetro puede ser remplazado por otro : carbono orgánico total (COT) o demanda total en oxígeno (DTO), si una relación puede ser establecida entre la DBO<sub>5</sub> y el parámetro de sustitución.

(3) Este requisito es opcional.

Los análisis relativos a los vertidos procedentes del lagunaje deben efectuarse sobre muestras filtradas; sin embargo, la concentración del total de las materias sólidas en suspensión en las muestras de agua no filtrada no debe superar 150 mg/l.

## Tratamiento terciario

la expresión "tratamiento terciario" puede designar varios tipos de tratamientos o diferentes funciones en vista a alcanzar un nivel de tratamiento de calidad superior a lo que se podría normalmente esperar de un tratamiento secundario. El tratamiento terciario puede pretender una retirada más a fondo para los parámetros convencionales como las materias en suspensión o incluso pretender algunos parámetros para los cuales hay poca retirada en un tratamiento secundario como el fósforo.

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agence de l'Eau Seine-Normandie (1999), Guides des procédés épuratoires intensifs proposés aux petites collectivités, Nanterre.
- Agences de bassins (1979), Lagunage naturel et lagunage aéré : procédés d'épuration des petites collectivités, CTGREF d'Aix en Provence.
- Agences de l'eau (1996), Conception des stations d'épuration : les 50 recommandations, Etude Inter Agences n° 45, 1996, 56 p.
- Alexandre O., Grand d'Esnon (1998), Le coût des services d'assainissement ruraux. Evaluation des coûts d'investissement et d'exploitation, in TSM n°7/8 - juillet-août 1998 - 93<sup>e</sup> année
- Almasi A., Pescod M. B. (1996), Wastewater treatment mechanisms in anoxic stabilisation ponds, Water Sciences and Technologies, 125-132.
- Armstrong (1979), aeration in higher plants, Adv. in Bot. Res. 4, 332-445.
- Berland J.M., (1994) Une évaluation du système d'assainissement des anciens Länder allemands, ENPC-LATTS, rapport réalisé à la demande de l'Agence de l'Eau Rhin-Meuse, Noisy-le-Grand
- Boon A.G. (1985), Report of a visit by members and staff of WRc to Germany to investigate the root zone method for treatment of wastewaters. WRc Report 376-S/1, Stevenage, UK.
- Boon G. (1986), Report of a visit by a boon to Canada and the USA to investigate the use of wetlands for the treatment of wastewater; Water Research Processes , 55.
- Boutin C., Duchène P., Liénard A. (1997), Filières adaptées aux petites collectivités, Document technique FNDAE n°22.
- Brissaud F. (1993), Epuration des eaux usées urbaines par infiltration percolation : état de l'art et études de cas, Etude Inter Agences n°9, Agences de l'Eau, Ministère de l'Environnement.
- Brix, H. (1987), Treatment of wastewater in the rhizosphere of wetland plants - the roots-zone method, Wat. Sci. Tech. 19, 107-118
- Brix H. (1998), Denmark experiences in Vymazal, J. et al, Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe. Backhuys Publisher, Leiden.
- Cluzel F. (1993), diagnostic comparé de système d'assainissement autonomes. Application aux systèmes semi-collectifs, DDASS de Loire-Atlantique, Ecole Nationale de la santé publique, Rennes.
- Cooper A. B., Findlater B.C. (1990), Constructed wetlands in water pollution control. Adv. Water Pollution Control n°11. (Pergamon Press), Oxford. England.
- Cooper P. (1996), Reed beds & Constructed Wetlands for wastewater treatment. S. T. W. WRC, Ed.
- Cooper P., Griffin P. (1999), A review of the design and performance of vertical-flow and hybrid reed bed treatment systems; Wat. Sci. Tech. 40, 1-9.
- Crites R., Tchobanoglous G. 1998. Small and decentralized wastewater management systems. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering, pp.1084.
- Drizo A. (1997), Phosphate and ammonium removal by constructed wetlands with horizontal subsurface flow, using shale as a substrate. ; Wat. Sci. Tech. 35, 95-102.
- Duchemin J. (1994), Effluents domestiques et phosphore : le rendement des filière d'assainissement autonome, in Phosphore des villes... Phosphore des champs - journée d'échanges techniques du 13 décembre 1994, Ministère des Affaires Sociales de la Santé et de la Ville, DDASS d'Ille-et-Vilaine, DDASS de Loire-Atlantique, France, Derval.
- EC Life project (1997), Guidelines for constructing reedbeds for environmental improvement applications. Experience from the Somerset Levels and Moors, UK and the Parc des Marais du Cotentin et du Bessin, France. Life Project 92-1/UK/026.
- EPA (1988), Design Manuel. Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment, EPA/625/1-88/022.
- European Investment Bank (1998), Design Manual for Waste Stabilisation Ponds in Mediterranean Countries, Mediterranean Environmental Technical Assistance Programme.

- Jensen, P.D. et al (1994), Cold Climate constructed wetlands, 4th International Conference on Wetlands systems for water pollution control, Guangzhou, China.
- Johansson L. (1999), Industrial by-products and natural substrata as phosphorus sorbents; Env. Tech. 20, 309-316.
- Kadlec, R.H. Knight R.L., Vymazal J., Brix H., Cooper P., Haberl R. (2000) Constructed Wetlands for Pollution Control. Processes, Performance, Design and Operation. IWA Publishing, Scientific and Technical Report N°8.
- Lassus C et al (1998), Objectif Epuration - Le lagunage naturel : conception et réalisation - Les règles de l'art, Agence de l'Eau Seine-Normandie, CEMAGREF, UTC.
- Marsteiner (1996), The influence of macrophytes on subsurface flow wetland hydraulics, 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Vienna.
- Racault Y. et al. (1997), Le lagunage naturel : les leçons tirées de 15 ans de pratique en France, CEMAGREF, SATESE, ENSP, Agences de l'Eau.
- Radoux M., Cadelli D., Nemcova M., Ennabili A., Ezzahri J., Ater M. (2000), Optimisation of natural wastewater treatment technologies in the MHEA( experimental centre in M'Diq, Mediterranean coast of Morocco. 7<sup>th</sup> International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, Florida, USA.
- Strecker, E.W., Kersnar J.M., Driscoll, E.D., Horner R.R. (1992), The use of wetlands for controlling stormwater pollution, EPA/600 Washington D.C., The Terrene Institute.
- Vymazal, J. et al (1998), Constructed wetlands for wastewater treatment in Europe, Backhuys Publisher, Leiden.
- Wallace, S. Parkin, G. Cross C. (2000), Cold climate wetlands ; Design & Performance. 7<sup>th</sup> International Conference on Wetlands Systems for Water Pollution Control, Florida, USA.
- Wetzel, R.G. (1993), Constructed Wetlands : Scientific Foundations are Critical, G.A., Constructed Wetlands for Water Quality Improvement, Lewis Publishers.
- Zhu, T. Jensen, P.D. et al (1996), Phosphorus sorption and chemical characteristics of lightweight aggregates (LWA) - potential filter media in treatment wetlands, 5<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Vienna.

Comisión Europea

**Procesos extensivos de depuración de las aguas residuales adaptadas a las pequeñas y medias colectividades**

Luxembourg : Oficina de las publicaciones oficiales de las comunidades europeas

2001 — 40 pp. — 21 x 29.7 cm

© Oficina Internacional del Agua, 2001

ISBN 92-894-1690-4

La Dirección General del Medio ambiente de la Comisión desea sostener la difusión de los procesos extensivos de depuración, vía el desarrollo de consejos y de intercambios técnicos. Esta guía y el desarrollo de ayudas tales como los fondos estructurales y fondos de cohesión son una muestra de ello.

Esta guía, que se elaboró en el marco de una colaboración con Francia (Dirección del Agua del Ministerio de la Ecología y Desarrollo Sostenible y Agencias del Agua), sólo describe las técnicas intensivas y se focaliza, sobre todo, sobre las técnicas extensivas de tratamiento de las aguas residuales urbanas. Estas últimas ocupan, por definición, más superficie que los procesos intensivos clásicos desarrollados para las grandes aglomeraciones. Sin embargo, los costes de inversión de los procesos extensivos son generalmente inferiores y las condiciones de explotaciones de estos procesos extensivos son menos difíciles, más flexibles y más económicos en cuanto a la utilización de energía. Por último, su mantenimiento necesita menos personal y menos especialización que para las técnicas intensivas.

Son aplicables en las diferentes configuraciones europeas que no superan unos miles de habitantes equivalentes. Hay que recordar al leer esta obra que las técnicas que vamos a abordar pueden aplicarse excepcionalmente a capacidades superiores a 5.000 h.e.

Después de repasar los objetivos que deben alcanzar las pequeñas y medianas aglomeraciones y una presentación rápida de las diferentes técnicas llamadas intensivas, describiremos más detalladamente las técnicas siguientes :

- infiltración-percolación ;
- filtros plantados de flujo vertical ;
- filtros plantados de flujo horizontal ;
- lagunaje natural ;
- lagunaje aireado ;
- asociación de diferentes técnicas extensivas.

Con el fin de ayudar a elegir una técnica, una comparación entre se efectúa sobre los criterios siguientes :

- calidad de los vertidos ;
- ventajas e inconvenientes ;
- espacio disponible ;
- permeabilidad del suelo ;
- adaptabilidad de las técnicas a las condiciones climáticas ;
- los costes.



Comisión Europea

<http://europa.eu.int>



MINISTÈRE DE  
L'ÉCOLOGIE ET DU  
DÉVELOPPEMENT DURABLE

Direction de l'Eau

<http://www.environnement.gouv.fr>



Agences de l'Eau

<http://www.eaufrance.tm.fr>



Oficina  
Internacional  
del Agua

<http://www.oiaqua.org>



<http://www.cemagref.fr>



OFICINA DE LA PUBLICACIONES OFICIALES  
DE LA COMUNIDADES EUROPEAS, 2001

L-2985 Luxemburgo

ISBN 92-894-1690-4



9 789289 416900 >