



Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población



Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población

Mejora de la calidad de los efluentes

Isabel Martín García (CENTA)

Juana Rosa Betancort Rodríguez (ITC)

Juan José Salas Rodríguez (CENTA)

Baltasar Peñate Suárez (ITC)

Juan Ramón Pidre Bocardo (CENTA)

Nieves Sardón Martín (CENTA)



Con la participación de la Unión Europea
Proyecto cofinanciado por el FEDER

© *del texto*: los autores

© *de la edición*: ITC

Primera edición, abril de 2006

Realización e impresión:

Daute Diseño, S.L.

ISBN: 84-689-7604-0

Dep. Legal: G.C. 221-2006

El copyright y todos los derechos de propiedad intelectual y/o industrial sobre el contenido de esta guía son propiedad exclusiva del Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. No está permitida la reproducción total y parcial de esta guía, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, electrónico, mecánico, por fotocopia o por registro u otros medios, salvo cuando se realice con fines académicos o científicos y estrictamente no comerciales y gratuitos, debiendo citar en todo caso al Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., sus autores físicos, su título completo y su carácter de Guía divulgativa gratuita

Índice

CARTAS INSTITUCIONALES	7
PRESENTACIÓN	11
AGRADECIMIENTOS	13
1. ¿PORQUÉ ESTA GUÍA?	15
2. EL PROYECTO ICREW	17
3. GENERALIDADES SOBRE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS.....	21
3.1. Definición y procedencia de las aguas residuales urbanas	21
3.2. Características de las aguas residuales urbanas	22
3.3. Principales contaminantes y parámetros de caracterización.....	24
3.4. Necesidad de depuración de las aguas residuales urbanas.....	26
3.5. Caudales de las aguas residuales urbanas	29
3.6. Marco normativo	32
3.7. Fundamentos básicos del tratamiento de las aguas residuales urbanas.....	40
3.7.1. Recogida y conducción.....	41
3.7.2. Tratamiento	42
3.7.3. Evacuación y reutilización	51
4. DEPURACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE PEQUEÑAS AGLOMERACIONES URBANAS	55
4.1. Características de las aguas residuales en las pequeñas aglomeraciones urbanas.....	56
4.1.1. Caudales	56

4.1.2. Calidad del agua	57
4.2. Tecnologías de depuración de las aguas residuales urbanas para pequeñas poblaciones.....	58
4.3. Monografías de las tecnologías de depuración de aguas residuales urbanas en pequeños núcleos de población	59
4.4. Criterios de selección de las tecnologías de depuración en pequeños núcleos de población	100
4.4.1. Tamaño de la población a tratar.....	100
4.4.2. Condiciones climáticas de la zona donde se implantará la estación de tratamiento.....	100
4.4.3. Impacto ambiental ejercido por la instalación de tratamiento.....	101
4.4.4. Costes de explotación y mantenimiento	101
5. GALERÍA DE IMÁGENES	105
5.1. Pretratamiento.....	105
5.2. Tratamiento primario	109
5.3. Tratamiento secundario	109
5.4. Tratamiento terciario	117
6. CONTACTOS	119
7. BIBLIOGRAFÍA	121
8. ANEXO: GLOSARIO DE FOTOS, GRÁFICOS Y TABLAS GENERADAS	123

Cartas institucionales

El ámbito territorial de la Comunidad Autónoma de Canarias se distingue por la biodiversidad, la fragmentación y lejanía del territorio continental. El Archipiélago Canario es uno de los principales destinos turísticos de las últimas décadas y su condición geográfica de proximidad a tres continentes y vínculo histórico con América, le confiere un valor inigualable desde el punto de vista cultural, social y económico. Por esta condición singular, Canarias se caracteriza por la fragilidad en cualquiera de sus sectores de desarrollo, lo que genera una enorme presión medioambiental y socioeconómica sobre la estrecha franja que es la costa y sobre el territorio y población dispersa que se localiza en el ámbito rural.

Ante este escenario, la Comunidad Autónoma de Canarias ha apostado por una política medioambiental que promueve la reducción de estas tensiones surgidas por la interacción entre la actividad económica y el medio físico y natural, a través de un conjunto de directrices, normas y líneas de actuación que aglutinan, básicamente los sectores del Agua, la Energía y el Medio Ambiente. Se propicia el desarrollo de una sociedad más acorde con el uso racional y sostenible de los recursos, la reducción de la contaminación, la sensibilización y el conocimiento de nuestra realidad medioambiental y territorial.

En este sentido, y particularizando en los aspectos relativos a la calidad de las aguas, preservar y mejorar las costas es un aspecto prioritario para Canarias. Una gestión óptima de las zonas costeras y la puesta en práctica de programas de control de su calidad representan, desde un punto de desarrollo turístico, una ventaja competitiva frente a otros destinos turísticos, ayudando así al crecimiento económico de las Islas y a la constitución de una prueba indiscutible de la calidad sanitaria para los usuarios.

El Instituto Tecnológico de Canarias (ITC), cumpliendo con su misión de potenciar la Innovación y Transferencia de Tecnologías en sectores estratégicos que favorezcan la competitividad en el desarrollo sostenible de Canarias y de su entorno geográfico y cultural, participa y lidera, a través del Departamento de Agua, en proyectos de cooperación transnacional relacionados con la evaluación y protección de la calidad de las aguas, su gestión sostenible y el aprovechamiento productivo de las aguas residuales, con el fin de incentivar el desarrollo industrial de Canarias en el campo de las tecnologías de tratamiento de aguas y de la gestión sostenible del ciclo del agua.

La participación del ITC en el proyecto ICREW, cofinanciado por la iniciativa comunitaria INTERREG IIIB – Espacio Atlántico, constituye una apuesta por la cooperación transnacional como

elemento de valor para el desarrollo integrado de las regiones ultraperiféricas con el resto de países del continente. Constituye una oportunidad para establecer nuevas y fuertes relaciones entre las instituciones participantes y es un punto de comienzo para colaborar en todos los aspectos relacionados con el agua.

La cooperación transnacional entre las autoridades nacionales, regionales y locales tiene por objeto fomentar un mayor grado de integración territorial en las grandes agrupaciones de regiones, en un esfuerzo por lograr un desarrollo duradero, armónico y equilibrado y una mayor integración territorial entre países.

Marisa Tejedor Salguero

Consejera de Industria, Comercio y Nuevas Tecnologías y Presidenta del ITC

Cuando en 1984 la Junta de Andalucía asume las competencias en materia de aguas, rápidamente se toma conciencia de dos cuestiones relevantes relacionadas con la depuración: por un lado el alto número de pequeños núcleos rurales que existen en nuestra comunidad autónoma, y por otro el contrastado fracaso que habían tenido los sistemas de depuración convencionales cuando se implantaban en este tipo de núcleos; fracaso debido fundamentalmente a la escasez de recursos técnicos y económicos habitual en los mismos.

Ante esta situación, se asume que la depuración de aguas residuales no tiene porqué realizarse sobre una única perspectiva sino que hay que ir hacia un planteamiento de soluciones sostenibles para realidades concretas. Es en esta etapa de búsqueda cuando se comienza a vislumbrar la gran potencialidad de aplicación en nuestra región, de las llamadas Tecnologías no Convencionales (TNC). Su versatilidad y adaptabilidad, su integración en el entorno y su menor coste de implantación y explotación las hacían especialmente indicadas para la depuración de los vertidos urbanos del medio rural, en el que, como ya se ha señalado, las limitaciones técnicas y económicas pueden comprometer seriamente la eficacia del tratamiento de las aguas residuales.

Sin embargo, frente a estas ventajas aparecían serios interrogantes, tales como: la enorme dispersión de información relacionada con las TNC, la disparidad de los criterios técnicos disponibles en la bibliografía para su diseño, posicionamientos extremos acerca de la eficacia de estos sistemas, etc.

Con el fin de no comprometer un programa de implantación de TNC y con la voluntad de ampliar al máximo posible los conocimientos al respecto, la Junta de Andalucía aplicó una sistemática racional y desarrolló un plan de investigación orientado a conocer las particularidades del diseño, mantenimiento, explotación e implantación de este tipo de tecnologías: el Plan de I+D de Tecnologías no Convencionales.

Eje fundamental para el desarrollo del plan ha sido la Planta Experimental de Depuración de Aguas Residuales de Carrión de los Céspedes (PECC), que ha proporcionado un soporte indispensable para la implantación de TNC en numerosos núcleos rurales de Andalucía, convirtiéndose en un referente nacional en estas tecnologías. Desde 1999, el Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA) es el responsable de la gestión de la Planta.

Muestra de todo ello es la guía que aquí se presenta, la cual pretende sumarse al conjunto de instrumentos que desde el CENTA se quieren poner al servicio de la sociedad para una buena gestión de la depuración de las aguas residuales.

Hermelindo Castro Nogueira

Presidente del CENTA

Presentación

La gestión sostenible y el tratamiento integral de los recursos hidráulicos es una cuestión prioritaria en la sociedad en la que vivimos. Es importante disponer de un agua con una calidad adecuada y que se encuentre en cantidad suficiente para poder soportar las actividades derivadas del desarrollo, lo que permitirá una mejora en el medio ambiente, la salud y la calidad de vida.

Generalmente, es en los pequeños núcleos de población en donde se localizan las mayores carencias relacionadas con la gestión de las aguas, debido principalmente a su particularidad de zona sensible, su localización descentralizada, la limitación de sus recursos económicos y en determinadas situaciones de no disponer de personal especializado. Todo esto propicia el escaso control de la calidad de los efluentes y la consecuente contaminación de los mismos debido a vertidos a medios receptores de aguas residuales sin tratar o procedentes de plantas de tratamientos de aguas residuales que operan incorrectamente, o simplemente no funcionan.

En el marco normativo de la depuración de las aguas residuales urbanas, la Directiva 91/271/CEE relativa al tratamiento de dichas aguas, determina que, con fecha límite de 31 de diciembre de 2005 todas aquellas poblaciones con más de 2000 habitantes equivalentes deben disponer de un sistema de tratamiento de sus aguas residuales, y el resto deben disponer de sistemas colectores y un tratamiento adecuado para dichas aguas. A pesar que desde la implantación de dicha Directiva, el tratamiento de las aguas residuales ha mejorado de forma considerable y por tanto son numerosas las poblaciones que en la actualidad cuentan con tecnologías para la depuración de sus vertidos, la realidad constata que aún existen aglomeraciones urbanas, principalmente de pequeño tamaño y núcleos dispersos, que no disponen de sistemas de tratamiento para sus aguas residuales, y si lo tienen se detecta un elevado porcentaje de plantas depuradoras que no funcionan o lo hacen mal.

A las situaciones anteriormente mencionadas, se une la realidad de que en muchas ocasiones se ha asimilado erróneamente simplicidad de operación y mantenimiento a simplicidad de diseño y construcción, por lo que no se ha prestado la suficiente atención a la fase de dimensionamiento del sistema de tratamiento ni a la posterior etapa constructiva. Estas deficiencias han tenido su reflejo en numerosas instalaciones en las que no se alcanzan los rendimientos esperados y consecuentemente terminan por no funcionar o hacerlo defectuosamente.

Dentro del Proyecto ICREW - Improving Coastal and Recreational Waters (Mejora de la Calidad de las Aguas Costeras y de Recreo), financiado por el Programa Operativo Interreg IIIB Espacio Atlántico, los participantes españoles editan esta GUÍA que pretende ser un instrumento más en el área de la depuración de las aguas residuales urbanas, que de respuestas y/o sirva de herramienta a

todo el personal técnico interesado, sobre todo el directamente relacionado con pequeñas aglomeraciones urbanas, donde, como se ha comentado anteriormente, aún quedan muchos aspectos por mejorar.

Esta Guía hará un repaso general de las características de las aguas residuales urbanas y la terminología básica de uso, independientemente del tamaño poblacional, antes de abordar la importancia de la correcta depuración de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas. Se aportan las características principales de este tipo de aguas, se detallan las diferencias que se encuentran con las aguas residuales urbanas de las grandes ciudades, que origina que tengan un trato diferenciado, y por último se describen con gran detalle un abanico considerable de procesos y tecnologías de depuración convencionales y no convencionales propuestas para el correcto tratamiento de estas aguas.

Los autores

Agradecimientos

Los autores de esta Guía quieren agradecer la inestimable labor de todo el personal técnico de trabajo de campo y laboratorio del ITC y CENTA que ha participado en el proyecto ICREW por su rigor y compromiso en el seguimiento de las tecnologías de depuración y el inventario de las mismas en Canarias y Andalucía.

De igual manera agradecen a todas las instituciones que han colaborado en el proyecto por su tiempo y dedicación, y en especial al:

Instituto Andaluz del Agua-Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía

Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria

Ayuntamiento de San Juan de La Rambla, Tenerife

AENA Arrecife, Lanzarote

Aguas Filtradas de Lanzarote

Cabildo de Gran Canaria-Área de Medioambiente

Eléctrica de Maspalomas S.A.-ELMASA

Mancomunidad de Municipios del Sureste de Gran Canaria

Por último, los autores quieren corresponder la participación de los miembros de la acción piloto 6 del proyecto ICREW y en especial de su coordinador Phil Heath de la Agencia Medioambiental del Reino Unido.

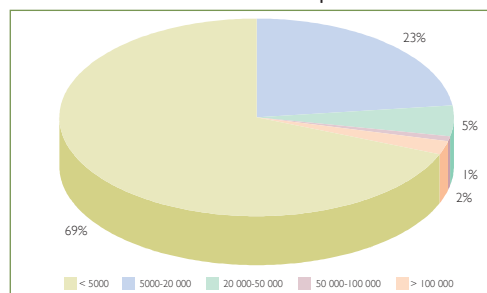
¿Por qué esta guía?

Según la encuesta sobre el suministro y tratamiento del agua (INE, 2003), en España se recolectan cada día más de nueve millones de metros cúbicos de aguas residuales, de los que sólo se tratan aproximadamente ocho millones, lo que supone aproximadamente un 89% del volumen de aguas residuales generadas. En la Comunidad Autónoma de Andalucía se tratan el 88 % de las aguas y en cambio en la Comunidad Autónoma de Canarias tan sólo lo hacen el 65% de las aguas residuales. Anualmente se generan aproximadamente 300 000 vertidos de aguas residuales, de los cuales 240 000 se realizan en las redes de colectores urbanos y el resto se realiza directamente a un medio receptor. De estos últimos, aproximadamente 50 000 son de actividades productivas y 10 000 de núcleos urbanos (Sainz, 2005).

En España, de los más de 8100 municipios existentes, unos 6000 tienen menos de 2000 habitantes. En el caso concreto de Andalucía, de los 770 municipios existentes, el 69% de los mismos presentan menos de 5000 habitantes, y el 85% de los núcleos de población no superan los 2000 habitantes (INE, 2001; Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, 2001). Por otro lado, en Canarias, el 52% de los municipios presentan menos de 5000 habitantes, y el 83% de los núcleos poblacionales no superan los 2000 habitantes (INE, 2001).

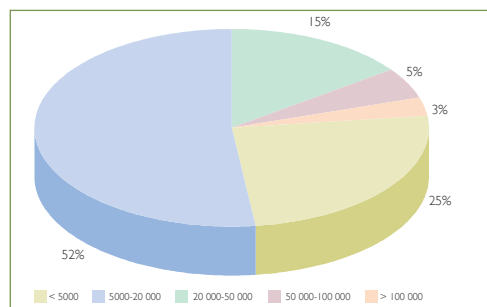
Con esta distribución demográfica son en estas pequeñas aglomeraciones donde se presentan más carencias en lo que al tratamiento de las aguas residuales se refiere, debido principalmente a que con mayor frecuencia de lo deseado, las estaciones depuradoras para el tratamiento de las aguas son concebidas y diseñadas como meros modelos a escala reducida de las grandes instalaciones con-

Figura 1.1. Distribución por tamaño de los municipios en Andalucía



Fuente: INE, 2001

Figura 1.2. Distribución por tamaño de los municipios en Canarias



Fuente: INE, 2001

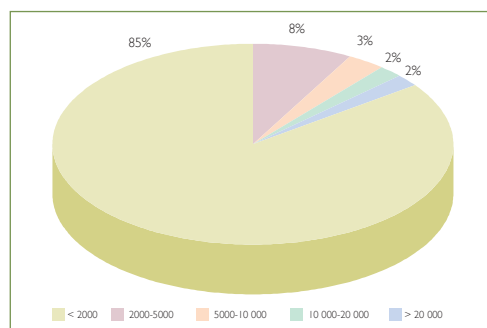
vencionales de depuración. Como consecuencia directa de esta forma de actuar, estas estaciones no responden adecuadamente a los caudales y cargas existentes y por lo general los costes de explotación y mantenimiento son difícilmente asumibles por las entidades responsables, lo que se traduce en que las instalaciones no operen adecuadamente.

En este tipo de entornos, característicos de zonas rurales y/o dispersos o áreas vacacionales, es donde deberá hacerse, en un futuro próximo, un gran esfuerzo de concienciación y compromiso técnico para corregir sus carencias en saneamiento y depuración, poder cumplir la normativa vigente y reducir o eliminar los posibles problemas en cuanto a contaminación se refiere.

Esta Guía, pretende contribuir de forma significativa a conseguir, entre otros, los siguientes objetivos:

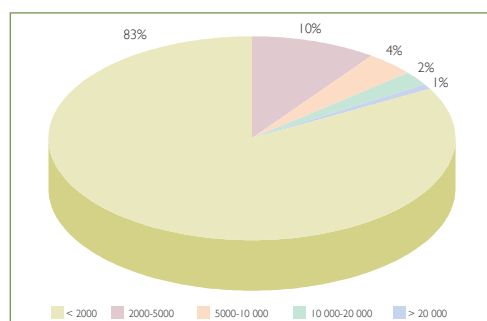
- Dando respuesta al marco en el que se desarrolla el Proyecto ICREW, servir de herramienta a la hora de conocer alternativas en la depuración de las aguas residuales urbanas en pequeñas aglomeraciones, donde los vertidos líquidos pueden afectar a aquellas aguas donde se realizan actividades de baño o recreo, contribuyendo a la mejora de la calidad de estas aguas y a la implantación de la Propuesta de modificación de la Directiva 76/160/CEE del Consejo relativa a la calidad de las aguas de baño, aprobada por el Pleno el 10 de mayo de 2005.
- Contribuir a la implantación de la Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, contribuyendo, mediante la mejora de la calidad de los vertidos líquidos urbanos, a la consecución del objetivo general de "buen estado ecológico" de los ecosistemas acuáticos receptores.
- Aportar conocimientos sobre el uso de las tecnologías de depuración de las aguas residuales urbanas a instalar en pequeñas aglomeraciones, haciendo especial hincapié en las Tecnologías no Convencionales, por su potencialidad de ser usadas como alternativas más sostenibles y totalmente válidas a la hora de realizar una adecuada depuración de los efluentes líquidos procedentes de pequeños núcleos, contribuyendo a la implantación de la Directiva 91/271/CEE del Consejo relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Figura 1.3. Distribución por tamaño de los núcleos de población en Andalucía



Fuente: INE, 2001

Figura 1.4. Distribución por tamaño de los núcleos de población en Canarias



Fuente: INE, 2001

El Proyecto ICREW

Liderado por la Agencia Medioambiental (EA) del Reino Unido, en este proyecto financiado por el programa INTERREG IIIB Espacio Atlántico han participado un total de 19 instituciones y empresas de España, Reino Unido, Francia, Irlanda y Portugal. En concreto los socios participantes han sido:

España

- Instituto Tecnológico de Canarias (ITC).
- Centro de Investigación, Fomento y Aplicación de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA).

Reino Unido

- Environment Agency.
- Mersey Basin Campaign.
- Preston City Council.
- Blackpool Borough Council.

Francia

- Conseil Régionale de Bretagne.
- Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales de Bretagne.
- Institut Français de Recherche pour l'Exploitation en MER.
- Centre d'Etude et de Valorisation des Algues.
- SAUR France Région Ouest.

Irlanda

- University College Dublin.

Portugal

- Instituto do Ambiente.
- Instituto Nacional de Saúde Dr. Ricardo Jorge.
- Direcção Geral da Saúde.
- Instituto Superior Técnico.
- Instituto da Água.
- Sub-Região de Saúde de Portalegre.
- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Alentejo.



El Proyecto ICREW busca la integración de estrategias para el desarrollo de una economía sostenible en los distintos territorios que integran el Espacio Atlántico, a través del tema común de mejora de la calidad de las aguas de baño, lo que se corresponde con los objetivos estratégicos del Programa INTERREG IIIB Espacio Atlántico, sobre una política de planificación espacial integrada y del desarrollo de cooperación transnacional.

Asimismo, representa un claro programa de trabajo que aportará los mecanismos necesarios para llevar a cabo con éxito la Directiva Marco de Aguas de la UE (2000/60/CEE). Mediante el desarrollo de un amplio programa transnacional sobre la calidad de las aguas de baño, el ICREW actuará como guía para la participación pública y el trabajo conjunto requerido por dicha Directiva.

En definitiva, los objetivos últimos que se esperan alcanzar con el desarrollo de este Proyecto son la reducción de la contaminación y la mejora de la calidad de las aguas de baño en las distintas áreas del Espacio Atlántico.

El elevado número de socios participantes, así como la amplia representatividad geográfica derivada de los mismos, favorece el cumplimiento de los objetivos de INTERREG IIIB sobre coherencia y cohesión del Espacio Atlántico y mejora de la competitividad económica y eficacia de las áreas implicadas.

Dentro del Programa Operativo Interreg IIIB, el ICREW queda encuadrado en la *PRIORIDAD C*, relativa a la *Promoción del Medio Ambiente, gestión sostenible de las actividades económicas y de los recursos naturales*, así como en la Medida C1, relativa a la *Protección del medio ambiente y de los recursos naturales*.

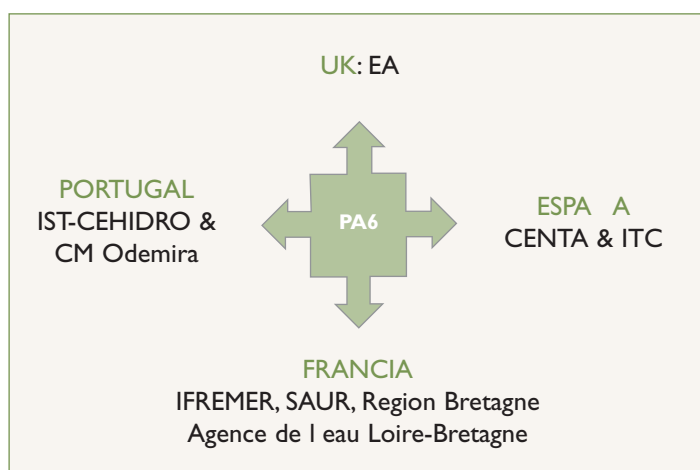
El Proyecto ICREW se estructura en siete Acciones Piloto:

- *Acción Piloto 1*: Muestreo y revisión de datos.
- *Acción Piloto 2*: Resolución de la contaminación difusa.
- *Acción Piloto 3*: Desarrollo de métodos de seguimiento de fuentes de contaminación.

- *Acción Piloto 4:* Predicción de la calidad de las aguas de baño.
- *Acción Piloto 5:* Re-identificación de las aguas de recreo.
- *Acción Piloto 6:* Soluciones sostenibles para las aguas residuales.
- *Acción Piloto 7:* Comprensión y gestión de las algas.

Los socios españoles, CENTA e ITC, participan en la Acción Piloto N° 6, en colaboración con socios portugueses, franceses e ingleses.

Figura 2.1. Socios integrantes de la Acción Piloto 6



El objetivo fundamental de la Acción Piloto 6 es **establecer los métodos más eficaces para el tratamiento de las aguas residuales en el medio rural, para reducir los problemas de contaminación y facilitar el desarrollo económico y social en este ámbito.**

Este objetivo se ha tratado desde diversos puntos de vista por los socios que participan en dicha acción. En el caso de los socios españoles (CENTA e ITC), los trabajos desarrollados se orientan en el **estudio de la eficiencia de las plantas de depuración de aguas residuales urbanas a pequeña escala para la eliminación de bacterias y nutrientes en las áreas rurales y costeras**, con el objeto de:

- Establecer el grado de abatimiento de microorganismos patógenos (*E. coli* y Enterococos intestinales) y nutrientes que se alcanzan con las diferentes tecnologías aplicables a pequeñas colectividades urbanas y sus posibles combinaciones.

- Establecer las condiciones más adecuadas para la implantación, mantenimiento y explotación de estas tecnologías en el ámbito rural.
- Dar unas pautas básicas sobre consideraciones y criterios a tener en cuenta a la hora de implantar una depuradora para pequeñas aglomeraciones urbanas en las regiones de Andalucía y Canarias, que, a su vez, pueden ser extrapolables al ámbito mediterráneo, donde las características geoclimáticas y territoriales son similares a las de ambas regiones españolas.

Generalidades sobre las aguas residuales urbanas

3.1. Definición y procedencia de las aguas residuales urbanas

Según la definición establecida por el *Real Decreto-Ley 1/1995* de 28 de Diciembre (BOE 312, de 30-12-95) que tiene por objeto la transposición al ordenamiento interno de la *Directiva 91/271/CEE* del Consejo relativa al tratamiento de las aguas residuales urbanas, se entiende por **aguas residuales urbanas**, aquellas *aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial*.

Así mismo, y de acuerdo a dicha Directiva:

Las aguas residuales domésticas son aquellas aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios y generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

Las aguas residuales industriales son todas aquellas aguas residuales vertidas desde locales utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

La contribución de las actividades industriales en la composición de las aguas residuales urbanas depende principalmente del grado de industrialización de la aglomeración urbana y de las características de los vertidos realizados a la red de colectores municipales, los cuales pueden tener una composición muy variable dependiendo del tipo de industria.

Las aguas procedentes de las escorrentías pluviales tendrán mayor o menor grado de representatividad dependiendo principalmente del tipo de red de saneamiento existente, así como de la pluviometría registrada.

Las **aguas domésticas** incluyen las aguas de cocina, las aguas de lavadoras, las aguas de baño y las aguas negras procedentes del metabolismo humano.

Las **aguas industriales** proceden de actividades industriales que descargan sus vertidos a la red de alcantarillado municipal y presentan una composición muy variable dependiendo del tipo de industria.

Las **aguas pluviales o de tormenta** arrastran partículas y contaminantes presentes tanto en la atmósfera como en los viales. En la mayoría de las ocasiones, donde los sistemas de alcantarillado son unitarios, las aguas de lluvia son recogidas por el mismo sistema que se emplea para la recogida y conducción de las aguas residuales domésticas e industriales. En los primeros 15-30 minutos del inicio de las

precipitaciones, la contaminación aportada a la estación de tratamiento puede ser importante. A esto, se suma el aporte intermitente de caudal, que, en determinadas ocasiones, obliga a la derivación, sin tratamiento previo, de un volumen determinado a los medios receptores.

3.2. Características de las aguas residuales urbanas

Las aguas residuales urbanas se caracterizan por su composición física, química y biológica, apareciendo una interrelación entre muchos de los parámetros que integran dicha composición. A la hora de realizar una adecuada gestión de dichas aguas, se hace imprescindible el disponer de una información lo más detallada posible sobre su naturaleza y características. A continuación se muestran las principales características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales urbanas.

Las **características físicas** más importantes de las aguas residuales urbanas son:

- **Color:** la coloración de las aguas residuales urbanas determina cualitativamente el tiempo de las mismas. Generalmente varía del beige claro al negro. Si el agua es reciente, suele presentar coloración beige clara; oscureciéndose a medida que pasa el tiempo, pasando a ser de color gris o negro, debido a la implantación de condiciones de anaerobiosis, por descomposición bacteriana de la materia orgánica.
- **Olor:** se debe principalmente a la presencia de determinadas sustancias producidas por la descomposición anaerobia de la materia orgánica: ácido sulfhídrico, indol, escatoles, mercaptanos y otras sustancias volátiles. Si las aguas residuales son recientes, no presentan olores desagradables ni intensos. A medida que pasa el tiempo, aumenta el olor por desprendimiento de gases como el sulfhídrico o compuestos amoniacales por descomposición anaerobia.
- **Temperatura:** en los efluentes urbanos oscila entre 15° y 20°C, lo que facilita el desarrollo de los microorganismos existentes.
- **Sólidos:** de forma genérica, los sólidos son todos aquellos elementos o compuestos presentes en el agua residual urbana que no son agua. Entre los efectos negativos sobre los medios hídricos, caben destacar entre otros, disminución en la fotosíntesis por el aumento de la turbidez del agua, deposiciones sobre los vegetales y branquias de los peces, pudiendo provocar asfixia por colmatación de las mismas; formación de depósitos por sedimentación en el fondo de los medios receptores, favoreciendo la aparición de condiciones anaerobias o aumentos de la salinidad e incrementos de la presión osmótica.

Las **características químicas** de las aguas residuales urbanas vienen definidas por sus componentes orgánicos, inorgánicos y gaseosos.

Los **componentes orgánicos** pueden ser de origen vegetal o animal, aunque cada vez, y con mayor frecuencia, las aguas residuales urbanas también contienen compuestos orgánicos sintéticos. Las proteínas, hidratos de carbono y lípidos, así como sus derivados, son los compuestos orgánicos que principalmente aparecen en este tipo de aguas. Son biodegradables y su eliminación por oxidación es relativamente sencilla.

- Las proteínas suponen entre el 40 y el 60% de la materia orgánica de un agua residual, y junto con la urea, son los principales responsables de la presencia de nitrógeno en las aguas residuales. La existencia de grandes cantidades de proteínas en el agua residual puede ser origen de olores desagradables debido a los procesos de descomposición.
- Los hidratos de carbono representan entre un 25 y 50% de la materia orgánica. Desde el punto de vista del volumen y la resistencia a la descomposición, la celulosa es el hidrato de carbono cuya presencia en el agua residual es la más importante.
- En las aguas residuales urbanas, sin componente industrial, la presencia de grasas y aceites suele ser baja, no más de un 10%, lo que no evita que puedan provocar problemas tanto en la red de alcantarillado como en las plantas de tratamiento. Si no se elimina el contenido en grasa antes del vertido del agua residual, puede interferir con los organismos existentes en las aguas superficiales y crear películas y acumulaciones de materia flotante desagradables, impidiendo en determinadas ocasiones la realización de actividades como la fotosíntesis, respiración y transpiración.
- Junto con las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas y los aceites, en el agua residual urbana aparecen pequeñas cantidades de moléculas orgánicas sintéticas, cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente compleja. Entre estas moléculas orgánicas sintéticas, destacan los agentes tensoactivos.

Los agentes están formados por moléculas de gran tamaño, ligeramente solubles en agua. Son responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento y en la superficie de los cuerpos de agua receptores de los vertidos. Estas sustancias son los principales componentes de los detergentes, por lo que su presencia en las aguas residuales urbanas, se detecta por la aparición de espumas en la superficie. La formación de estas espumas producen un incremento de contaminación por materia orgánica disuelta al emulsionar y/o solubilizar las grasas y los aceites presentes en el agua. Por otro lado, en las plantas de depuración causa graves problemas al interferir en los procesos biológicos y en los sistemas de coagulación-floculación y decantación.

Dentro de los **compuestos inorgánicos** se incluyen a todos los sólidos de origen generalmente mineral, como las sales minerales, arcillas, lodos, arenas y gravas, y ciertos compuestos como sulfatos, carbonatos, etc., que pueden sufrir algunas transformaciones (fenómenos de óxido-reducción y otros).

La **componente gaseosa** de las aguas residuales urbanas contiene diversos gases en diferente concentración, entre los que destacan:

- Oxígeno disuelto: es fundamental para la respiración de los organismos aerobios presentes en el agua residual. El control de este gas a lo largo del tiempo, suministra una serie de datos fundamentales para el conocimiento del estado del agua residual. La cantidad presente en el agua depende de muchos factores, principalmente relacionados con la temperatura y actividades químicas y biológicas, entre otros.

- **Ácido sulfhídrico:** es un gas que se forma en un medio anaerobio por la descomposición de ciertas sustancias orgánicas e inorgánicas que contienen azufre. Su presencia se manifiesta fundamentalmente por el olor repulsivo característico que produce.
- **Anhídrido carbónico:** se produce en las fermentaciones de los compuestos orgánicos de las aguas residuales.
- **Metano:** se forma en la descomposición anaerobia de la materia orgánica, apareciendo sobre todo en cierto tipo de estaciones depuradoras, donde se llevan a cabo procesos de estabilización de fangos vía anaerobia, ofreciendo algunas posibilidades de aprovechamiento como combustible.
- **Otros gases:** Se trata principalmente de gases malolientes, como ácidos grasos volátiles, indol, escatol y otros derivados del nitrógeno.

Las **características biológicas** de las aguas residuales urbanas vienen dadas por una gran variedad de organismos vivos de alta capacidad metabólica, y gran potencial de descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica.

El componente orgánico de las aguas residuales es un medio de cultivo que permite el desarrollo de los microorganismos que cierran los ciclos biogeoquímicos de elementos como el carbono, el nitrógeno, el fósforo o el azufre.

Los organismos que principalmente se encuentran en las aguas residuales urbanas son: algas, mohos, bacterias, virus, flagelados, ciliados, rotíferos, nemátodos, anélidos, larvas, etc.

3.3. Principales contaminantes y parámetros de caracterización

Los principales compuestos a controlar y eliminar de las aguas residuales urbanas pueden resumirse en los siguientes:

Objetos gruesos: trozos de madera, trapos, plásticos, etc., que son arrojados a la red de alcantarillado.

Arenas: bajo esta denominación se engloban las arenas propiamente dichas, gravas y partículas más o menos grandes de origen mineral u orgánico.

Grasas y aceites: sustancias que al no mezclarse con el agua permanecen en su superficie dando lugar a natas. Su procedencia es tanto doméstica como industrial.

Sustancias con requerimientos de oxígeno: materia orgánica y compuestos inorgánicos que se oxidan fácilmente, lo que provoca un consumo del oxígeno del medio al que se vierten.

Nutrientes (Nitrógeno y Fósforo): su presencia en las aguas es debida principalmente a los detergentes y a los fertilizantes. Igualmente, las excretas humanas aportan nitrógeno orgánico. El nitrógeno,

fósforo y carbono son nutrientes esenciales para el crecimiento de los organismos. Cuando se vierten al medio acuático, pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Si se vierten al terreno en cantidades excesivas pueden provocar la contaminación del agua subterránea.

Agentes patógenos: organismos presentes en mayor o menor cantidad en las aguas residuales y que pueden producir o transmitir enfermedades (virus, bacterias, protozoos, hongos, etc.).

Contaminantes emergentes o prioritarios: los hábitos de consumo de la sociedad actual generan una serie de contaminantes que no existían anteriormente. Estas sustancias aparecen principalmente añadidas a productos de cuidado personal, de limpieza doméstica, farmacéuticos (residuos de antibióticos, hormonas, etc.). A estos productos se les conoce bajo la denominación genérica de contaminantes emergentes, no eliminándose la mayoría de ellos en las plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales urbanas.

Para caracterizar las aguas residuales se emplean un conjunto de parámetros que permiten cuantificar los contaminantes anteriormente definidos. Los parámetros de uso más habitual son los siguientes:

Sólidos en Suspensión: sólidos que no pasan a través de una membrana filtrante de un tamaño determinado (0,45 micras). Dentro de los sólidos en suspensión se encuentran los sólidos sedimentables, que decantan por su propio peso y los no sedimentables.

Aceites y Grasas: el contenido en aceites y grasas presentes en un agua residual se determina mediante su extracción previa con un disolvente apropiado, la posterior evaporación del disolvente y el pesaje del residuo obtenido.

Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO_5): cantidad de oxígeno disuelto ($mg\ O_2/l$) necesario para oxidar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales. En el transcurso de los cinco días de duración del ensayo se consume aproximadamente el 70 % de las sustancias biodegradables.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): cantidad de oxígeno ($mg\ O_2/l$) necesaria para oxidar los componentes del agua recurriendo a reacciones químicas.

La relación DBO_5/DQO es un factor importante, que indica la *biodegradabilidad* de las aguas residuales urbanas, entendiéndose por biodegradabilidad, la característica de algunas sustancias químicas de poder ser utilizadas como sustrato por microorganismos, que las emplean para producir energía (por respiración celular), y crear otras sustancias como aminoácidos, nuevos tejidos y nuevos organismos.



Tabla 3.1. Biodegradabilidad del agua residual urbana según la relación DBO₅/DQO

DBO ₅ /DQO	Biodegradabilidad del agua residual
0,4	Alta
0,2-0,4	Normal
0,2	Baja

Fuente: Metcalf & Eddy, 2000

Nitrógeno: se presenta en las aguas residuales en forma de amoníaco fundamentalmente y, en menor medida, como nitratos y nitritos. Para su determinación se recurre a métodos espectrofotométricos.

Fósforo: en las aguas residuales aparece principalmente como fosfatos orgánicos y polifosfatos. Para su determinación se emplean métodos espectrofotométricos.

Organismos patógenos: como organismos indicadores de contaminación fecal se utilizan normalmente los Coliformes (Totales y Fecales).

Los valores habituales de estos parámetros en las aguas residuales urbanas de origen principalmente doméstico se recogen en la tabla siguiente.

Tabla 3.2. Valores típicos de los principales contaminantes del agua residual urbana (doméstica bruta)

Parámetro	Contaminación Fuerte	Contaminación Media	Contaminación Ligera
Sólidos en Suspensión (mg/l)	350	220	100
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	400	220	110
DQO (mg O ₂ /l)	1000	500	250
Nitrógeno (mg N/l)	85	40	20
Fósforo (mg P/l)	15	8	4
Grasas (mg/l)	150	100	50
Coliformes Fecales (ufc/100 ml)	10 ⁶ -10 ⁸	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁵ -10 ⁷

Fuente: Metcalf & Eddy, 2000

3.4. Necesidad de depuración de las aguas residuales urbanas

En muchas ocasiones los vertidos de aguas residuales urbanas superan la capacidad de dilución y autodepuración de los cauces y medios receptores, lo que conlleva a un deterioro progresivo de la calidad de los mismos, e imposibilita la reutilización posterior del agua.

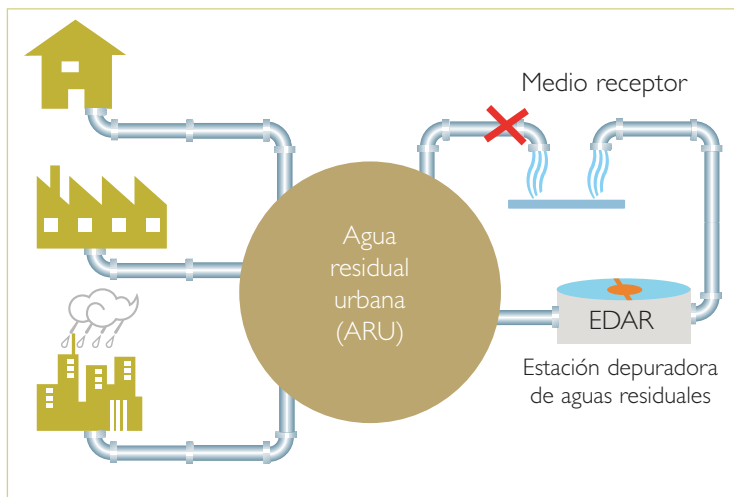
Independientemente del origen y características de las aguas residuales urbanas, éstas han de ser tratadas adecuadamente antes de su vertido o reutilización, con el fin de:

- Proteger el estado ecológico de los medios receptores (embalses, ríos, barrancos, acuíferos, mar, etc.) del grueso de la contaminación orgánica procedente de las aguas residuales urbanas.
- Evitar riesgos para la salud pública de la población.
- Producir efluentes con características físicas, químicas y microbiológicas aptas para su reutilización.

Hoy en día, las estaciones de tratamiento de aguas residuales son un complemento artificial e imprescindible de los ecosistemas acuáticos, aunque también es cierto que el grado de tratamiento de un agua residual dependerá en gran medida del conocimiento que se tenga del medio receptor, ya que esto podrá determinar la carga contaminante que puede admitir el medio receptor, sin llegar a producir un desequilibrio irreversible o importante en el mismo. Por tanto, el grado de tratamiento debe estar de acuerdo con:

- Características del medio receptor y estado de las aguas del mismo.
- Relación de caudales entre el medio receptor y el vertido.
- Utilización por parte de otros usuarios aguas abajo del vertido, así como posibilidad de tomas de aguas próximas o subterráneas.
- Balance hídrico de la zona.
- Fauna y flora tanto del medio receptor como del entorno.

Figura 3.1. Ciclo de las aguas residuales urbanas



El agua residual urbana sin depurar presenta una serie de componentes, que dependiendo de su naturaleza y concentración, pueden producir alteraciones en los equilibrios fisicoquímicos y biológicos del ecosistema receptor. Si el efluente vertido ha sido previamente tratado o depurado, los efectos negativos serán menores cuanto más completo haya sido el tratamiento. Entre estos efectos destacan:

Aparición de fangos y flotantes: si las aguas residuales se vierten sin tratar, los residuos sólidos gruesos (plásticos, restos de alimentos, etc.) y sólidos en suspensión sedimentables (arenas y materia orgánica) presentes, pueden originar sedimentos sobre el fondo, o dar lugar a la acumulación de grandes cantidades de sólidos en la superficie y/o en las orillas de los medios receptores, formando capas de flotantes. Los depósitos de fangos y flotantes no sólo son desagradables a la vista sino que, además, al contener materia orgánica pueden llegar a provocar el agotamiento del oxígeno disuelto presente en las aguas y originar el desprendimiento de malos olores.

Agotamiento del contenido de oxígeno presente en las aguas: los organismos acuáticos necesitan oxígeno para vivir. Al verter a los medios receptores residuos fácilmente oxidables (materia orgánica y compuestos amoniacales), las bacterias empezarán a alimentarse y consumirán oxígeno del medio. Si este consumo es excesivo, el contenido en oxígeno del agua descenderá por debajo de los valores mínimos necesarios para el desarrollo de la vida acuática, produciéndose la muerte de los organismos existentes en el medio. Por otro lado, al producirse procesos anaerobios, se generarán olores desagradables.

Fenómenos de eutrofización en los medios receptores: debido principalmente a aportes excesivos de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo, principalmente) se provoca el crecimiento masivo de algas y otras plantas en los medios receptores. Estos crecimientos pueden llegar a impedir el empleo de estas aguas para usos domésticos e industriales.

Daño a la salud pública: el aumento de la concentración y propagación de microorganismos patógenos para el ser humano en el medio receptor, principalmente virus y bacterias, pueden provocar enfermedades que pueden propagarse a través de las aguas contaminadas por los vertidos de aguas residuales urbanas, destacando el tífus, el cólera, la disentería, la polio y la hepatitis (A y E).

Influencia sobre la microbiología del medio natural receptor: tras un vertido de aguas residuales urbanas a un ecosistema acuático, se produce una disminución en el número de eubacterias (mayoría de las bacterias presentes, cuya composición química es similar a la de las eucariotas) y algas, mientras que aumenta el de otras bacterias que se desarrollan en aguas residuales

Foto 3.1. Vertido industrial a costa



Fuente: Leopoldo O Shannahan

con gran cantidad de materia orgánica, como la *Sphaerotilus natans*, (forma parte de los llamados hongos del lodo y causa bulking en los procesos de lodos activados). Posteriormente al vertido, se detectan incrementos en la cantidad de protozoos y finalmente de algas.

Vertidos industriales, que dependiendo de su naturaleza pueden producir contaminación de los organismos por compuestos químicos tóxicos o inhibidores.

3.5. Caudales de las aguas residuales urbanas

A la hora de abordar el diseño de una instalación de depuración de aguas residuales urbanas, donde se incluirán los sistemas de recogida, tratamiento y evacuación de las mismas, la primera fase consistirá en conocer el volumen y composición de las aguas a tratar y el régimen de caudales. Estas tres condiciones van a suponer las bases de partida, y cualquier error en las mismas conllevará a que la futura instalación no cumpla con las previsiones iniciales.

Cada agua residual es única en sus características, si bien, en función del tamaño de la población, del sistema de alcantarillado empleado, del grado de industrialización y de la incidencia de la pluviometría, pueden establecerse unos rangos de variación habituales tanto para los caudales como para las características fisicoquímicas de los vertidos.

El caudal de agua a tratar corresponde al volumen de agua que llega a la estación depuradora por unidad de tiempo.

La cantidad de aguas residuales que produce una comunidad está en proporción con el consumo de agua de abastecimiento y el grado de desarrollo económico y social de la misma, ya que un mayor desarrollo conlleva un mayor y más diverso uso del agua en las actividades humanas.

Los factores que van a influir en la cantidad de aguas residuales generadas son:

- ✖ Consumo de agua de abastecimiento.
- ✖ Pluviometría.
- ✖ Pérdidas, que pueden deberse a fugas en los colectores o a que parte de las aguas consumidas no llegan a la red de alcantarillado, destinándose a otros usos como por ejemplo riego de jardines o usos agrícolas no extensivos.
- ✖ Ganancias, por vertidos a la red de alcantarillado o por intrusiones de otras aguas a la red de colectores.

Según las instrucciones para la redacción de proyectos de abastecimiento y saneamiento del agua, dictadas en 1995 por el Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente (MOPTMA), las dotaciones de abastecimiento para los distintos rangos poblacionales se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Consumos urbanos (l/hab d), según los usos y tamaño de la población abastecida

Población (habitantes)	Doméstico municipales	Industrial	Servicios	Fugas de redes y varios	TOTAL
1 000	60	5	10	25	100
1 000-6 000	70	30	25	25	150
6 000-12 000	90	50	35	25	200
12 000-50 000	110	70	45	25	250
50 000-250 000	125	100	50	25	300
> 250 000	165	150	60	25	400

Fuente: MOPTMA, en Hernández, A. (1995)

La estimación del caudal diario del agua residual urbana que llega a una estación depuradora, en la mayoría de los casos, se realiza a partir de la dotación y población servida, de la forma:

$$Q = \frac{D \times P}{1000}$$

Donde:

Q = Caudal diario (m³/d).

D = Dotación (l/hab. d)

P = Población (hab.).

En la práctica, entre el 60 y el 85% del agua de abastecimiento consumida se transforma en aguas residuales, dependiendo del consumo de agua para actividades particulares como el riego de zonas verdes, de la existencia de fugas, del empleo del agua en procesos productivos, etc; este porcentaje debe aplicarse a los datos obtenidos a partir de la fórmula anterior.

Los caudales que llegan a las estaciones depuradoras siguen una variación diaria que es fiel reflejo de las actividades desarrolladas en la zona. Estas variaciones suelen ser importantes, siendo similares a las de consumo de agua de abastecimiento o de energía eléctrica que, para el caso de las aguas de abastecimiento, presenta un desfase de algunas horas, sobre todo en aquellas situaciones en las que las aportaciones externas e incontroladas a la red de saneamiento son mínimas.

Durante la noche y primeras horas del día, en las que los consumos de agua son mínimos, también son mínimos los caudales de aguas residuales, estando éstos compuestos fundamentalmente por aguas infiltradas y pequeñas cantidades de aguas residuales domésticas. La primera punta de caudal se alcanza cuando llega a la estación depuradora el agua correspondiente al consumo punta, aproximadamente a media mañana. La segunda punta de caudal suele tener lugar a últimas horas de la tarde,

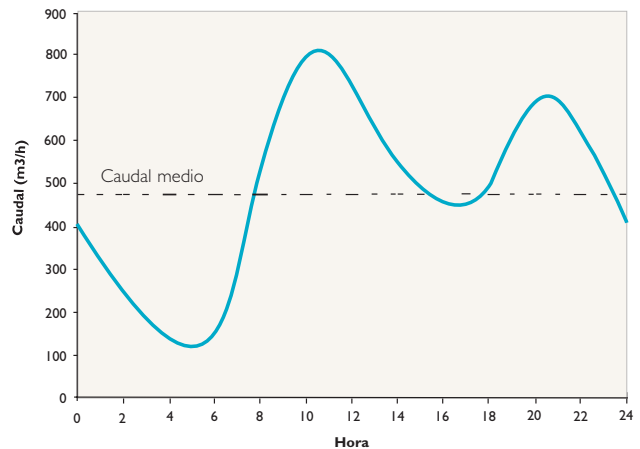
entre las 19:00 y 21:00 horas. (Asociación Nacional de Químicos Españoles, 1994). Esta evolución puede observarse en la siguiente gráfica.

Es importante conocer los valores máximos ($Q_{\max}$), mínimos ($Q_{\min}$), medios (Q_{med}) y el factor de punta (F_p) de dichos caudales.

El caudal medio (Q_{med}) vendrá definido por:

$$Q_{\text{med}} \text{ (m}^3\text{/h)} = \frac{Q}{24}$$

Figura 3.2. Evolución diaria tipo del caudal de agua residual urbana generada



El caudal máximo, se puede determinar a partir de una serie de fórmulas matemáticas de tipo empírico, siendo una de las más utilizadas:

$$Q_{\max} = Q_{\text{med}} \times (1,15 + 2,575 / (Q_{\text{med}})^{0,25})$$

La relación entre el caudal máximo y el medio se define como F_p , de la forma:

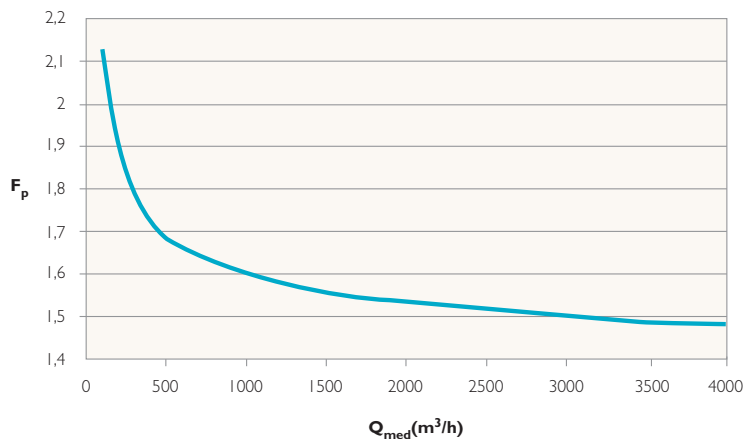
$$F_p = \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{med}}}$$

En este tipo de aguas, la relación entre el caudal máximo y el medio, varía entre 1,5 y 2,5.

En la Figura 3.3. se representan los valores de F_p , en función de los distintos valores de Q_{med} .

Como se aprecia en la gráfica anterior el factor de punta es máximo en las pequeñas aglomeraciones debido a que en estas

Figura 3.3. Relación entre F_p y Q_{med}



áreas son extremas las diferencias entre los caudales máximos y medios frente a las grandes poblaciones en las que la variabilidad de caudales es menos acentuada y se produce una generación de aguas residuales de manera constante a lo largo del día.

3.6. Marco normativo

En el apartado siguiente se recogen los aspectos más destacados de la legislación del agua en España, relacionados con la depuración de las aguas residuales urbanas. Existen cinco niveles legislativos en los que se produce la normativa que regula el sector hídrico:

- ¥ Internacional: Convenios Internacionales.
- ¥ Comunitario: Reglamentos, Directivas y Decisiones comunitarias.
- ¥ Estatal: Leyes, Reglamentos y Órdenes Ministeriales.
- ¥ Autonómicos: Leyes, Decretos Autonómicos.
- ¥ Local: Ordenanzas Municipales.

Normativa comunitaria

A nivel comunitario, existe una legislación en materia de aguas, que va marcando las líneas de actuación y obligaciones de los Estados miembros, con el objeto de proteger los recursos hídricos y por consiguiente el medio ambiente. En este marco de actuación, se pueden destacar una serie de Directivas, estrechamente relacionadas entre sí:

¥ **Directiva 2000/60/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco para la actuación comunitaria en el ámbito de la política de aguas, y se crea una nueva y moderna perspectiva de dicha política para todos los Estados Miembros de la Unión Europea. También llamada de forma abreviada Directiva Marco del Agua (DMA) se haya transpuesta al ordenamiento jurídico español (**Ley 62/2003 BOE** de 31 Diciembre de 2003).

Una característica novedosa de la DMA es que cubre todas las masas de aguas, incluyendo las continentales (superficiales y subterráneas), las de transición y las costeras, independientemente de su tamaño y características.

Presenta como objetivo principal el alcanzar el buen estado de las masas de agua en el año 2015, protegiéndolas y evitando su deterioro. Para alcanzar este objetivo da un peso muy importante a la planificación hidrológica, a la gestión por cuenca, a los análisis económicos y a la participación pública. Como objetivos intermedios adopta, entre otros:

- Establecer medidas concretas para la reducción de vertidos, emisiones y pérdidas de sustancias prioritarias y la interrupción o supresión gradual de vertidos, emisiones y pérdidas de las sustancias peligrosas prioritarias. Las sustancias prioritarias se identifican en el Anexo X de dicha Directiva.
- Garantizar la reducción progresiva de la contaminación del agua subterránea y su uso sostenible.

Otro aspecto importante en dicha Directiva es el uso de los precios en la política hidráulica. Ante de 2010 Los Estados miembros deben garantizar, por un lado que la política de precios del agua proporcione incentivos adecuados para que los usuarios utilicen de forma eficiente los recursos hídricos, y por otro, una contribución adecuada de los diversos usos del agua, desglosados, al menos, en industria, hogares y agricultura a la recuperación de los costes de los servicios relacionados con el agua, teniendo en cuenta el principio de “quien contamina paga”.

¥ **Directiva 91/271/CEE del Consejo**, de 21 de mayo de 1991, relativa a la depuración de las aguas residuales urbanas, (modificada por la **Directiva 98/15/CEE de la Comisión**, de 27 de febrero de 1998), establece como objetivo la protección del medio ambiente contra el deterioro provocado por los vertidos de aguas residuales urbanas procedentes de aglomeraciones urbanas y de las aguas residuales biodegradables procedentes de la industria agroalimentaria, solicitando a los estados miembros que prevean la recogida y tratamiento de estas aguas.

A efectos de dicha Directiva, existen una serie de definiciones relativas al tratamiento de las aguas residuales urbanas, y que es conveniente conocer, para una mejor interpretación de la misma.



Agglomeración urbana: zona geográfica formada por uno o varios municipios, o por parte de uno o varios de ellos, que por su población o actividad económica constituya un foco de generación de aguas residuales que justifique su recogida y conducción a una instalación de tratamiento o a un punto de vertido final.

Eutrofización: aumento de nutrientes en el agua, principalmente de los compuestos de nitrógeno y fósforo, que provoca un crecimiento acelerado de algas y especies vegetales superiores, con el resultado de trastornos no deseados en el equilibrio entre organismos presentes en el agua y en la calidad del agua a la que afecta.

Zona sensible: medios acuáticos superficiales que teniendo un intercambio de aguas escaso, o que recibiendo nutrientes, sean eutróficos o puedan llegar a serlo en un futuro próximo si no se adoptan medidas de protección. Las aguas dulces de superficie destinadas a la obtención de agua potable que podrían contener una concentración de nitratos superior a la que establecen las disposiciones vigentes para este tipo de aguas si no se tomasen medidas de protección.

Zona menos sensible: un medio o zona de agua marina podrá catalogarse como menos sensible, cuando el vertido de aguas residuales no tenga efectos negativos sobre el medio ambiente debido a las condiciones existentes en la zona.

Zona normal: la no incluida en las categorías de sensible y menos sensible.

Tratamiento primario: tratamiento de las aguas residuales mediante un proceso físico o fisico-químico, que incluya la sedimentación de los sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO₅ de las aguas que entren se reduzca, por lo menos, en un 20% antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos, en un 50%.



Tratamiento secundario: el tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria, u otro proceso en el que se respeten los requisitos de la Tabla 3.5.

Tratamiento adecuado: el tratamiento de las aguas residuales mediante cualquier proceso o sistema de eliminación, en virtud del cual las aguas receptoras cumplan después del vertido los objetivos de calidad previstos en el ordenamiento jurídico aplicable.

Habitante equivalente: para la medición de la contaminación biodegradable presente en las aguas residuales se ha adoptado un patrón que se conoce bajo la denominación de habitante equivalente (h.e.), que relaciona caudales y calidades de las aguas residuales, y que queda definido como “la carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO₅) de 60 gramos de oxígeno por día”.

El cálculo de los **habitantes equivalentes** es un factor sumamente importante en el ámbito de la depuración de las aguas residuales, e influye de forma significativa sobre:

- ✖ Los caudales y la calidad de las aguas residuales generadas.
- ✖ La tecnología a aplicar para la depuración de las aguas residuales.

El aporte de caudales y la calidad de los mismos, además de relacionarse con el tamaño de la población, se encuentran íntimamente relacionados con el tipo de agua consumida.

Conocido el caudal de aguas residuales (Q) generado por una aglomeración urbana y el valor de su DBO₅, la población equivalente (h.e.) se determina mediante la expresión:

$$h.e. = \frac{Q \text{ (m}^3\text{/d)} \times \text{DBO}_5 \text{ (mg/l)}}{60 \text{ g DBO}_5\text{/d}}$$

En aquellas aglomeraciones urbanas en las que los vertidos biodegradables distintos a los de procedencia doméstica sean nulos o de escasa importancia, la población equivalente será muy similar a la población de derecho de la aglomeración. Se estima como valor habitual de la relación población equivalente/ población de derecho un factor de 1,5-2.

A título de ejemplo se propone el siguiente caso práctico, para el cálculo de la población en habitantes equivalentes:



Población de **2500 habitantes**, que genera un **caudal de 300 m³/d**,
con una carga de DBO₅ de **508 mg/l**.

La equivalencia en habitantes equivalentes será:
(300 m³/d × 508 mg/l) / 60 g = **2540 h.e.**

La Directiva establece un calendario que los Estados miembros deben respetar para equipar las aglomeraciones urbanas, que cumplen los criterios establecidos en la Directiva, de sistemas colectores y de tratamiento de sus aguas residuales. Las principales fechas de cumplimiento de la Directiva se presentan a continuación.

Tabla 3.4. Calendario de cumplimiento de la *Directiva 91/271/CE*

Designación de zona	Habitantes equivalentes				
	< 2000	2000-10 000	10 000-15 000	15 000-150 000	> 150 000
Sensibles	Si hay sistema colector; 31.12.2005, tratamiento adecuado	Sistema colector; 31.12.2005, tratamiento secundario (**)	Sistema colector; 31.12.1998, tratamiento más avanzado		
Normales		Sistema colector; 31.12.2005, tratamiento adecuado	Sistema colector; 31.12.2005, tratamiento secundario	Sistema colector; 31.12.2000, tratamiento secundario	
Sensibles (aguas costeras)			Sistema colector; 31.12.2005, tratamiento secundario o primario	Sistema colector; 31.12.2000, tratamiento secundario o primario	Sistema colector; 31.12.2000, tratamiento primario (excepcional) o secundario

(**): tratamiento adecuado, si el vertido se realiza en aguas costeras.

Fuente: Comisión Europea. Dirección General de Medio Ambiente, 2000.

Los Estados miembros establecen, basándose en las disposiciones del Anexo II de dicha Directiva, una lista de zonas sensibles y menos sensibles que reciben las aguas depuradas. Estas listas deben revisarse regularmente, y en el caso de las zonas sensibles, la revisión debe realizarse, al menos, cada cuatro años.

Por otro lado, la Directiva establece requisitos específicos para los vertidos de aguas residuales industriales y biodegradables procedentes de algunos sectores industriales y que no pasan por las depuradoras de aguas residuales urbanas antes de verterse a las aguas receptoras.

Referente a la construcción de las estaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas, los Estados miembros velarán por que sean diseñadas, construidas, utilizadas y mantenidas de manera que en todas las condiciones climáticas normales de la zona tengan un rendimiento suficiente.

Según las características de la zona receptora de los vertidos, se establecen unos niveles de tratamiento de las aguas residuales urbanas generadas, los cuales se presentan a continuación.

Tabla 3.5. Requisitos de tratamiento exigibles en la depuración de las aguas residuales urbanas según las características de las zonas receptoras

ZONAS MENOS SENSIBLES (Tratamiento Primario)		
Par metro	% reducci n	
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	20	
Sólidos en Suspensión (mg/l)	50	
ZONAS NORMALES (Tratamiento Secundario)		
Par metro	Concentraci n del vertido	% reducci n
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	25	70-90
DQO (mg O ₂ /l)	125	75
Sólidos en Suspensión (mg/l)	35	90
ZONAS SENSIBLES (Tratamiento Terciario o avanzado)		
Par metro	Concentraci n del vertido	% reducci n
Nitrógeno Total (mg N/l)	15 mg/l (entre 10 000 y 100 000 h.e.)	70-80
	10 mg/l (> 100 000 h.e.)	
	2 mg/l (entre 10 000 y 100 000 h.e.)	
Fósforo Total (mg P/l)	100 000 h.e.)	80
	1 mg/l (> 100 000 h.e.)	

Fuente: Directiva 91/271/CE, R.D. L. 1/1995, R.D. 509/1996 modificado por R.D. 2161/1998

✖ **Directiva 86/278/CE**, de 12 de Junio de 1986, relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de lodos de depuradora en agricultura, donde se establecen las características fisicoquímicas que deben cumplir estos subproductos para su posible empleo en agricultura.

✖ **Directiva 76/160/CE** del Consejo, relativa a la calidad de las aguas de baño, donde se han fijado las normas obligatorias para las aguas de baño en el conjunto de la Unión Europea.

Las aguas de baño, en la medida en que son consideradas medios receptores de los efluentes líquidos urbanos generados en las poblaciones cercanas a las mismas, han de ser protegidas del riesgo de contaminación procedente de dichos vertidos.

Las aguas residuales repercuten en la calidad de las aguas de baño, tanto por el aporte de materias biodegradables, como por el aporte de nutrientes que contribuyen al fenómeno de eutrofización y por la adición de agentes patógenos a la salud pública.

Esta Directiva es un claro reflejo del estado de los conocimientos y de la experiencia, desde el punto de vista técnico y social de la década de 1970; por lo que el 24 de octubre de 2002 la

Comisión presentó la Propuesta de Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la calidad de las aguas de baño.

En la Propuesta se sugiere que el tratamiento de la calidad de las aguas de baño, no debe ser sólo materia de control de calidad, sino que debe incluir un completo entendimiento de los procesos implicados en la determinación de la calidad de dichas aguas y su variabilidad.

Respecto a los parámetros de control, frente a los 19 establecidos por la Directiva de 1976, la Propuesta impone las inspecciones visuales del lugar de baño y el control de dos tipos de bacterias que científicamente han demostrado ser indicadores fiables de la presencia de contaminación fecal: *Escherichia coli* y *Enterococos* intestinales.

Legislación nacional

La **Constitución** española de 1978 recoge aspectos relativos al derecho de todos los ciudadanos al medio ambiente:

- ✖ Reconocimiento del derecho de un medio ambiente adecuado para todos los españoles.
- ✖ Obligación de conservarlo y mantenerlo para su adecuada utilización de las generaciones futuras.
- ✖ La obligación de todos y especialmente de los poderes públicos, de velar por la utilización racional de los recursos naturales con el fin de proteger y mejorar la calidad de vida.

La **Ley de Aguas 29/1985** de 2 de agosto, modificada por la **Ley 46/1999** de 13 de diciembre, donde se protege el dominio público:

- ✖ Con el tratamiento y recuperación de las aguas para preservar su calidad y usos prioritarios.
- ✖ Exigiendo autorización de todos los vertidos.
- ✖ Fomentando la reutilización del agua para usos secundarios y reservando las de mejor calidad.
- ✖ Estableciendo un sistema de sanciones y responsabilidades legales por daños y perjuicios.

La Incorporación a la legislación nacional de la **Directiva 91/271/CE**: de acuerdo con el artículo 19 de la **Directiva 91/271/CE**, los Estados miembros deben habilitar las disposiciones legislativas, reglamentarias y administrativas necesarias para dar cumplimiento a la misma. La transposición de la Directiva a la legislación española se ha llevado a cabo mediante:

- ✖ **Real Decreto Ley 11/95** de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- ✖ **Real Decreto 509/96** de 15 de marzo, de desarrollo del **Real Decreto Ley 11/1995**, que completa la incorporación de la norma comunitaria al ordenamiento jurídico español, y complementa las normas sobre recogida, depuración y vertido de las aguas residuales urbanas.

✖ *Resolución de 25 de mayo de 1998* de la Secretaría de Estado de Aguas y Costas por la que se declaran “zonas sensibles” en las cuencas hidrográficas intercomunitarias.

✖ *Real Decreto 2116/98* de 2 de octubre, que modifica el *Real Decreto 509/96*, en el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

La incorporación a la legislación nacional de la **Directiva 86/278/CE**:

✖ *Real Decreto 1310/1990*, de 29 de Octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario.

✖ *Orden 1993/26572*, de 26 de Octubre, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario, en la que se contempla que “con el fin de disponer de un censo de plantas depuradoras, los Entes locales y demás titulares de estaciones depuradoras de aguas residuales, enviarán antes del día 31 de Diciembre de 1993, al órgano competente de su correspondiente Comunidad Autónoma, las características de la planta de depuración de sus aguas residuales”.

El **Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales (1995-2005)**: mediante la Resolución de 28 de abril de 1995. El texto se aprobó por el Consejo de Ministros el 17 de febrero de 1995 y, posteriormente, tras Reunión Sectorial de Medio Ambiente, fue refrendado por las Comunidades Autónomas. Dicho Plan se ha actualizado en 1998.

El Plan Nacional de Saneamiento y Depuración, no se limita únicamente a ejecutar nuevas infraestructuras, sino que también aborda una serie de actuaciones complementarias, que hay que programar y llevar a cabo dentro del mismo marco y escenario temporal de la Directiva 91/271, destacando:

✖ Ampliación, mejora y rehabilitación de los sistemas colectores y emisarios.

✖ Modificación y mejora de las instalaciones de depuración para que cumplan con los requisitos de la Directiva.

✖ Adaptación de los sistemas de saneamiento y depuración al aumento de la carga contaminante que se ha producido.

✖ Incorporación de tratamiento secundario en las instalaciones depuradoras que sólo cuenten con tratamiento primario, de acuerdo con la Directiva.

✖ Eliminación de nutrientes en las instalaciones que vierten a zonas declaradas como sensibles.

✖ Mejora de las instalaciones para reducir y evitar los impactos ambientales (olores, ruido, impacto visual, etc.).

Normativa para la reutilización de las aguas residuales depuradas

En la actualidad existe un vacío en la normativa comunitaria que regule la reutilización de las aguas residuales depuradas. España está en discusión interministerial (principios de 2006) el borrador de una normativa nacional. Comunidades Autónomas como Andalucía, Baleares y Cataluña, han dictado normas para el empleo de dichas aguas.

En Andalucía, la Consejería de Salud redactó en 1994 los “Criterios de reutilización de las aguas residuales depuradas”, en los que se establecen los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos que han de cumplir los efluentes depurados para su posterior empleo en riego agrícola y zonas verdes.

A nivel nacional, el CEDEX (Ministerio de Medio Ambiente), redactó en 1998 una “Propuesta de calidades mínimas exigidas para la reutilización de efluentes depurados” según los distintos usos posibles, así como de aspectos relativos a la metodología, frecuencia de muestreo y criterios de cumplimiento de los análisis establecidos, para incluir en una normativa de carácter estatal. Se recogen los criterios fisicoquímicos y biológicos que deben cumplir las aguas residuales depuradas para su reutilización en diferentes usos (riego agrícola, refrigeración industrial, usos recreativos, acuicultura y recarga de acuíferos).

Plan Nacional de Lodos de Depuradoras de Aguas Residuales (2001-2006): pretende proteger el medio ambiente y especialmente la calidad del suelo, gestionando adecuadamente los lodos, así como el logro de los siguientes objetivos ecológicos:

- ✖ Reducción en origen de la contaminación de lodos.
- ✖ Caracterización de los lodos de depuradoras de aguas residuales generados en España, antes de 2003.
- ✖ Valorización de al menos el 80% de los lodos antes de 2007.
- ✖ Reducción a un máximo del 20% los lodos depositados en vertedero, antes de 2007.

Legislación autonómica

Para cada una de las Comunidades Autónomas existen marcos legales que contemplan los comunitarios y nacionales, que han de tenerse en cuenta en los estudios de viabilidad en materia de depuración de aguas residuales, así como sobre los lodos generados durante el proceso. En el caso de las Comunidades Autónomas de Andalucía y Canarias, existen las siguientes legislaciones:

✖ Andalucía:

- *Orden de 22 de Noviembre de 1993*, por la que se desarrolla en el Ámbito de la Comunidad Autónoma Andaluza el Real Decreto 1310/1990 y Orden de 26 de Octubre de 1993, del Ministerio de agricultura, Pesca y Alimentación, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario.
- *Decreto 54/1999* de 2 de marzo, de la Junta de Andalucía, por el que se declaran las zonas sensibles, normales y menos sensibles en las aguas del litoral y de las cuencas hidrográficas intracomunitarias de la Comunidad Autónoma de Andalucía.
- *Decreto 310/2003* de 4 de noviembre de la Junta de Andalucía, por el que se delimitan las aglomeraciones urbanas para el tratamiento de las aguas residuales en Andalucía y se establece el ámbito territorial de gestión de los servicios del ciclo integral del agua de las Entidades Locales a los efectos de actuación prioritaria de la Junta de Andalucía.

✚ *Canarias:*

- *Ley 12/1990*, de 26 de julio, de Aguas.
- *Decreto 174/1994*, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Control de Vertidos para la Protección del Dominio Público Hidráulico (BOC nº 104, de 24 de agosto de 1994).
- *Decreto 49/2000*, de 10 de abril, por el que se determinan las masas de agua afectadas por la contaminación de nitratos de origen agrario y se designan las zonas vulnerables por dicha contaminación. (BOC nº 48, de 19.04.00).
- *Orden de 27 de octubre de 2000*, por la que se establece el Programa de Actuación a que se refiere el artículo 6 del *Real Decreto 261/1996*, de 16 de febrero, con el objeto de prevenir y reducir la contaminación causada por los nitratos de origen agrario. (BOC nº 149, de 13.11.00).

Ordenanzas locales

Se establecen una serie de ordenanzas de vertido con objeto de poder asegurar la biodegradabilidad del agua residual considerada doméstica y no perturbar el tratamiento de las estaciones de depuración que pueden ser sustentadas en un proceso biológico. Los controles establecidos se basan normalmente, entre otros en:

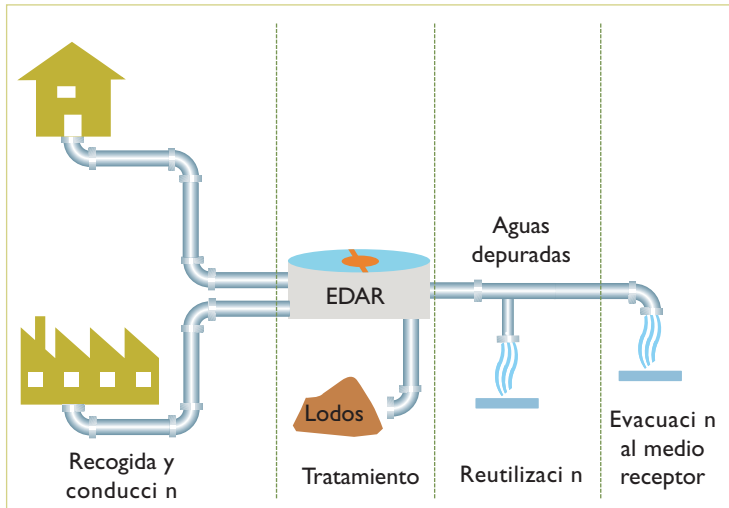
- ✚ Control de vertidos dentro de la red de saneamiento.
- ✚ Establecimiento de máximas concentraciones de los distintos parámetros de las industrias para mantener el grado óptimo de la depuración.
- ✚ Tarificación atendiendo a caudales y concentraciones de todas las acometidas.

3.7. Fundamentos básicos del tratamiento de las aguas residuales urbanas

Las instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales urbanas constan de tres elementos principales:

- ✚ **Recogida y conducción** de las aguas generadas hasta la estación de tratamiento.
- ✚ **Tratamiento** de las aguas residuales.
- ✚ **Evacuación** de los productos resultantes del tratamiento, efluentes depurados y lodos.

Figura 3.4. Elementos constituyentes de las instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales urbanas



3.7.1. Recogida y conducción

La recogida y conducción de las aguas residuales urbanas desde la población en la que se generan hasta la estación depuradora se realiza a través de una compleja red de tuberías (alcantarillado, colectores). Este agua, dependiendo de la topografía del terreno, será conducida por gravedad a la planta de tratamiento, o en determinados casos, habrá que recurrir a su bombeo.

Normalmente, los sistemas de recogida son unitarios, es decir, la red de saneamiento recoge tanto las aguas residuales como las de lluvia. En ocasiones, los colectores que llegan a la estación de tratamiento transportan tan sólo aguas residuales, mientras que las aguas de lluvia se recogen en colectores independientes (sistema separativo).

Con el objetivo de que a la estación depuradora no llegue más caudal del proyectado, en los colectores se instalan aliviaderos, que permiten derivar los excesos de caudal. Esta situación tiene lugar principalmente en los períodos en que se registran fuertes lluvias.

Foto 3.2. Colector de entrada. EDAR de Almonaster la Real (Huelva)



Igualmente, para poder derivar todo el agua residual antes de su entrada a la depuradora, en caso de problemas de funcionamiento, se instala a la llegada de los vertidos un by-pass general.

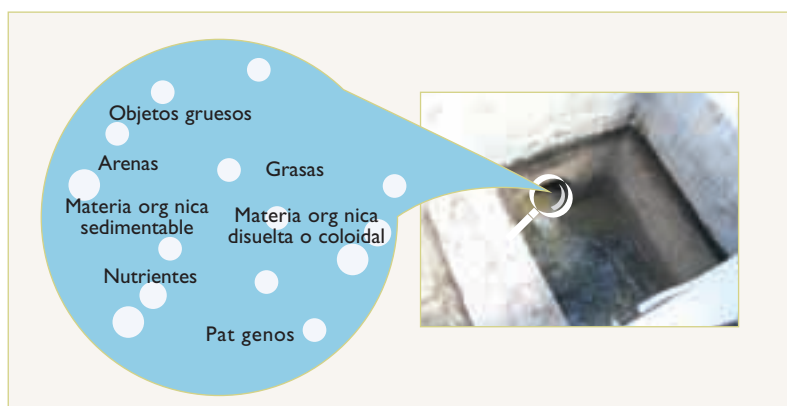
También se disponen by-pass parciales detrás de cada etapa del tratamiento de las aguas, para poder proceder al vertido de los efluentes de estas etapas sin pasar por la fase siguiente, en caso de que se registren incidentes operativos. Estos by-pass suelen descargar en una misma línea, junto con el by-pass general y los efluentes depurados.

3.7.2. Tratamiento

El tratamiento de las aguas residuales urbanas supone la aplicación de unos procesos físicos, biológicos y químicos, de forma que los niveles de contaminación que queden en los efluentes tratados cumplan los límites legales existentes y puedan ser asimilados de forma natural por los medios receptores.

Durante el proceso de depuración de las aguas residuales generadas existen dos factores a tener en cuenta a la hora de llevar a cabo el tratamiento. Estos son, los componentes de dichas aguas y el orden de eliminación de los mismos durante el proceso.

Figura 3.5. Componentes de las aguas residuales urbanas



El orden de eliminación de los componentes presentes durante el proceso de depuración es: objetos gruesos, arenas, grasas, materia orgánica sedimentable, materia orgánica disuelta o coloidal, nutrientes y patógenos.

En las depuradoras convencionales de aguas residuales urbanas se distinguen dos líneas de tratamiento:

- ✚ Línea de agua, donde se incluyen los procesos o tratamientos que permiten reducir los contaminantes presentes en las aguas residuales.
- ✚ Línea de lodos, donde se tratan la mayor parte de los subproductos que se originan en la línea de agua.

Linea de agua

Las distintas etapas en las que tienen lugar el tratamiento de las aguas residuales urbanas son: Pretratamiento, Tratamientos Primario, Secundario y Terciario.



Las aguas residuales antes de su tratamiento, se someten a un **Pretratamiento**. Comprende una serie de operaciones físicas y mecánicas, cuyo objetivo es separar del agua residual la mayor cantidad posible de materias que por su naturaleza o tamaño pueden originar problemas en las etapas posteriores del tratamiento. El correcto diseño y posterior mantenimiento de la etapa de pretratamiento son aspectos de gran importancia, pues cualquier deficiencia en los mismos repercute negativamente en el resto de las instalaciones, originando obstrucciones de tuberías, válvulas y bombas, desgaste de equipos, formación de costras, etc.

Las operaciones que comprende el pretratamiento generalmente son: *desbaste*, *desarenado*, y *desengrasado*.

Desbaste: consiste en la eliminación de los sólidos de tamaño grande y mediano (trozos de madera, trapos, raíces, etc.), así como de finos, que de otro modo podrían deteriorar o bloquear los equipos mecánicos y obstruir el paso de la corriente de agua. El procedimiento más usual consiste en hacer pasar las aguas a través de rejas, que de acuerdo con la separación entre los barrotes pueden clasificarse en:

- ¥ Desbaste de gruesos: el paso libre entre los barrotes es de 50 a 100 mm.
- ¥ Desbaste de finos: el paso libre entre los barrotes es de 10 a 25 mm.

Tamizado: tiene por objeto la reducción del contenido de sólidos en suspensión de las aguas residuales, mediante su filtración a través de un soporte delgado dotado de ranuras de paso. Para el pretratamiento de las aguas residuales urbanas se recurre al empleo de tamices con luces de paso comprendidas entre 0,2 y 6 mm. Existen dos tipos de tamices:

- ¥ Estáticos. Constan de un enrejado constituido por barras horizontales, orientados de tal forma que la parte plana se encara al flujo. La inclinación del enrejado disminuye progresivamente de

Foto 3.3. Canal de desbaste.
EDAR de Almonte (Huelva)



arriba abajo, entre 65° y 45° , aproximadamente. El agua a tratar se introduce por la parte superior del tamiz, y los sólidos mayores que la luz de paso quedan retenidos por el enrejado, rodando hasta un contenedor inferior.

¥ Rotativos. Están constituidos por un enrejado cilíndrico de eje horizontal, que gira lentamente accionado por un motorreductor. La alimentación del tamiz se efectúa por su parte exterior, y los sólidos de tamaño superior a la luz de paso, quedan retenidos en la parte externa del cilindro, eliminándose por la acción de una cuchilla y por el propio giro de la unidad.

Foto 3.4. Tamiz estático.
EDAR de Fondón (Almería)



Foto 3.5. Tamiz rotativo. EDAR AENA
Arrecife (Lanzarote-Las Palmas)



Desarenado: su objetivo es la extracción de la mayor cantidad posible de las arenas presentes en las aguas residuales. Dentro de la denominación “arenas” se incluyen las arenas propiamente dichas, gravas y partículas más o menos grandes de origen mineral u orgánico. Con esta operación se pretende proteger los equipos mecánicos contra la abrasión y el desgaste y evitar la acumulación de estas materias pesadas. Normalmente, se dimensionan los desarenadores para la eliminación de partículas de tamaño superior a los 0,2 mm.

Desengrasado: en esta etapa se eliminan las grasas y demás materias flotantes de menor densidad que el agua. Normalmente, las operaciones de desarenado y desengrasado se llevan a cabo de forma conjunta en unidades de tratamiento conocidas como desarenadores-desengrasadores aireados.

El Real Decreto Ley 11/95 define **Tratamiento Primario** como “el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o fisicoquímico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO_5 de las aguas residuales que entren, se reduzca, por lo menos, en un 20% antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos, en un 50%”.



Los Tratamientos Primarios más habituales son:

Decantación primaria: su objetivo es la eliminación de la mayor parte de los sólidos sedimentables, bajo la acción exclusiva de la gravedad. La retirada de estos sólidos es muy importante, ya que en caso contrario originarían fuertes demandas de oxígeno en el resto de las etapas de tratamiento de la estación.

Tratamientos fisicoquímicos: en este tipo de tratamiento se consigue, mediante la adición de reactivos químicos, incrementar la reducción de los sólidos en suspensión, al eliminar, además, sólidos coloidales. Se incrementa el tamaño y densidad de los mismos mediante procesos de coagulación-floculación. Estos tratamientos se aplican fundamentalmente:

- ✖ Cuando las aguas residuales presentan vertidos industriales que pueden afectar negativamente al tratamiento biológico.
- ✖ Para evitar sobrecargas en el posterior tratamiento biológico.
- ✖ Cuando se dan fuertes variaciones estacionales de caudal.
- ✖ Para la reducción del contenido en fósforo.

Foto 3.6. Detalle de desarenador-desengrasador aireado. EDAR de El Bobar (Almería)



Foto 3.7. Detalle de Decantador Primario. EDAR de Arroyo de la Miel (Málaga)



Foto 3.8. Detalle de tratamiento fisicoquímico (c mara de floculación-coagulación). EDAR de El Rompido (Huelva)



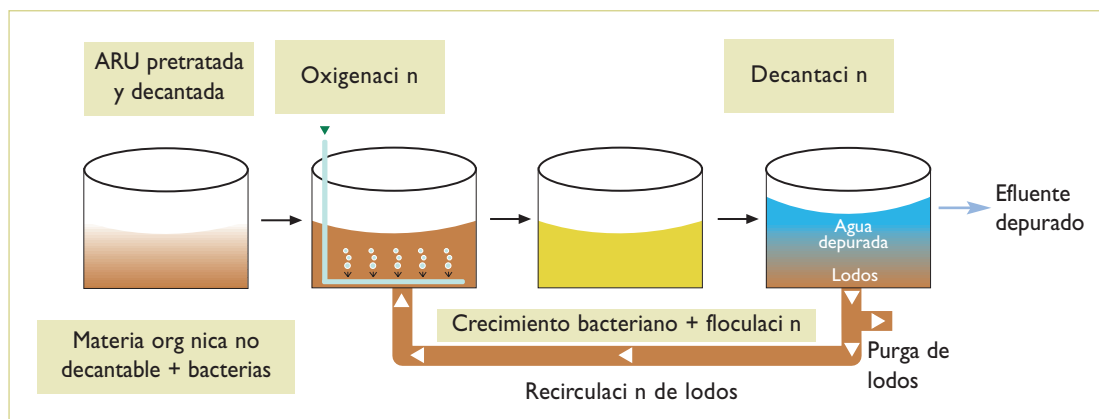
El Real Decreto Ley 11/95 define **Tratamiento Secundario** como "el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso, en el que se respeten los requisitos que se establecerán reglamentariamente".

Con estos tratamientos se pretende la reducción de la contaminación orgánica y la coagulación y eliminación de sólidos coloidales no decantables. Los procesos biológicos se realizan con la ayuda de microorganismos (fundamentalmente bacterias), que en condiciones aerobias actúan sobre la materia orgánica presente en las aguas residuales. El aporte de oxígeno para el mantenimiento de las reacciones biológicas (oxidación, síntesis y respiración endógena), generalmente se realiza introduciendo aire en los recipientes donde se llevan a cabo estas reacciones. Estos recipientes se conocen con el nombre de *Reactores Biológicos* o *Cubas de Aireación*. Los dos métodos más habituales para el aporte de oxígeno a los Reactores Biológicos hacen usos de aireadores mecánicos o de difusores.

Las nuevas bacterias que van apareciendo en los reactores tienden a unirse (floculación), formando agregados de mayor densidad que el líquido circundante, y en cuya superficie se va adsorbiendo la materia en forma coloidal. Para la separación de estos agregados, conocidos como *lodos o fangos*, el contenido de los Reactores Biológicos (*licor de mezcla*) se conduce a una etapa posterior de decantación (Decantación o Clarificación Secundaria), donde se consigue la separación de los lodos de los efluentes depurados por la acción de la gravedad.

De los lodos decantados una fracción se purga como lodos en exceso, mientras que otra porción se recircula al Reactor Biológico para mantener en él una concentración determinada de microorganismos.

Figura 3.6. Esquema de Tratamiento Secundario en la depuración de las aguas residuales urbanas



El proceso anteriormente descrito, se conoce como *Lodos Activos*. Fue desarrollado en 1914 en Inglaterra por Arden y Lockett, y hoy en día esta tecnología en sus distintas modalidades (Convencional, Contacto-Estabilización, Aireación Prolongada, etc.), es la más ampliamente aplicada a nivel mundial para el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Foto 3.9. Detalle de Reactor Biológico.
EDAR de El Rompido (Huelva)



Foto 3.10. Detalle de EDAR del Sureste de
Gran Canaria (Las Palmas)



Los **Tratamientos Terciarios**, también conocidos como tratamientos avanzados, más rigurosos, complementarios, etc., permiten obtener mejores rendimientos de eliminación de DBO_5 y materia en suspensión, así como reducir otros contaminantes como nutrientes y metales, lo que puede permitir la posterior reutilización de los efluentes depurados. La eliminación de materia particulada y coloidal presente en los efluentes depurados puede lograrse mediante la aplicación de tratamientos fisicoquímicos (coagulación-floculación) y la posterior

Para la eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo), se recurre cada vez más al empleo de procesos biológicos. No obstante, en el caso del fósforo, los procesos de precipitación química, empleando sales de hierro y de aluminio, continúan siendo los de mayor aplicación.

En la eliminación biológica de nitrógeno se opera de forma secuencial bajo condiciones óxicas y anóxicas, que dan como resultado final su liberación a la atmósfera, en forma de nitrógeno gaseoso.

Para la eliminación biológica del fósforo, se combinan reactores operando bajo condiciones anaerobias, óxicas y anóxicas, quedando el fósforo almacenado en los microorganismos, que posteriormente se extraen como lodos en exceso. Combinando los procesos anteriores también es posible la eliminación conjunta de ambos nutrientes.

Debido a la propia naturaleza de las aguas residuales urbanas o la contaminación de éstas con aguas saladas durante la recolección y transporte a las estaciones de tratamiento, la salinidad de éstas aumenta considerablemente lo que hace inviable su reutilización directa para riego. En estos casos se hace necesaria la utilización de procesos de desalación de aguas en los procesos terciarios. Debido al carácter salobre de estas aguas, cuya salinidad suele ser inferior a los 5 gr/l, se utilizan las tecnologías de desalación por ósmosis inversa o electrodiálisis reversible.

Foto 3.11. Detalle de Tratamiento Terciario. EDAR de Maspalomas (Gran Canaria-Las Palmas)



Foto 3.12. Detalle de tratamiento terciario. EDAR del Sureste de Gran Canaria (Las Palmas)



Previo a este paso es práctica habitual la utilización de técnicas de filtración como la ultrafiltración (UF) o la microfiltración (MF).

Con relación a la desinfección de los efluentes depurados. El cloro ha sido, y continua siendo, el desinfectante típico en el campo de las aguas residuales. Al incrementarse el número de requisitos para lograr bajas o indetectables cantidades de cloro residual en los efluentes tratados, se hace precisa la implantación de procesos posteriores de decloración, o bien, la sustitución de los sistemas de cloración por sistemas de desinfección alternativos, tales como la radiación UV, el empleo de ozono o el uso de membranas.

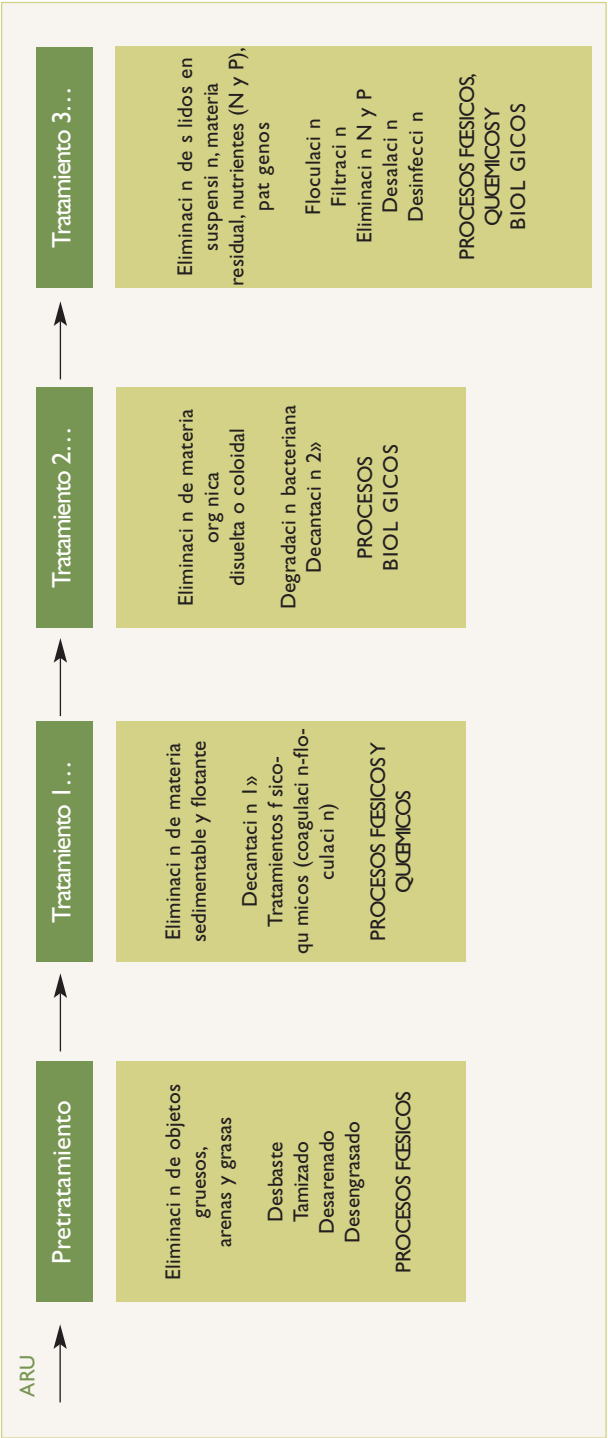
En la Tabla 3.6 se muestran los rendimientos medios de depuración que se alcanzan en función del tipo de tratamiento aplicado a las aguas residuales urbanas.

Tabla 3.6. Rendimientos (%) en las etapas de depuración de las aguas residuales urbanas

Etapas de depuración	Sólidos en suspensión	DBO ₅	<i>E. coli</i>
Pretratamiento	5 – 15	5 – 10	10 – 25
Tratamientos Primarios	40 – 70	25 – 40	25 – 70
Tratamientos Secundarios	80 – 90	80 – 95	90 – 98
Tratamientos Terciarios	90 – 95	95 – 98	98 – 99

A modo de resumen, en la Figura 3.7 se muestran las distintas etapas en la línea de agua en la depuración de las aguas residuales urbanas.

Figura 3.7. Etapa de la línea de agua en la depuración de las aguas residuales urbanas



Línea de lodos

El tratamiento de las aguas residuales urbanas conduce a la producción de unos subproductos conocidos como lodos o fangos, o más recientemente, biosólidos, entre los que cabe hacer la distinción de:

- ✧ *Lodos primarios*: son los sólidos decantados en el Tratamiento Primario.
- ✧ *Lodos secundarios o biológicos*: corresponden a los sólidos retenidos en el Decantador tras el paso de las aguas por el Reactor Biológico.

En el tratamiento de los lodos generados en la depuración de las aguas residuales urbanas existen una serie de etapas, consistentes en:

- ✧ **Espesamiento**: se incrementa la concentración del lodo mediante la eliminación del agua que contiene. Los métodos más habituales son: por gravedad y por flotación; siendo este último más apropiado para el espesamiento de los lodos secundarios o biológicos.
- ✧ **Estabilización**: se reduce la fracción biodegradable presente en los lodos, para evitar su putrefacción y la consecuente generación de olores desagradables. La estabilización puede hacerse mediante:

Foto 3.13. Espesador de lodos.
EDAR de Manilva (Málaga)



Foto 3.14. Estabilización anaerobia de lodos. EDAR de Manilva (Málaga)

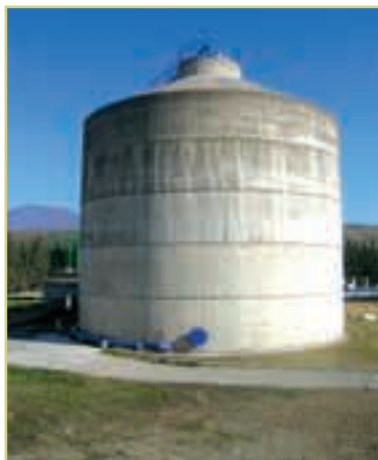


Foto 3.15. Secado mecánico de lodos: Filtros Banda. EDAR de Manilva (Málaga)



- *Digestión aerobia o anaerobia*, eliminándose en torno al 40-50% de la materia orgánica presente en el lodo.
 - *Estabilización química*, mediante la elevación del pH por adición de cal.
 - *Tratamiento térmico*.
- ¥ **Acondicionamiento:** mediante la adición de productos químicos, se mejora la deshidratación de los lodos, facilitando la eliminación del agua.
- ¥ **Deshidratación:** se elimina parte del agua contenida en los lodos, con el objeto de transformarlos en sólidos fácilmente manejables y transportables. Los métodos más habituales son:
- *Centrifugación*.
 - *Filtración (bandas, vacío, presión, etc.)*.
 - *Secado térmico*.
 - *Eras de secado*.

En la Figura 3.8 se muestran las distintas etapas en la línea de lodos en la depuración de las aguas residuales urbanas.

Tratamiento de las aguas de tormenta

En determinadas ocasiones, el aumento de volumen debido a las aguas de tormenta, provoca el desbordamiento de los sistemas colectores unitarios, con lo que se han de acometer una serie de actuaciones en pro de prevenir la posterior contaminación de los medios receptores. Estas actuaciones pueden ser:

- ¥ Implantación de aliviaderos con una relación de dilución más elevada.
- ¥ Instalación de equipos de desbaste en el vertido de los aliviaderos, al objeto de separar y retirar los elementos gruesos.
- ¥ Construcción de balsas o depósitos de tormentas para almacenar y regular la incorporación de los caudales excepcionales a las instalaciones de Tratamiento Primario de las depuradoras.

3.7.3. Evacuación y reutilización

En una estación depuradora la corriente entrante (aguas residuales urbanas), como consecuencia de los procesos de tratamiento a que se ve sometida, se transforma en dos corrientes salientes: efluentes depurados y lodos. Con la evacuación de ambas corrientes se da por finalizado el tratamiento de las aguas residuales urbanas.

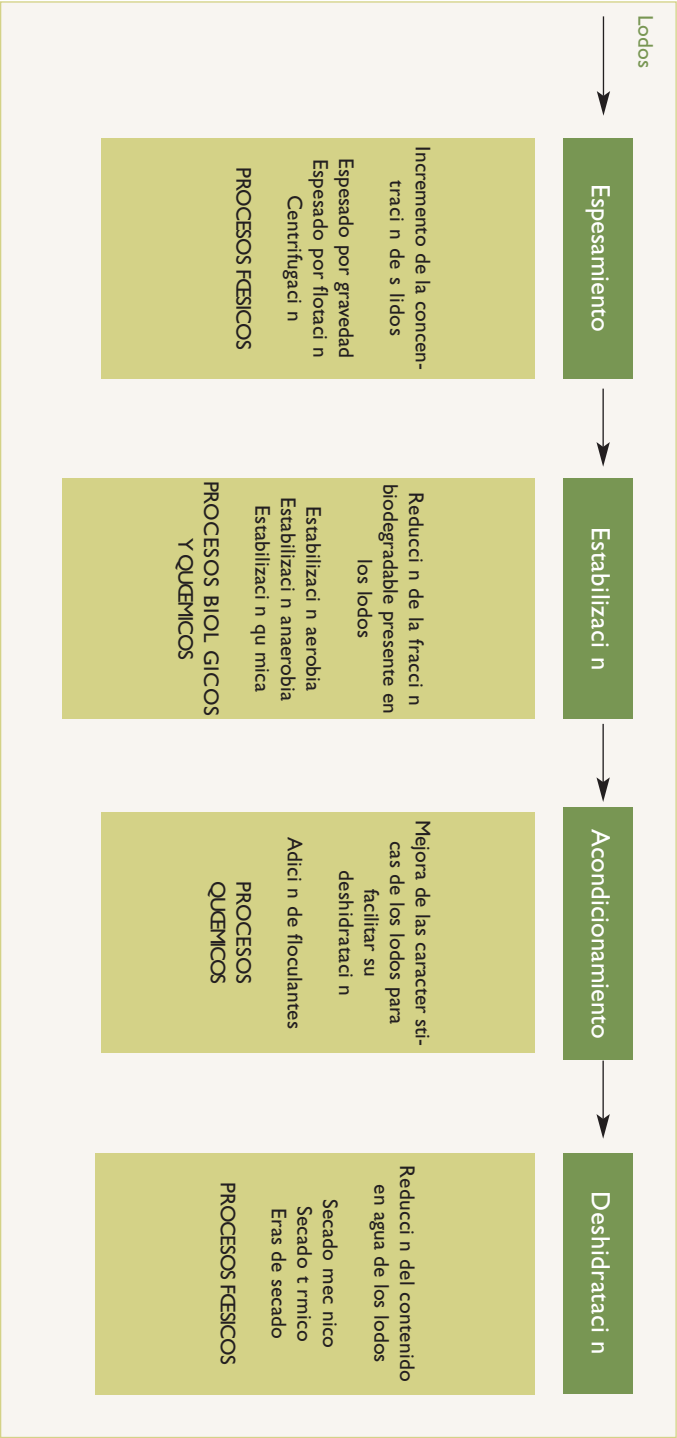


Figura 3.8. Etapa de la línea de lodos en la depuración de las aguas residuales urbanas

Los efluentes depurados, si han alcanzado el grado de tratamiento requerido en cada caso, pueden ser vertidos a los medios receptores próximos a la estación depuradora, aunque, cada vez más, existen otros destinos alternativos para su reutilización, entre los que cabe destacar (adaptado de EPA, 1992):

¥ Reutilización urbana:

- Riego de parques públicos, campos deportivos, jardines, áreas verdes de edificios públicos, industrias, centros comerciales y carreteras.
- Riego de áreas ajardinadas de las residencias unifamiliares y multifamiliares.
- Usos ornamentales: fuentes y estanques.
- Limpieza de calles.
- Protección contra incendios.
- Agua de cisternas para urinarios públicos y en edificios comerciales e industriales.

¥ Reutilización industrial:

- Refrigeración.
- Procesos industriales.
- Construcción.

¥ Riego agrícola.

¥ Recarga de acuíferos para control de la intrusión marina.

¥ Restauración de hábitats naturales y mejora del entorno.

¥ Usos municipales y recreativos (riego de masas forestales de propiedad pública, riego de parques y jardines públicos, riego de calles, embalsamiento para producción de incendios municipales y forestales, creación de lagos artificiales).

¥ Transporte y lavado (materias primas: carbón, azucareras, productos acabados y semiacabados: pastas en papeleras, productos de laminado, pieles en curtidurías, tejidos en tintorerías, lavados de mantenimiento: vagones, suelos, calles de polígonos industriales, fachadas, etc.).

¥ Producción de biomasa animal y vegetal (riego de especies agrícolas o forestales, producción de microalgas, piscicultura, etc.).

¥ Aumento de los recursos potables.

En el caso de los lodos, como alternativas a su descarga en vertedero deben contemplarse los siguientes destinos:

- ¥ Uso agrícola: los lodos contienen entre un 40 y un 80% de materia orgánica, así como nitrógeno y fósforo, nutrientes fundamentales para el crecimiento vegetal.
- ¥ Incineración: de esta manera se reduce al máximo el volumen del fango, se destruyen los patógenos y compuestos tóxicos y es posible la recuperación de energía. Por el contrario, los costes son elevados, y las emisiones gaseosas y cenizas producen efectos negativos sobre el medio ambiente.

Depuración de las aguas residuales de pequeñas aglomeraciones urbanas

En España, existen más de 8000 municipios, de los que 6000 cuentan con menos de 2000 habitantes. En el caso de Andalucía, el 85% de los núcleos de población no superan esta población, dato que coincide en la Comunidad Autónoma de Canarias, donde el 83% de las entidades de población no superan los 2000 habitantes.



El **Real Decreto Ley 11/95** fija el 1 de Enero de 2006 como fecha límite para que las aglomeraciones urbanas menores de 2000 habitantes equivalentes, que viertan a aguas continentales o estuarios, sometan a sus aguas residuales a un tratamiento adecuado, entendiendo por tratamiento adecuado: "el tratamiento de las aguas residuales mediante cualquier proceso o sistema de eliminación, en virtud del cual las aguas receptoras cumplan después del vertido los objetivos de calidad previstos en el ordenamiento jurídico aplicable".

En la actualidad, son estas pequeñas aglomeraciones las que presentan más carencias en lo que al tratamiento de sus aguas residuales se refiere. Por ello, es en este tipo de población rural y dispersa donde deberá hacerse, en un futuro próximo, un gran esfuerzo para corregir sus carencias en saneamiento y depuración y poder cumplir la normativa vigente.

Hasta ahora, y con mayor frecuencia de lo deseado, las estaciones depuradoras para el tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas, han sido concebidas y diseñadas como meros modelos a escala reducida de las grandes instalaciones de depuración. Como consecuencia directa de esta forma de actuar, estas estaciones presentan unos costes de explotación y mantenimiento difícilmente asumibles por las entidades responsables, donde, en la mayoría de los casos, los recursos técnicos y económicos son muy limitados.

En materia de tratamiento de aguas residuales, las pequeñas aglomeraciones precisan actuaciones que compatibilicen las condiciones exigidas a los efluentes depurados con técnicas de funcionamiento simple y con costes de explotación y mantenimiento que puedan ser realmente asumibles.

4.1. Características de las aguas residuales en las pequeñas aglomeraciones urbanas

Como consecuencia del diferente grado de desarrollo económico y social, las aguas residuales procedentes de las pequeñas aglomeraciones urbanas presentan unas características propias (fuertes oscilaciones de caudal y carga, así como elevadas concentraciones), que las diferencian notablemente de las que proceden de los grandes núcleos de población. Este hecho que ha de tenerse en cuenta a la hora de diseñar dichas instalaciones.

4.1.1. Caudales

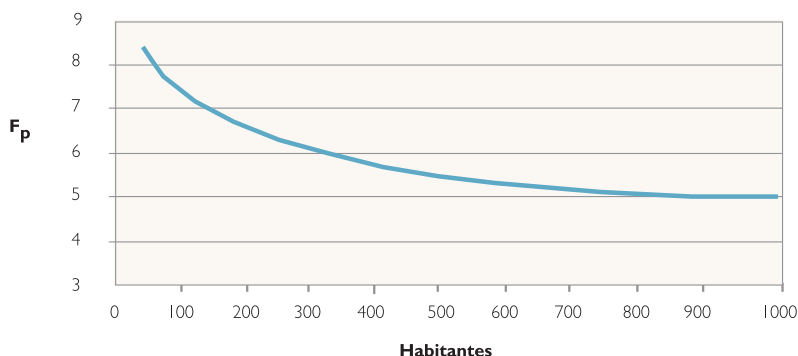
Cuanto más pequeño es el núcleo poblacional mayores son las oscilaciones del caudal de aguas residuales generadas, pasándose, en el caso de residencias individuales, de caudales casi nulos a primeras horas de la mañana, a caudales punta horarios que superan ocho veces el caudal medio.

En el diseño de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas de núcleos de población muy pequeños, se utiliza el término de caudal medio diurno, que es el caudal medio, suponiendo que éste se produce solamente en 16 horas (Sainz, 2005).

$$Q_{medio} = \frac{Q_{diario}}{16}$$

Se estima que el caudal mínimo es del orden del 30% del caudal medio. La relación entre el caudal punta y el caudal medio (factor punta F_p), en función de la población, queda recogido en la Figura 4.1.

Figura 4.1. Relación entre el factor punta (F_p) y el número de habitantes, para poblaciones inferiores a 1000 habitantes



4.1.2. Calidad del agua

La composición de las aguas residuales en pequeñas aglomeraciones urbanas es de origen fundamentalmente doméstico y con baja incidencia industrial, aunque en determinadas ocasiones la aportación de aguas industriales procedentes principalmente de industrias agroalimentarias o agropecuarias, por su aporte elevado de carga orgánica, debe ser tenida muy en cuenta por su problemática en su tratamiento frente a las aguas residuales urbanas.

Las menores dotaciones de abastecimiento que de forma general se registran en las pequeñas aglomeraciones urbanas tiene una traducción inmediata en las concentraciones de las aguas residuales que se generan. La menor dotación de abastecimiento conduce a una menor dilución de los contaminantes generados incrementándose la concentración de los mismos.

La Tabla 4.1 recoge los rangos medios de los principales parámetros que caracterizan las aguas residuales generadas en pequeñas aglomeraciones urbanas, aguas constituidas, predominantemente, por aportaciones domésticas.

Tabla 4.1. Valores medios de las aguas residuales urbanas generadas en los pequeños núcleos de población

Parámetro	Pequeñas poblaciones de Andalucía	Pequeñas poblaciones de Canarias
Sólidos en Suspensión (mg/l)	300 – 500	350-3300
DBO ₅ (mg/l)	400 – 600	480-1500
DQO (mg/l)	800 – 1200	1200-4500
Nitrógeno (mg N/l)	50 – 100	60-160
Fósforo (mg P/l)	10 – 20	20-65
Grasas (mg/l)	50 – 100	60-120
Coliformes Totales (ufc/100 ml)	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁶ -10 ⁷

El contraste de valores de los parámetros entre regiones se debe a las características propias de los núcleos poblacionales y a la diversidad en cuanto a pautas de consumo de agua potable y al tipo de actividades agropecuarias existentes. Las actividades agrícolas y ganaderas en los entornos rurales de Canarias se suelen desarrollar en el mismo núcleo urbano, por lo que no existe un tratamiento diferencial de las aguas residuales que estas actividades generan.



Dada la disparidad de valores y amplitud de los rangos de los parámetros, los valores de diseño de los parámetros que caracterizan el agua residual generada en el caso de pequeñas aglomeraciones, no deberían ser valores bibliográficos y se hace aún más necesaria y obligatoria la realización de campañas de aforo y muestreo para la correcta caracterización de las aguas residuales, como paso previo al diseño de la unidad de tratamiento en cada situación concreta. Se debe estudiar como influye en la calidad de las aguas residuales generadas el modelo de evacuación de las mismas ya que lo habitual en estas poblaciones es el uso de redes unitarias, que recolectan de forma conjunta las aguas domésticas, industriales y pluviales.

4.2. Tecnologías de depuración de las aguas residuales urbanas para pequeñas poblaciones

Las pequeñas aglomeraciones urbanas por su propia localización geográfica y grado de desarrollo presentan una problemática específica que dificulta la provisión de los servicios de saneamiento y depuración.

En esta problemática destacan:

- ✖ Los efluentes depurados deben cumplir normativas de vertido estrictas.
- ✖ El hecho de no poder aprovechar las ventajas que supone la economía de escala como consecuencia de su pequeño tamaño, lo que conduce a que los costes de implantación, mantenimiento y explotación por habitante sean elevados. Además, en poblaciones dispersas los costes de saneamiento se incrementan notablemente.
- ✖ La escasa capacidad técnica y económica para el mantenimiento y explotación de estaciones de tratamiento de aguas residuales.

Por todo ello, a la hora de seleccionar soluciones para el tratamiento de las aguas residuales generadas en los pequeños núcleos de población, debe darse prioridad a aquellas tecnologías que:

- ✖ Presenten un gasto energético mínimo, evitando, en lo posible, el empleo de dispositivos electromecánicos y recurriendo principalmente al uso de sistemas de oxigenación naturales.
- ✖ Requieran un mantenimiento y explotación simples.
- ✖ Garanticen un funcionamiento eficaz y estable frente a las grandes oscilaciones de caudal y carga en el influente a tratar; circunstancias que se suelen dar en los pequeños municipios.
- ✖ Simplifiquen la gestión de los lodos generados en los procesos de depuración.
- ✖ Presenten un bajo impacto ambiental sonoro y una buena integración en el medio ambiente.



Las tecnologías de depuración de aguas residuales urbanas que reúnen estas características se conocen bajo el nombre genérico de **“Tecnologías no Convencionales” (TNC)**. Este tipo de tecnologías requieren actuaciones de bajo impacto ambiental, logrando la reducción de la carga contaminante con costes de operación inferiores a los de los tratamientos convencionales y con unas necesidades de mantenimiento sin grandes dificultades técnicas, lo que permite su explotación por personal no especializado.

Los procesos que intervienen en las Tecnologías no Convencionales incluyen a muchos de los que se aplican en los tratamientos convencionales (sedimentación, filtración, adsorción, precipitación química, intercambio iónico, degradación biológica, etc.), junto con procesos propios de los tratamientos naturales (fotosíntesis, fotooxidación, asimilación por parte de las plantas, etc.) pero a diferencia de las Tecnologías Convencionales, en las que los procesos transcurren de forma secuencial en tanques y reactores, y a velocidades aceleradas (gracias al aporte de energía), en las Tecnologías no Convencionales se opera a velocidad *natural* (sin aporte de energía), desarrollándose los procesos en un único *reactor-sistema* y el ahorro en energía se compensa con una mayor necesidad de superficie.

En la actualidad para el tratamiento de las aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones, se recurre tanto a la instalación de Tecnologías Convencionales como no Convencionales. La realidad constata que los dos tipos de tecnologías son válidas para depurar los vertidos generados, pero la realidad también evidencia que en los pequeños núcleos de población, por las características anteriormente mencionadas, se debe dar prioridad a la elección de sistemas de depuración de tecnologías robustas y de bajo coste de explotación y mantenimiento.

Sin embargo, a la hora de instalar este tipo de tecnologías, se tendrá muy en cuenta que su “simplicidad” de operación y mantenimiento, no implica “simplicidad” de diseño, lo que lamentablemente y en muchas ocasiones, se ha asimilado de forma errónea. No se ha prestado la suficiente atención a la fase de dimensionamiento del sistema de tratamiento ni a la posterior etapa constructiva. Estas deficiencias han tenido su reflejo en numerosas instalaciones en las que no se alcanzan los rendimientos esperados.

4.3. Monografías de las tecnologías de depuración de aguas residuales urbanas en pequeños núcleos de población

En este apartado se presentan, de forma detallada, cada una de las distintas tecnologías, tanto *Convencionales* como *no Convencionales*, que actualmente son de mayor uso para depurar los efluentes líquidos urbanos generados en las poblaciones de pequeño tamaño, así como dos procesos de *Tratamiento Primario* de común utilización:

✚ **Tratamientos Primarios:** *Fosas Sépticas y Tanques Imhoff.*

¥ **Tecnologías no Convencionales:**

- Las que recurren al empleo del suelo como elemento depurador:
Sistemas de aplicación subsuperficial: *Zanjas Filtrantes, Lechos Filtrantes, Pozos Filtrantes y Filtros Intermitentes de Arena Enterrados.*
Sistemas de aplicación superficial: *Filtros Verdes.*
- Las que simulan las condiciones propias de los humedales naturales.
Humedales Artificiales, en sus distintas modalidades: *Flujo Libre y Flujo Subsuperficial (Vertical y Horizontal).*
- Las que imitan los procesos naturales de depuración que se dan en ríos y lagos.
Lagunajes.
- Las que se basan en la filtración de las aguas a tratar a través de un carbón natural.
Filtros de Turba.

¥ **Tecnologías que presentan características intermedias entre las Tecnologías no Convencionales y las Convencionales:**

- *Lechos Bacterianos.*
- *Contactores Biológicos Rotativos.*

¥ **Tecnologías Convencionales:**

- *Aireaciones Prolongadas.*

Monografías

TRATAMIENTO PRIMARIO: FOSAS SÉPTICAS

Las *Fosas Sépticas* son dispositivos enterrados en los que decanta y se mineraliza la materia orgánica sedimentable presente en las aguas residuales a tratar.

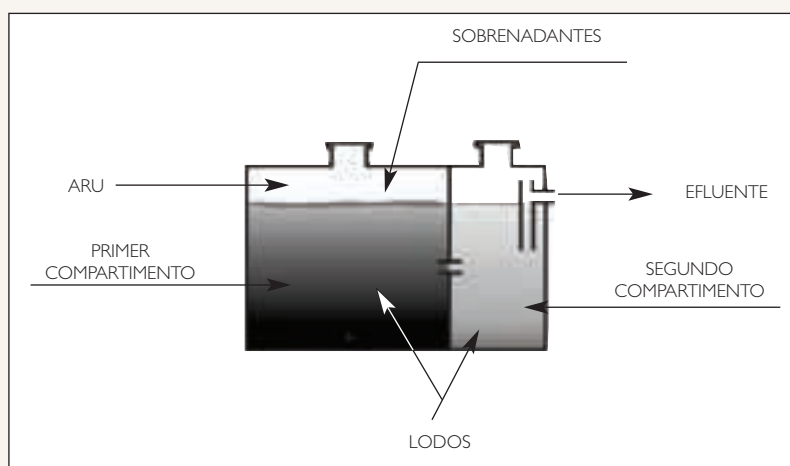
Estos dispositivos se encuentran compartimentados, siendo la disposición más común la de dos compartimentos dispuestos en serie. En el primero se produce la sedimentación, digestión y almacenamiento de los sólidos en suspensión del agua residual. El agua clarificada pasa a un segundo compartimento donde tiene lugar una sedimentación de sólidos y formación de costra, como consecuencia de los materiales que escapan de la etapa anterior, pero en menor cuantía.

En los casos en los que las *Fosas Sépticas* cuentan con un tercer compartimento, en este último se alcanza, además, un cierto *Tratamiento Secundario*.

Los lodos retenidos en los fondos de los distintos compartimentos, experimentan reacciones de degradación anaerobias, reduciendo su volumen, lo que permite que la *Fosa* funcione durante largos periodos de tiempo sin necesidad de purge de lodos.

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

Esquema general de un proceso de Fosa Séptica con dos compartimentos



Parámetros de diseño

- ✎ Como norma general, el volumen total de la Fosa Séptica oscila entre los 250 y 300 l/h.e.
- ✎ Cuando la *Fosa Séptica* conste de dos compartimentos, se recomienda que el primero ocupe un 66% del volumen total; mientras que cuando se dispongan tres compartimentos, el primero de ellos no ocupará más del 50% del volumen total, repartiéndose el resto del volumen, a partes iguales, entre el segundo y el tercer compartimento.
- ✎ La altura útil del agua en el interior de los compartimentos oscila entre 1,2 y 1,7 m, dejándose un resguardo en la parte superior de 0,3 m.
- ✎ La longitud total de la *Fosa* debe estar comprendida entre dos y tres veces la anchura de los compartimentos.

Dominio de aplicación

El límite de utilización se establece en los 300-500 h.e., si bien, no constituyen un sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas en sí mismo, por lo que conviene complementarlo con otra tecnología de tratamiento.

Rendimientos medios de depuración

Parámetro	% Reducción
SS	50-60
DBO ₅	20-30
DQO	20-30
N	10-20
P	0-5
Coliformes Fecales	50-75

Claves de funcionamiento

- ✖ La estructura del tanque debe permanecer hermética.
- ✖ No debe incorporarse a la Fosa sobrecarga de contaminación orgánica.
- ✖ Se debe evitar verter grandes cantidades de grasas/aceites y de detergentes y/o lejías.
- ✖ Es necesario bombear periódicamente los lodos sedimentados. La producción media de lodos suele ser de 0,2 m³/hab.año.
- ✖ En caso de haber rejillas o filtros, se exige una limpieza periódica de las mismas.
- ✖ Para evitar posibles contaminaciones, la Fosa se debe ubicar siempre más baja que los pozos y fuentes de agua potable cercanos, y, como mínimo, a una distancia de 30 m de los mismos.
- ✖ Purga periódica de los lodos digeridos y de los flotantes.

Ventajas

- ✖ Bajos costes de inversión y explotación. Como tarea fundamental de explotación destaca la extracción periódica de los lodos digeridos.
- ✖ Fácil instalación con unidades prefabricadas.
- ✖ Consumo energético nulo.
- ✖ Bajo impacto visual: instalación enterrada.
- ✖ Constituyen el tratamiento previo de muchas de las Tecnologías no Convencionales.

Inconvenientes

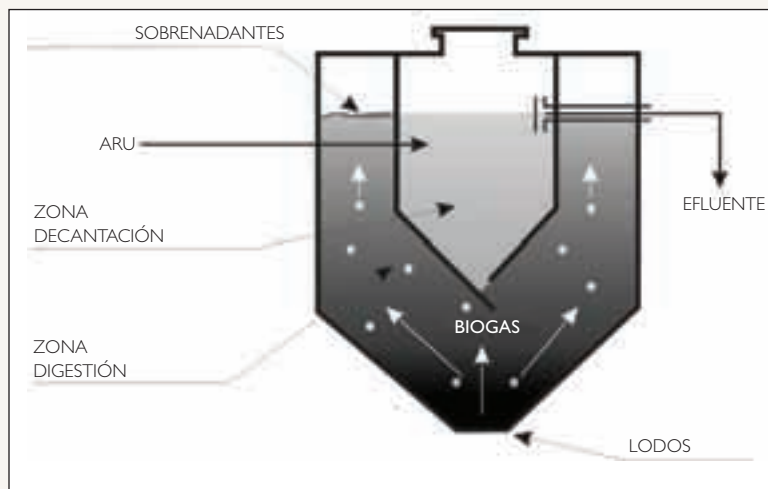
- ✖ Bajos rendimientos en reducción de carga orgánica y abatimiento de patógenos, por lo que se precisan tratamientos secundarios.
- ✖ Escasa estabilidad frente a caudales punta.
- ✖ Acumulación de grasas y aceites en superficie.
- ✖ Generación de malos olores si no se mantienen adecuadamente.

TRATAMIENTO PRIMARIO: TANQUES IMHOFF

El *Tanque Imhoff* es un dispositivo que permite un Tratamiento Primario de las aguas residuales urbanas, mediante la eliminación de la materia orgánica particulada sedimentable y de los flotantes. La fracción orgánica de los sólidos sedimentados se mineraliza vía anaerobia.

Constan de un único depósito en el que se separan la zona de sedimentación, que se sitúa en la parte superior, de la de digestión de los sólidos decantados, que se ubica en la zona inferior del depósito. La configuración de la apertura que comunica ambas zonas impide el paso de gases y partículas de fango desde la zona de digestión a la de decantación, evitándose que estos gases afecten a la sedimentación de los sólidos en suspensión.

Esquema general de un proceso de *Tanque Imhoff*



Parámetros de diseño

- ✖ *Zona de decantación*: se dimensiona para que el tiempo de retención hidráulica a caudal máximo sea de 90 minutos.
- ✖ *Zona de digestión*: para un tiempo de digestión del fango de 6 meses, el valor típico para el dimensionamiento de la zona de digestión es de $0,07 \text{ m}^3/\text{h.e.}$
- ✖ Aunque los *Tanques Imhoff* también se construyen circulares, la geometría más usual es la rectangular, siendo su longitud de 3 a 5 veces la medida de su anchura.

Domio de aplicaci n

El *Tanque Imhoff* se emplea como tratamiento previo a sistemas de aplicación al terreno, y como *Tratamiento Primario*, previo a *Humedales Artificiales*, *Contactores Biológicos Rotativos* o *Lechos Bacterianos*.

El límite de aplicación suele fijarse en los 300-500 habitantes, si bien, pueden implantarse varios módulos con los que se incrementa el rango de aplicación. Por otro lado, y dado que no constituyen un sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas en sí mismo, conviene complementarlos con otras tecnologías de tratamiento.

Rendimientos medios de depuraci n

Parámetro	% Reducción
SS	60-70
DBO ₅	30-40
DQO	30-40
N	10-20
P	0-5
Coliformes Fecales	50-75

Claves de funcionamiento

- ✖ El *Tanque Imhoff* se debe disponer enterrado con una capa de tierra sobre la estructura de 25-35 cm.
- ✖ Para evitar posibles contaminaciones, el *Tanque* se ubicará siempre más bajo que los pozos y fuentes de agua potable cercanos, y, como mínimo, a una distancia de 30 m de los mismos.
- ✖ Purga periódica de los lodos digeridos y de los flotantes.

Ventajas

- ✖ Bajos costes de inversión y explotación. Como tarea fundamental de explotación destaca la extracción de lodos digeridos y de flotantes.
- ✖ Consumo energético nulo.
- ✖ Ausencia de averías electromecánicas.
- ✖ Admite la instalación enterrada.
- ✖ Pueden emplearse unidades prefabricadas, lo que facilita su instalación.
- ✖ Constituyen el tratamiento previo de muchas de las Tecnologías no Convencionales.

Inconvenientes

- ✖ Bajos rendimientos, por lo que los efluentes precisan tratamientos posteriores.
- ✖ Acumulación de grasas y aceites en la superficie.
- ✖ Escasa estabilidad frente a caudales punta.

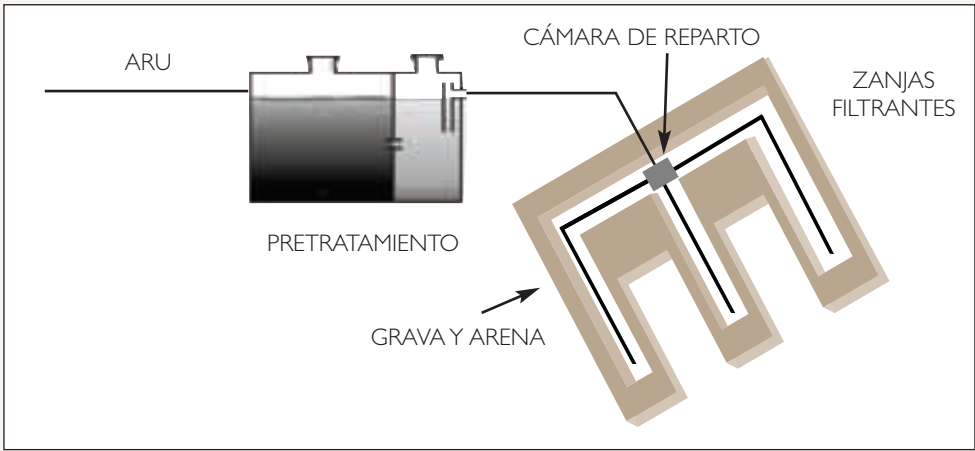
ZANJAS FILTRANTES

Las *Zanjas Filtrantes* son un sistema de *Aplicación Subsuperficial al Suelo*, para la depuración de las aguas residuales urbanas.

Se trata de zanjas de poca profundidad ($< 1\text{ m}$) y anchura ($0,45\text{-}0,80\text{ m}$), excavadas en el terreno, que reco-gen y distribuyen las aguas residuales pretratadas (*Fosas Sépticas* o *Tanques Imhoff*), a través de una tubería agu-jerada, colocada sobre un lecho de arena y cubierta de grava. La grava, se cubre con un relleno vegetal., de forma que no se mezcle ni atasque el espacio ocupado por la capa de grava. En este caso, la superficie de infiltración está constituida por el fondo de la zanja, aunque en caso de posibles atascamientos, las paredes verticales pueden ayudar a la infiltración.

El agua residual pretratada se descarga en una arqueta de reparto, que permite la alimentación alternada de las distintas zanjas.

Esquema en planta y sección del proceso de Zanjas Filtrantes



Parámetros de diseño

Parámetro	Valor
Carga hidráulica ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$)	0,02-0,05
Profundidad de la Zanja (m)	0,50-0,70
Ancho de la Zanja (m)	0,45-0,80
Largo de la Zanja (m)	$< 20 \text{ ó } 30$
Separación entre ejes de Zanjas (m)	1,0-2,50
Separación del fondo al nivel freático (m)	$> 0,6 \text{ ó } 1,2$
Espesor de la cobertura (m)	$> 0,15$

Fuente: EPA, 1980

Dominio de aplicación

Las *Zanjas Filtrantes* son sistemas de aplicación para el tratamiento de las aguas residuales urbanas generadas en viviendas aisladas o en pequeñas agrupaciones de las mismas.

Rendimientos medios de depuración

Parámetro	% Reducción
SS	80-90
DBO ₅	80-90
DQO	75-85
N	50-80
P	40-70
Coliformes Fecales	99-99,9

Claves de funcionamiento

- ✖ Adecuadas características del terreno por el que se infiltran los efluentes procedentes del *Tratamiento Primario*.
- ✖ Alternancia de las zanjas en operación, al objeto de preservar, en lo posible, condiciones aerobias en las zonas de infiltración.

Ventajas

- ✖ Bajos costes de explotación y mantenimiento.
- ✖ Consumo energético nulo.
- ✖ Ausencia de averías electromecánicas.
- ✖ Se evita el contacto de personas o animales con las aguas residuales.
- ✖ Elevados rendimientos de depuración.

Inconvenientes

- ✖ Elevados requisitos de superficie para su implantación.
- ✖ Su posible aplicación depende de las características del suelo, principalmente de la capacidad de infiltración del mismo, y de la existencia de acuíferos someros.
- ✖ Si el diseño y el mantenimiento no son correctos, pueden contaminarse las fuentes de abastecimiento subterráneas.

LECHOS FILTRANTES

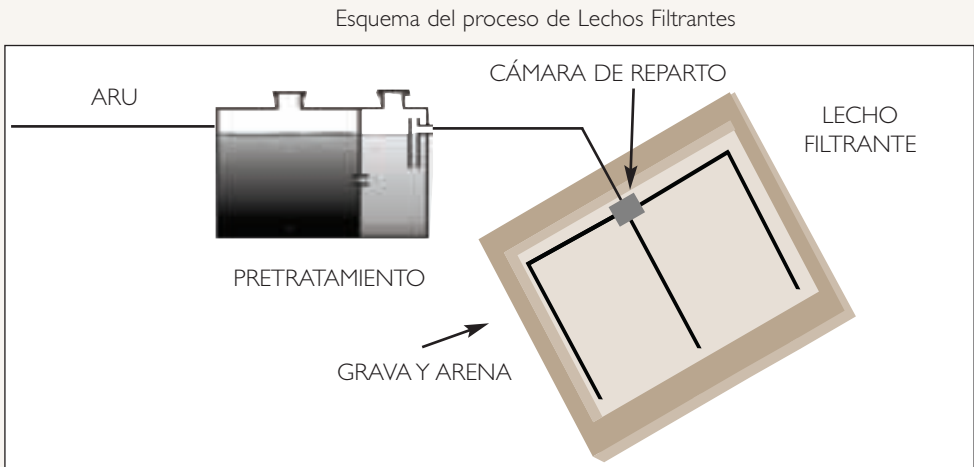
Los Lechos Filtrantes son un sistema de Aplicación Subsuperficial al Suelo, para la depuración de las aguas residuales urbanas.

Es un proceso similar al de las Zanjas Filtrantes, siendo las zanjas más anchas (0,9-2,0 m), convirtiéndose en lechos de grava que albergan en su fondo varias tuberías perforadas.

La aplicación subsuperficial de los efluentes procedentes de Fosas Sépticas o Tanques Imhoff al terreno se realiza a través de lechos excavados, por los que las aguas se dispersan en el suelo, depurándose en su transcurrir por el mismo.

En el fondo de los lechos se extiende una capa de arena, de unos 5 cm de espesor; sobre la que descansa una capa de grava de unos 60 cm de profundidad. Sobre la capa de grava se extiende una capa de tierra vegetal, de unos 20-30 cm.

Embutidos en la grava se disponen drenes paralelos, que permiten la dispersión en el terreno de las aguas a tratar. El agua residual pretratada se descarga en una arqueta de reparto, que permite la alimentación alternada de los distintos drenes.



Parámetros de diseño

Parámetro	Valor
Carga hidráulica (m^3/m^2d)	0,02-0,05
Profundidad de la Zanja (m)	0,50-0,70
Ancho del Lecho (m)	> 0,9
Largo del Lecho (m)	< 30
Número de tuberías por Lecho	> 2
Separación del fondo al nivel freático (m)	> 0,60 ó 1,20
Espesor de la cobertura (m)	> 0,15

Fuente: EPA, 1980

Dominio de aplicación

Los Lechos Filtrantes son sistemas de aplicación para el tratamiento de las aguas residuales urbanas generadas en viviendas aisladas o en pequeñas agrupaciones de las mismas.

Rendimientos medios de depuración

Parámetro	% Reducción
SS	80-90
DBO ₅	80-90
DQO	75-85
N	50-80
P	40-70
Coliformes Fecales	99-99,9

Claves de funcionamiento

- ✖ Adecuadas características del terreno por el que se infiltran los efluentes procedentes del Tratamiento Primario.
- ✖ Alternancia de los drenes en operación, al objeto de preservar, en lo posible, condiciones aerobias en las zonas de infiltración.

Ventajas

- ✖ Requieren menor superficie total para igual población servida que las Zanjas Filtrantes.
- ✖ Bajos costes de explotación y mantenimiento.
- ✖ Consumo energético nulo.
- ✖ Ausencia de averías electromecánicas.
- ✖ Se evita el contacto de personas o animales con las aguas residuales.
- ✖ Elevados rendimientos de depuración.

Inconvenientes

- ✖ Elevados requisitos de superficie para su implantación.
- ✖ Su posible aplicación depende de las características del suelo, principalmente de la capacidad de infiltración del mismo, y de la existencia de acuíferos someros.
- ✖ Si el diseño y el mantenimiento no son correctos, pueden contaminarse las fuentes de abastecimiento subterráneas.
- ✖ Mayor posibilidad de obstrucciones que las Zanjas Filtrantes.

POZOS FILTRANTES

Los Pozos Filtrantes son un sistema de *Aplicación Subsuperficial al Suelo*, para la depuración de las aguas residuales urbanas.

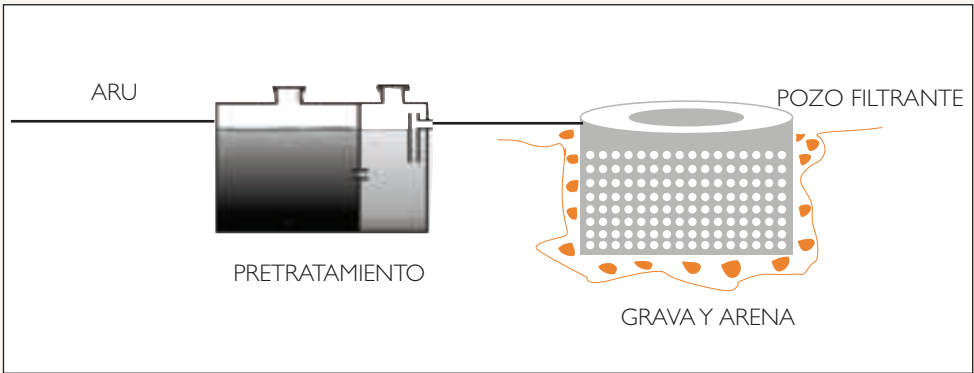
Son sistemas indicados cuando el nivel freático es bajo (> 4 m), y en tal caso pueden construirse Pozos que dispongan de una gran superficie vertical respecto de la ocupada en horizontal.

El interior de los Pozos se refuerza con anillos de hormigón, y en el fondo de los mismos, así como en la pared externa de los anillos se distribuye una capa de grava, de unos 20 cm de espesor, por la que se dispersan en el terreno las aguas a tratar.

El agua residual pretratada (procedente de *Fosas sépticas* o *Tanques Imhoff*), se aplica al terreno a través de la zona inferior del Pozo, dispersándose las aguas en el suelo. En su transcurrir por el Pozo se depuran vía aerobia y se retienen las partículas en suspensión.

El agua pretratada se descargará en una arqueta de reparto, desde donde se llevará a cabo la alimentación alternada de los distintos Pozos existentes.

Esquema general de un proceso de Pozo Filtrante



Parámetros de diseño

Parámetro	Valor
Carga hidráulica ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$)	0,025-0,05
Profundidad del Pozo (m)	3-6
Diámetro del Pozo (m)	2,5-3,5
Separación del fondo al nivel freático (m)	$> 1,2$
Separación entre ejes de Pozos (m)	$> 4 \varnothing$

Fuente: Rohuart, 1986

Ámbito de aplicación

Los Pozos Filtrantes son sistemas de aplicación para el tratamiento de las aguas residuales urbanas generadas en viviendas aisladas o en pequeñas agrupaciones de las mismas.

Rendimientos medios de depuración

Parámetro	% Reducción
SS	80-90
DBO ₅	80-90
DQO	75-85
N	50-80
P	40-70
Coliformes Fecales	99-99,9

Claves de funcionamiento

- ✖ Adecuadas características del terreno por el que se infiltran los efluentes procedentes del *Tratamiento Primario*.
- ✖ Alternancia de los pozos en operación, al objeto de preservar, en lo posible, condiciones aerobias en las zonas de infiltración.

Ventajas

- ✖ Precisa menos superficie de implantación, con relación a otros *Sistemas de Aplicación Subsuperficial al Suelo* como son las *Zanjas* y *Lechos Filtrantes*.
- ✖ Bajos costes de explotación y mantenimiento.
- ✖ Consumo energético nulo.
- ✖ Ausencia de averías electromecánicas.
- ✖ Elevados rendimientos de depuración.

Inconvenientes

- ✖ Si el diseño y el mantenimiento no son correctos, pueden contaminarse las fuentes de abastecimiento cercanas.
- ✖ Su posible aplicación depende de las características del suelo, principalmente de la capacidad de infiltración del mismo, y de la existencia de acuíferos someros.

FILTROS INTERMITENTES DE ARENA ENTERRADOS

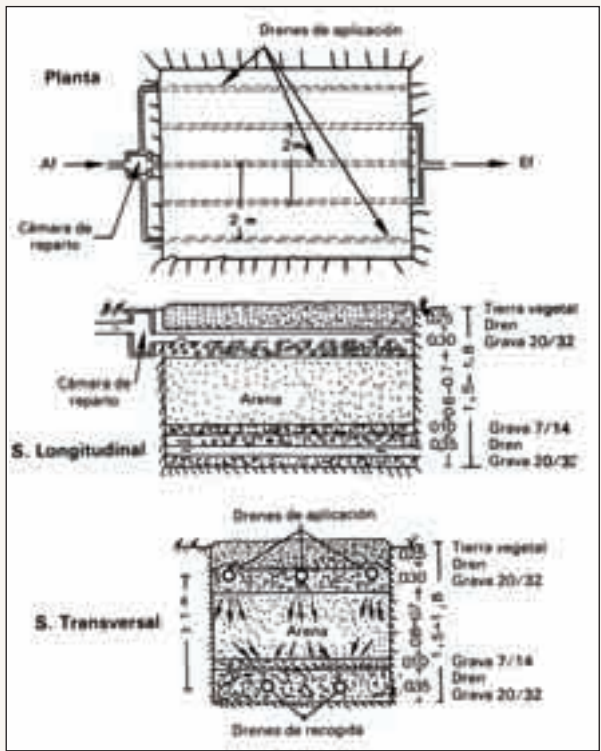
Cuando la naturaleza del terreno (permeabilidad excesiva o impermeabilidad), imposibilita la aplicación de los sistemas naturales de *Infiltración Subsuperficial*, puede recurrirse a un sistema de *Infiltración mediante Filtros de Arena*.

El *Lecho de Arena* presenta un espesor que oscila entre 0,6 y 1,0 m y descansa sobre una capa de grava en la que se ubican las tuberías de recogida del efluente depurado.

El agua residual tras un pretratamiento (normalmente una *Fosa Séptica* o *Tanque Imhoff*) se reparte sobre la superficie del filtro mediante el empleo de tuberías perforadas.

Para mantener las condiciones aerobias durante la operación, el agua residual se aplica al *Filtro* de forma intermitente.

Esquema del proceso de *Filtros de Arena* enterrados



Fuente: Rohuart, 1986

Parámetros de diseño

Parámetro	Valor
Tratamiento previo	Fosa Séptica o similar
Carga hidráulica (m^3/m^2d)	< 0,040
Profundidad (cm)	60-90
Pendiente (%)	0,5-1,0
Dosificación	Inundación del Filtro con frecuencia (> 2 veces/d)

Fuente: EPA, 1980

Dominio de aplicación

Los *Filtros Intermittentes de Arena Enterrados* son sistemas de aplicación para el tratamiento de las aguas residuales urbanas generadas en viviendas aisladas o en pequeñas agrupaciones de las mismas.

Rendimientos medios de depuración

Parámetro	% Reducción
SS	80-90
DBO ₅	80-90
DQO	75-85
N	50-90
P	40-80
Coliformes Fecales	99-99,9

Claves de funcionamiento

- ✖ Alimentación alternada en los ciclos de funcionamiento.
- ✖ Adecuada granulometría del medio filtrante.

Ventajas

- ✖ Bajos costes de explotación y mantenimiento.
- ✖ Consumo energético nulo.
- ✖ Ausencia de averías electromecánicas.
- ✖ Se evita el contacto de personas o animales con las aguas residuales.
- ✖ Elevados rendimientos de depuración.

Inconvenientes

- ✖ Elevados requisitos de superficie para su implantación.
- ✖ Si el diseño y el mantenimiento no son correctos, pueden contaminarse las fuentes de abastecimiento subterráneas.
- ✖ Si llegan a obstruirse, es preciso construir otros nuevos.
- ✖ Adaptación limitada a sobrecargas hidráulicas.

FILTROS VERDES

La tecnología de depuración de aguas residuales conocida como *Filtro Verde* se basa en la utilización de una superficie de terreno, sobre la que se establece una especie forestal y a la que se aplica, generalmente por inundación o surcos, el agua residual a tratar:

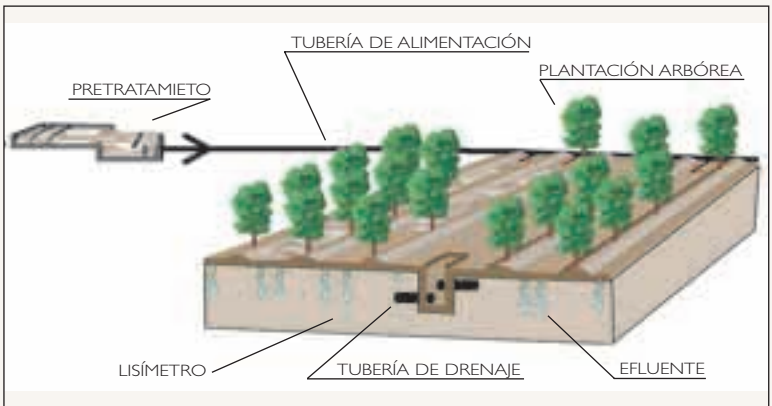
La especie vegetal más comúnmente empleada en los *Filtros Verdes* suele ser el chopo, si bien se comienza a trabajar también con eucaliptos.

Con esta tecnología de depuración, las aguas depuradas no son reutilizables de forma inmediata, sino que se infiltran en el terreno y se incorporan a los acuíferos. Para controlar la calidad de las aguas que se infiltran, se instalan dentro de la parcela en la que se implanta el *Filtro Verde*, una serie de lisímetros, que permiten la recogida de muestras a diferentes profundidades.

El influente que se aplica al *Filtro Verde* debe someterse previamente, como mínimo, a un proceso de *Desbaste*, de forma que se eviten obstrucciones en las tuberías de conducción y reparto.

El terreno en el que se implanta el *Filtro* se subdivide en una serie de parcelas, que se riegan de forma rotativa, generalmente mediante riego a manta.

Esquema general de un proceso de *Filtro Verde*



Parámetros de diseño

Para la determinación de la superficie necesaria para la implantación de un sistema de depuración de aguas residuales basado en la tecnología de *Filtro Verde* es preciso el conocimiento de la *Carga Hidráulica* aplicable.

La determinación de la *Carga Hidráulica* se efectúa para la condición más restrictiva de las dos siguientes:

✖ *Permeabilidad del suelo.*

✖ *Concentración de nitrógeno en el agua percolada*, para lo que debe hacerse un balance entre el aporte de nitrógeno al terreno, consecuencia de la aplicación del agua residual, y la eliminación de este nutriente por distintas vías: fenómenos de nitrificación-desnitrificación, volatilización del amoníaco, captación por el cultivo, etc.

La frecuencia de los riegos oscila entre una vez cada 4 días para suelos arenosos y una vez cada 14 días para suelos arcillosos, siendo un valor bastante común un riego cada semana.

Ámbito de aplicación

El rango más frecuente de aplicación de este tipo de tecnología se sitúa por debajo de los 500 h.e.

Rendimientos medios de depuración

Parámetro	% Reducción
SS	85-95
DBO ₅	85-95
DQO	80-90
N	50-90
P	40-90
Coliformes Fecales	99-99,9

Claves de funcionamiento

✖ Instalación:

- Para la instalación de un *Filtro Verde*, se requieren una serie de condiciones relacionadas con el terreno y el agua residual:

Detallado balance hídrico y de nutrientes, adoptando las condiciones más desfavorables para evaluar las necesidades del terreno.

Terrenos con características de permeabilidad y granulometría determinadas. Los más idóneos son los terrenos franco-arcillosos y franco-arenosos. Los suelos arcillosos, arenosos o muy arenosos no son válidos.

Nivel piezométrico a más de 1,5 m de la superficie (aunque generalmente este valor debe ser aumentado al doble o triple).

Superficie del orden de 1 ha por cada 250 habitantes, lo que equivale a unos 40 m²/hab, que puede variar de 10 a 90 m²/hab dependiendo de la climatología (principalmente de la pluviometría) y de las características del terreno.

El influente no debe contener sustancias nocivas para las especies arbóreas cultivadas.

✖ Mantenimiento y explotación:

- La duración de los periodos de inundación debe estar en consonancia con el tipo de suelo, al objeto de evitar encharcamientos prolongados que pueden dar lugar a condiciones de anaerobiosis.
- Realizar un pase trimestral de grada a fin de reaerar el terreno, romper costras (fundamentalmente en las inmediaciones de las bocas de alimentación), y eliminar malezas.
- La profundidad de la labor de grado no debe superar los 10 cm con el objeto de evitar daños en las raíces de los árboles. Esta operación nunca debe efectuarse en el período en el que los árboles se encuentran sin hojas, dado que la vegetación desarrollada entre los árboles es la encargada de llevar a cabo la extracción de los nutrientes del agua residual.
- Elaborar una labor de poda antes de la brotación primaveral, con el fin de conseguir que los árboles presenten un fuste lo más recto posible.
- Controlar y prevenir la aparición de posibles plagas que puedan hacer peligrar la vida de los árboles.
- Seguimiento continuado de todo el proceso operativo.

Ventajas

- ✔ Sencillez operativa, dado que las labores de explotación y mantenimiento se limitan a la retirada de residuos del *Pretratamiento*, la rotación periódica de la parcela a la que se aplica el agua residual, y a un pase de grada cada trimestre, con objeto de romper las costras que hayan podido formarse y para reaerar el terreno.
- ✔ Inexistencia de averías al carecer de equipos mecánicos.
- ✔ El sistema puede operar sin ningún consumo energético.
- ✔ Los costos de explotación de la estación depuradora pueden ser sufragados, en parte, por la comercialización de la madera producida.
- ✔ No se producen lodos en el proceso depurador.
- ✔ Perfecta integración en el medio rural.
- ✔ Se alcanzan rendimientos de depuración muy elevados.
- ✔ Admite perfectamente incrementos en los caudales de aguas residuales a tratar, ocasionados por incrementos poblacionales veraniegos.
- ✔ Ausencia de olores.

Inconvenientes

- ✔ Exige una gran superficie de terreno para su implantación (la mayor de todas las *Tecnologías no Convencionales*), por lo que su coste de implantación se relaciona directamente con el precio del suelo.
- ✔ Requiere terrenos no muy escarpados, con una determinada capacidad de filtración y que no presenten acuíferos someros.
- ✔ No es aplicable en zonas de elevada pluviometría.

HUMEDALES ARTIFICIALES

Los *Humedales Artificiales* son sistemas de depuración constituidos por lagunas o canales poco profundos (normalmente menos de 1 m), plantados con plantas propias de zonas húmedas (macrófitos acuáticos) y en los que los procesos de depuración se ejecutan de forma simultánea mediante acciones físicas, químicas y biológicas.

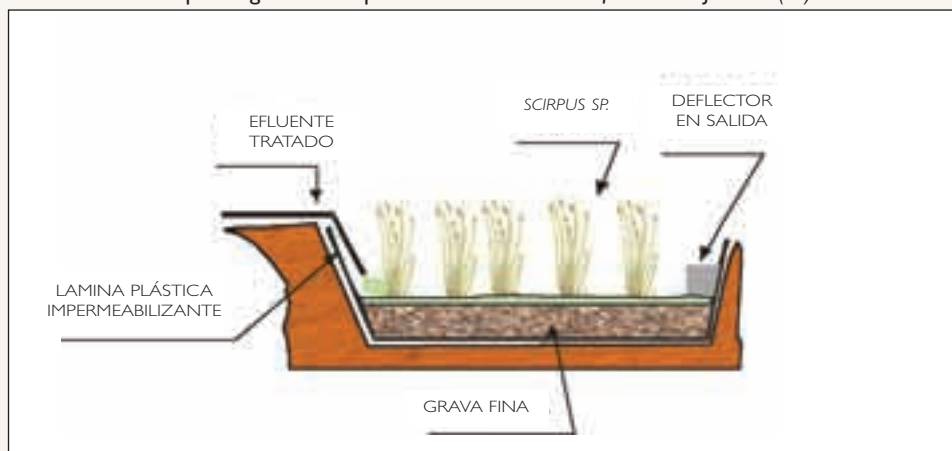
El influente que se aplica al sistema suele sufrir un *Desbaste y Tratamiento Primario* (generalmente en *Tanques Imhoff* o *Fosas Sépticas*).

Los *Humedales Artificiales* también se pueden utilizar para restaurar ecosistemas, con lo que la depuración puede ser un objetivo secundario.

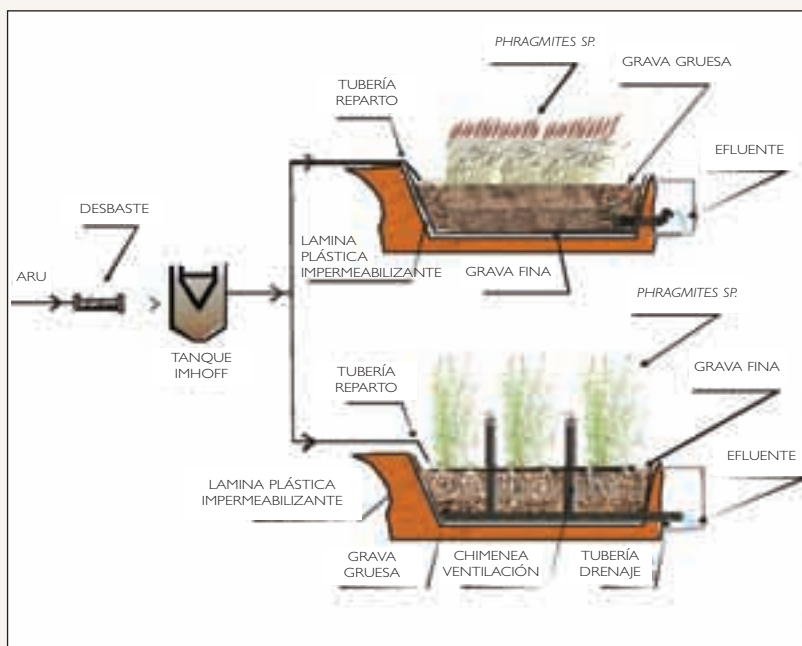
Tipos de procesos

- ✖ *Humedal Artificial de Flujo Libre (FL)*. Se suele emplear como *Tratamiento Avanzado* de las aguas residuales. Consta de un conjunto de balsas o canales paralelos, con vegetación emergente y niveles de agua poco profundos (0,1-0,6 m). Generalmente la alimentación se realiza de forma continua.
- ✖ *Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal (FSH)*. Puede emplearse como *Tratamiento Secundario* o *Avanzado*. El agua residual desbastada y con *Tratamiento Primario*, fluye horizontalmente a través de un medio poroso (gravilla, grava), confinado en un canal impermeable, en el que se implanta vegetación emergente, preferentemente carrizo. La alimentación se realiza de forma continua.
- ✖ *Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical (FSV)*. Puede emplearse como *Tratamiento Secundario* o *Avanzado*. El agua residual desbastada y *Tratamiento Primario*, fluye verticalmente a través de un medio poroso (arena, gravilla), y se recogen en una red de drenaje situada en el fondo del *Humedal*, que conecta con chimeneas de aireación.

Esquema general del proceso de *Humedal Artificial de Flujo Libre (FL)*



Esquema general del proceso de *Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal (FSH)* y de *Flujo Subsuperficial Vertical (FSV)*



Parámetros de diseño

Parámetro	Humedal de Flujo libre
Tiempo de retención hidráulica (d)	4-15
Profundidad del agua (m)	0,1-0,6
Carga orgánica (kg DBO/ha d)	< 67
Carga hidráulica (m ³ /m ² d)	0,014-0,046
Superficie específica (ha/10 ³ m ³ d)	7,1-2,2

Parámetro	Humedad de Flujo Subsuperficial Horizontal	Humedad de Flujo Subsuperficial Vertical
Carga orgánica (gr DBO ₅ /m ² d)	10-15	20-30
Profundidad media del sustrato (m)	0,3-0,6	0,8-1,0
Granulometría del sustrato activo (mm)	5-12	2-6

Dominio de aplicación

El rango más frecuente de aplicación de este tipo de tecnologías se sitúa por debajo de los 2000 h.e.

Rendimientos medios de depuración

Parámetro	% Reducción
SS	80-90
DBO ₅	80-90
DQO	75-85
N	35-50
P	20-35
Coliformes Fecales	99-99,9

Claves de funcionamiento (Humedales de Flujo Subsuperficial)

¥ Puesta en marcha:

- La alimentación al *Humedal de flujo Subsuperficial Horizontal* se iniciará una vez finalizada la plantación, para favorecer su crecimiento.
- Periódicamente, se irá bajando el nivel de encharcamiento del sustrato, modificando la altura del punto de salida de los efluentes depurados, con objeto de forzar a las plantas a desarrollar más rápidamente las raíces.
- Transcurridos unos dos años desde la plantación, se procederá a ir subiendo el nivel de encharcamiento, hasta dejarlo ligeramente por debajo de la superficie del sustrato, de forma que sobre éste no se formen charcos.

¥ Mantenimiento y explotación:

- Operaciones de mantenimiento de *Aliviaderos*, *Bypass* y *Pretratamiento*.
- Limpieza periódica de los sistemas de distribución en cabecera de los canales.
- Evitar la entrada a la EDAR de animales que se alimenten de las plantas del *Humedal*.
- Evitar, en la medida de lo posible, pisar el sustrato del *Humedal*, con el objeto de evitar su compactación y disminución de su conductividad hidráulica.
- Realizar el corte de las plantas secas una vez finalizado su periodo vegetativo.
- Especialmente en los dos primeros meses de operación, eliminar las malas hierbas que puedan competir con las plantas del *Humedal*.
- Control de la aparición de enfermedades en las plantas del *Humedal*.
- En el caso de contar con *Tanques Imhoff* o *Fosas Sépticas* en cabecera, extracción periódica de los lodos acumulados.
- Seguimiento continuado de todo el proceso operativo.

¥ Problemas más frecuentes y su solución:

- En un *Humedal de Flujo Subsuperficial*, el principal problema puede ser la colmatación del sustrato, con lo que si éste se ha seleccionado de forma adecuada, la principal causa de la colmatación habrá que buscarla en el mal funcionamiento de los tratamientos previos. Se aconseja detener la alimentación durante unas dos semanas.

- En invierno es normal que se produzca la muerte de hojas y tallos. Si esto ocurriese en otra época del año, y no se debiese a la falta de agua, la causa podría radicar en la presencia de sustancias tóxicas en las aguas a depurar.

Ventajas

- ✖ Sencillez operativa, limitándose a la retirada de residuos del *Pretratamiento* y al corte y retirada de la vegetación una vez seca.
- ✖ Inexistencia de averías, al carecer de equipos mecánicos.
- ✖ El sistema puede operar sin ningún coste energético.
- ✖ Sistemas flexibles y poco susceptibles a cambios en caudales y carga.
- ✖ La biomasa vegetal actúa como aislante del sedimento, lo que asegura la actividad microbiana todo el año.
- ✖ En los *Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial*, al circular el agua por debajo de la superficie del sustrato, no se generan malos olores ni proliferación de mosquitos.
- ✖ Nulo impacto ambiental sonoro.
- ✖ No se generan olores.
- ✖ Perfecta integración en el medio rural.
- ✖ Creación y restauración de zonas húmedas aptas para potenciar la biodiversidad, la educación ambiental y las zonas de recreo.

Inconvenientes

- ✖ Exigencia de mayor superficie de terreno para su implantación que las *Tecnologías Convencionales* de depuración (unos 5 m²/h.e.).
- ✖ Generación de lodos en el tratamiento primario, si bien, se emplean *Tanques Imhoff* o *Fosas Sépticas*, la retirada de estos lodos se espacia en el tiempo.
- ✖ Necesidad de 2 ó 3 estaciones de crecimiento de las plantas para alcanzar máximos rendimientos.
- ✖ Pérdidas de caudal por evapotranspiración, con aumento de la salinidad en los efluentes depurados.
- ✖ En los *Humedales Artificiales de Flujo Libre*, al circular el agua por encima de la superficie del sustrato, se produce la proliferación de mosquitos.

LAGUNAJES

La tecnología de depuración de aguas residuales conocida con el nombre genérico de *Lagunaje*, se caracteriza por reproducir en unas balsas construidas al efecto los fenómenos de autodepuración que se dan de forma natural en ríos y lagos.

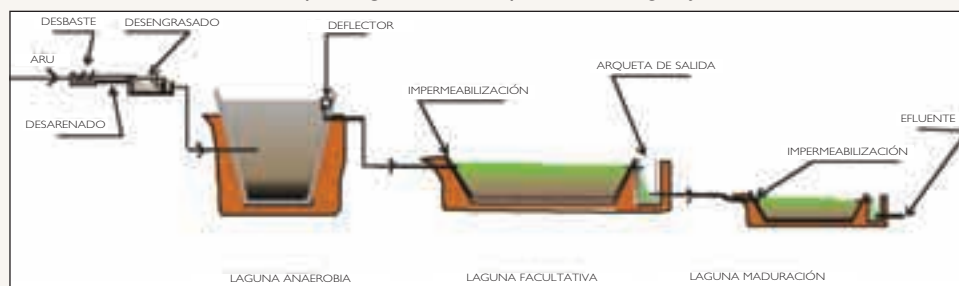
Tipos de Lagunas

Fundamentalmente son tres los tipos de lagunas existentes:

- ✚ *Lagunas Anaerobias*. Debido a la alta carga orgánica que soportan, imperan las condiciones de ausencia de oxígeno, por lo que los microorganismos que en ellas proliferan son casi exclusivamente bacterias anaerobias. Su profundidad oscila entre los 3 y 5 m.
- ✚ *Lagunas Facultativas*. Se caracterizan por presentar tres estratos claramente diferenciados: uno inferior anaerobio, el superior aerobio, y uno intermedio en el que se dan unas condiciones muy variables y en el que predominan bacterias de tipo facultativo, que son las que dan nombre a este tipo de lagunas. Su profundidad suele oscilar entre 1,5 y 2 m.
- ✚ *Lagunas de Maduración*. Al soportar bajas cargas orgánicas y darse en ellas condiciones propicias para la penetración de la radiación solar y adecuadas para el desarrollo de microalgas, predominan las condiciones de suficiencia de oxígeno y, en consecuencia, habitan microorganismos aerobios. Su profundidad suele estar comprendida entre 0,8-1 m.

El sistema de *Lagunaje*, que pudiera catalogarse como clásico, se compone de un sistema de *Pretratamiento* (*Rejas de Desbaste*, *Desarenador* y *Desengrasador*), al que siguen, en serie, los tres tipos de *Lagunas* antes expuestos: *Anaerobias*, *Facultativas* y de *Maduración*.

Esquema general de un proceso de *Lagunaje*



Parámetros de diseño

En el diseño del sistema de *Lagunaje*, existe una gran variedad de métodos, lo que constituye un reflejo de las múltiples condiciones en las que estos sistemas han operado (distintos tipos de alimentación, situación geográfica, condiciones climáticas, etc.). Las *Lagunas* integrantes de este sistema se dimensionan de acuerdo con las siguientes recomendaciones:

Parámetro	L. Anaerobia	L. Facultativa	L. Maduración
Tiempo de retención (d)	2-3	20-30	5
Carga volumétrica (gr DBO ₅ /m ³ d)	150-200	-	-
Carga orgánica superficial (kg DBO ₅ /ha.d)	-	< 100	< 100
Profundidad (m)	3-5	1,5-2	0,8-1

Fuente: Recopilación bibliográfica

Dominio de aplicación

El rango más frecuente de aplicación de este tipo de tecnología se sitúa por debajo de los 2.000 h.e.

Rendimientos medios de depuración

Parámetro	% Reducción		
	L. Anaerobia	L. Facultativa	L. Maduración
SS	50-60	0-70	40-80
DBO ₅	40-50	60-80	75-85
DQO	40-50	55-75	70-80
N	5-10	30-60	40-80
P	0-5	0-30	30-60
Coliformes fecales	30-70	99,5-99,8	99,9-99,99

Los rendimientos se determinan con referencia a las aguas residuales influentes.

Claves de funcionamiento

¥ Puesta en marcha:

- El comienzo del funcionamiento del *Lagunaje* puede ser problemático, dado que los microorganismos responsables de la depuración no aparecen espontáneamente, sino que necesitan un periodo más o menos largo, dependiendo de las condiciones ambientales.
- Tratar de poner en marcha el sistema de *Lagunaje* durante la primavera o inicio del verano, ya que la velocidad de crecimiento de los microorganismos es mayor en esta época.
- La puesta en marcha del sistema se ha de realizar de forma secuencial: en primer lugar, se habilitarán las *Lagunas Anaerobias*, seguidas de las *Facultativas* y en último término las de *Maduración*.
- En cada una de las lagunas se habrá de esperar un tiempo para la instauración de las condiciones propias del ecosistema que se ha de desarrollar en las mismas: condiciones anaerobias (*Laguna Anaerobia*) y desarrollo de microalgas (*Laguna Facultativa*).

¥ Mantenimiento y explotación:

- Operaciones de mantenimiento de *Aliviaderos*, *Bypass* y *Pretratamiento*.
- *Lagunas Anaerobias*:
 - Retirada periódica de los flotantes en la superficie de las *Lagunas*.
 - Purga de lodos acumulados en el fondo de las *Lagunas* en operación, con una periodicidad de 5-10 años.

Revisión de los taludes de tierra y reparación de los daños ocasionados en los mismos.

Si las *Lagunas* se encuentran impermeabilizadas con lámina plástica y se detectasen roturas en la misma, se han de reparar inmediatamente.

- *Lagunas Facultativas y de Maduración:*

En aquellas instalaciones donde los efluentes de la etapa anaerobia se unifican en arquetas, desde donde se envían a las *Lagunas Facultativas*, se ha de llevar a cabo la extracción regular de los sedimentos y flotantes acumulados en las arquetas, así como la comprobación del funcionamiento y estanqueidad de las compuertas. Las mismas operaciones se realizarán en las arquetas que conducen los efluentes de las *Lagunas Facultativas* hacia las de *Maduración*.

Retirada periódica de los flotantes que aparezcan en la superficie de las *Lagunas*.

Los taludes de tierra y las láminas de impermeabilización requieren las mismas labores de mantenimiento que las especificadas para las *Lagunas Anaerobias*.

Evitar el crecimiento de vegetación espontánea en las *Lagunas* sin impermeabilización y en las zonas de los taludes.

- Seguimiento continuado de todo el proceso operativo del sistema de *Lagunaje*.

✖ *Problemas más frecuentes y su solución:*

- Los tipos de anomalías que pueden presentarse en un sistema de *Lagunaje* pueden ser debidas a problemas inherentes al influente (caudal o composición) o a problemas derivados de un mal mantenimiento y explotación.
- Un aumento excesivo de caudal puede provocar disminuciones en los rendimientos de depuración. Si se aumenta el número de *Lagunas Anaerobias* en operación, se corrige el impacto sobre la etapa anaerobia. Si las *Lagunas Facultativas* y de *Maduración* son únicas, puede variarse la altura de la lámina de agua, incrementándose el tiempo de retención en las mismas. Si ello no es factible, la única solución es derivar el exceso de caudal a la salida de la etapa anaerobia.
- Aumentos excesivos de la carga orgánica conducen a sobrecargas en las *Lagunas*, con desprendimiento de malos olores en las *Anaerobias* y variación de la coloración verdosa a marrón-rosácea, presencia de burbujeo y generación de malos olores en las *Lagunas Facultativas* y de *Maduración*. La solución a estos problemas consiste en disminuir la alimentación a las *Lagunas*, e incluso anularla totalmente, hasta conseguir la instauración de las condiciones iniciales.

Ventajas

- ✔ Bajo coste de inversión, sobre todo si el terreno es suficientemente impermeable, y facilidad constructiva.
- ✔ Consumo energético nulo, si el agua a tratar puede llegar por gravedad a la depuradora.
- ✔ Ausencia de averías mecánicas al carecer de equipos.
- ✔ Escaso y simple mantenimiento, que se limita a retirar los residuos del *Pretratamiento* y a mantener la superficie de las *Lagunas* libre de flotantes, para evitar la proliferación de mosquitos.
- ✔ Escasa producción de fangos, experimentando éstos una alta mineralización, a consecuencia de los elevados tiempos de retención con los que se opera, lo que facilita enormemente su manipulación y evacuación.
- ✔ Gran inercia, lo que permite una fácil adaptación a cambios de caudal y de carga orgánica.
- ✔ Alto poder de abatimiento de microorganismos patógenos.

Inconvenientes

Inconvenientes

- ✖ Para la implantación de *Lagunas Facultativas* y de *Maduración*, se precisan grandes extensiones de terreno.
- ✖ Dada su estrecha dependencia de las condiciones climáticas, la implantación de este sistema de depuración puede verse limitada en zonas frías o de baja radiación solar.
- ✖ En el caso de las *Lagunas Anaerobias* se desprenden olores desagradables, que obliga a situarlas en lugares alejados de las zonas habitadas.
- ✖ Recuperación lenta cuando se produce el deterioro del sistema biológico.
- ✖ Efluente con elevada cantidad de sólidos en suspensión (microalgas).
- ✖ Pérdidas de agua por evaporación.

FILTROS DE TURBA

Este sistema de depuración se fundamenta en la filtración del agua residual urbana a través de lechos que emplean *turba* como material filtrante. La *turba* es un tipo de humus que se forma en las condiciones anaerobias propias de los medios saturados con agua.

Los *Filtros de Turba* están constituidos por recintos en los que se disponen una serie de capas filtrantes, cuya composición de arriba hacia abajo suele ser: turba, arena, gravilla y grava. La acción de depuración se realiza en la capa de turba, mientras que el resto de los estratos empleados no tienen más función que retener al inmediato superior.

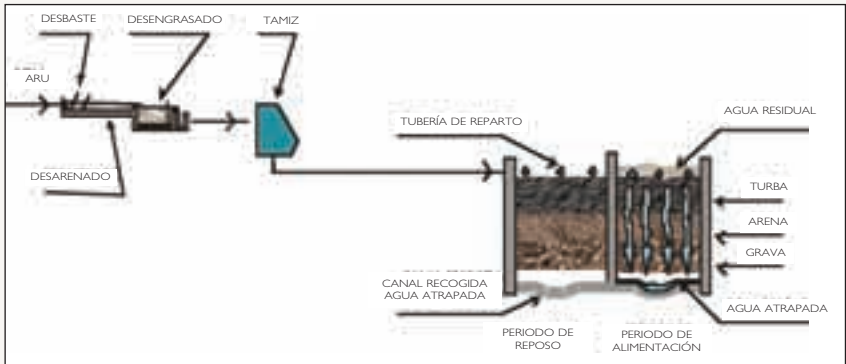
El influente que se aplica a los *Filtros de Turba* debe someterse previamente a unos procesos de *Desbaste* y *eliminación de grasas*. Asimismo, para evitar una rápida colmatación de los poros de la turba es conveniente que el influente pase previamente por unos tamices, o bien, sufran una decantación-digestión. Todas estas operaciones adquieren gran importancia al fundamentarse esta tecnología de depuración en procesos de filtración.

Tras el *Pretratamiento* se efectúa la alimentación de los *Filtros* mediante una serie de tuberías que reparten el agua, de la forma más homogénea posible, sobre la superficie de los *Lechos de Turba*.

Los *Filtros* operan de forma secuencial, hallándose unos en funcionamiento y otros en regeneración, modificándose de forma periódica esta situación. La duración de los ciclos operativos oscila entre 10 y 12 días.

El influente tras su paso por la turba, arena, gravilla y grava, es recogido en unos canales o tuberías de drenaje, desde los que se evacuan hasta la obra de salida.

Esquema general de un proceso de *Filtros de Turba*



Par metros de dise o

Parámetro	Valor
Carga hidráulica (m³/m² d)	0,6
Carga orgánica (kg DBO₅/m² d)	0,3
Carga de sólidos (kg SS/m² d)	0,24
Duración de los ciclos (d)	10-12
Relación superficie total/superficie activa	2:1

Fuente: CENTA

El principal parámetro de diseño de los *Filtros de Turba* es la *Carga hidráulica*. El valor recomendado de $0,6 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ se ha obtenido a partir de experiencias llevadas a cabo con aguas residuales con contenidos en DBO_5 y Sólidos en Suspensión de 500 y de 400 mg/l, respectivamente, por lo que en aquellos casos en que se parta de aguas más cargadas, al superarse los valores recomendados de *Carga orgánica* y de *Carga de Sólidos*, debe procederse a operar con *Cargas hidráulicas* inferiores a la recomendada.

Con relación a las características fisicoquímicas que deben reunir las turbas que se destinen al tratamiento de las aguas residuales urbanas, la siguiente tabla recoge los valores admisibles de los diferentes parámetros a considerar:

Par metro	Valor
pH (extracto 1:5)	6 – 8
Conductividad (extracto 1:5) (dS/cm)	< 5
Humedad (%)	50 – 60
Cenizas (%)	40 – 50
Materia Orgánica por calcinación (%)	50 – 60
Extracto Húmico Total (%)	20 – 30
Acidos Húmicos (%)	10 – 20
Capacidad intercambio iónico(meq/100 g)	> 125
Relación C/N	20 – 25
Nitrógeno Kjeldhal (% N)	1,2 – 1,5
Hierro (ppm)	< 9000
Conductividad hidráulica ($\text{l}/\text{m}^2 \text{ h}$)	25

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

Fuente: CENTA

Dominio de aplicación

El rango más frecuente de aplicación de este tipo de tecnología se sitúa por debajo de los 2000 h.e.

Rendimientos medios de depuración

Parámetro	% Reducción
SS	80-90
DBO_5	75-85
DQO	70-80
N	30-50
P	15-35
Coliformes Fecales	90-99

Claves de funcionamiento

¥ Puesta en marcha:

- Una vez puestos en servicio el número de *Filtros* estipulados en proyecto, bastará con permitir la entrada de aguas residuales a tratar a los diferentes elementos integrantes del *Pretratamiento* y a continuación a los lechos filtrantes, no siendo necesario ningún momento de espera.
- Si como etapa previa se recurre a un *Lagunaje Anaerobio*, la puesta en marcha del mismo se hará llenando las lagunas, las cuales necesitan de 4-5 días para el establecimiento de las condiciones de anaerobiosis (oscurecimiento del agua y aparición de burbujeo en la masa líquida). Posteriormente, se continuará alimentando la etapa anaerobia con el caudal de diseño, empleando el efluente como influente de los *Filtros de Turba*.

¥ Mantenimiento y explotación:

- Operaciones de mantenimiento de *Aliviaderos*, *Bypass* y *Pretratamiento*.
- Como paso previo a los *Filtros de Turba* se recomienda someter el agua a tratar a un proceso de tamizado, recurriéndose generalmente al empleo de *Tamices Estáticos Autolimpiantes*, con un tamaño de paso en torno a 1 mm, así como a un proceso de desengrasado. En algunas instalaciones de *Filtros de Turba* se recurre a la sustitución de las operaciones de *Tamizado* y *Desengrasado* por un *Lagunaje Anaerobio*, *Fosa Séptica* o *Tanque Imhoff*, los cuales han de ser mantenidos y explotados de forma adecuada, para un correcto funcionamiento de los mismos.
- Los *Filtros de Turba* han de operar de forma escalonada, encontrándose unos en operación y otros en reposo.
- Los *Filtros* fuera de operación se dejarán secar, con lo que irá formándose en su superficie una costra, cuyo tiempo de secado variará según las condiciones meteorológicas, y que ha de ser retirada del *Filtro* una vez seca. Los *Filtros* han de ser preparados para un nuevo ciclo de operación.
- Reposición periódica de la turba hasta el espesor recomendado. La pérdida de espesor de la capa de turba en un año se cifra en unos 2 cm.
- Seguimiento continuado de todo el proceso operativo.

¥ Problemas más frecuentes y su solución:

- La creación de *caminos preferenciales* en el seno de la turba puede originar deficiencias en la calidad de la depuración. Para su corrección se recomienda el ejecutar correctamente las tareas de roturaciones y rastrillado de la turba.
- Un mal funcionamiento del sistema de reparto del agua a las unidades operativas, puede originar una rápida colmatación de los *Filtros*. Se ha de lograr el adecuado reparto del agua a tratar entre los *Filtros* en operación.

Ventajas

- ¥ Sencillez operativa, puesto que las labores de explotación y mantenimiento se limitan a la regeneración de los lechos agotados (cada 10-12 días), para lo cual, una vez seca la superficie de los mismos se procede, mediante rastrillado, a la eliminación de la costra superficial, y al escarificado de la superficie.
- ¥ Inexistencia de averías al carecer de equipos mecánicos, pudiendo operar sin ningún costo energético.
- ¥ No se producen lodos sino una costra seca fácilmente manipulable.
- ¥ Capacidad para soportar las oscilaciones de caudal y carga de las aguas a tratar.
- ¥ Bajos requisitos de terreno para su implantación.
- ¥ Fácil adaptación estética al medio natural.

Inconvenientes

- ¥ Dependencia de las condiciones pluviométricas, que inciden sobre los tiempos necesarios para el secado de la costra superficial y, en consecuencia, afectan a la superficie necesaria de los lechos. Una pluviometría muy elevada invalida la implantación de esta tecnología.
- ¥ Mayor necesidad de mano de obra que otras Tecnologías no Convencionales, al tener que procederse al final de cada ciclo de filtración a la regeneración de los filtros agotados.
- ¥ Necesidad de proceder al cambio de la turba cada 6-8 años de operación.

LECHOS BACTERIANOS

Los *Lechos Bacterianos*, conocidos también como *Filtros Percoladores*, constan de una cuba o depósito donde se ubica un relleno de gran superficie específica, sobre el que se desarrolla una película biológica. El agua residual se distribuye homogéneamente por la parte superior del relleno y por goteo atraviesa el lecho filtrante. La ventilación del *Lecho* (aporte de oxígeno para la oxidación de la materia orgánica), se produce a través de unas ventanas inferiores en el depósito. Esta ventilación se produce de forma natural, por el efecto de diferencia de temperatura entre el interior y el exterior del *Lecho*.

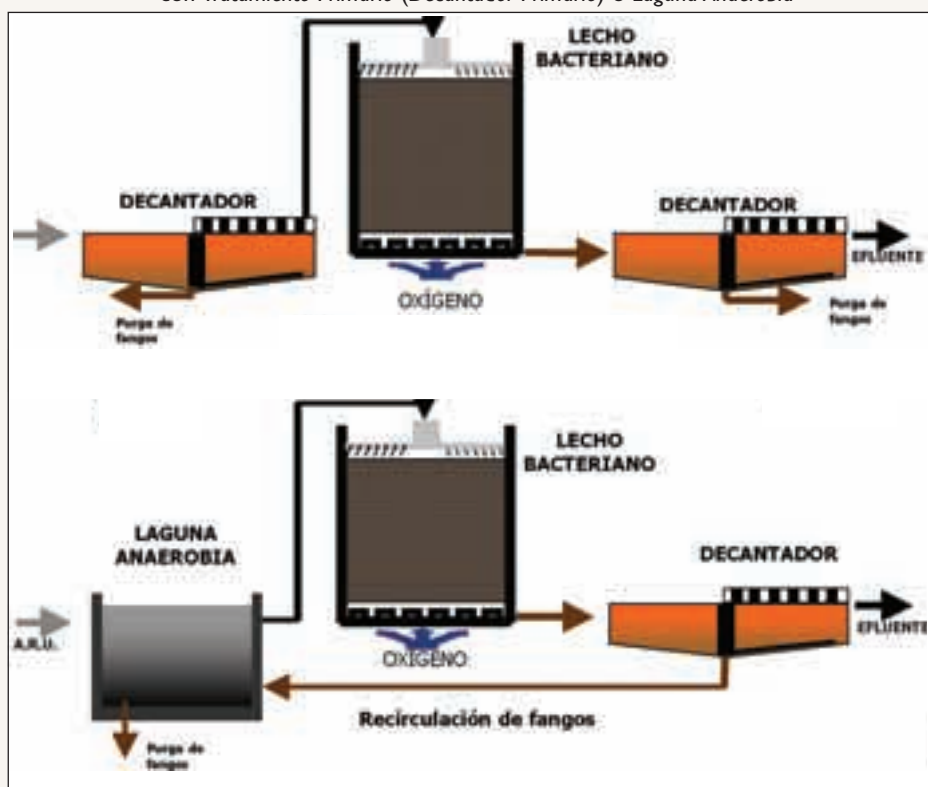
Por la parte inferior del sistema se recoge el agua tratada junto con flóculos bacterianos desprendidos del soporte, enviándose a un *Decantador Secundario*, donde se separan los efluentes depurados de los lodos generados en el proceso.

Como relleno, en la actualidad se va imponiendo el empleo de materiales plásticos, sobre los que se desarrolla la película bacteriana.

Cabe distinguir entre *Lechos Bacterianos*:

- ✧ De *baja carga*: dispositivos de depuración sencillos con los que se consiguen efluentes estables y altamente nitrificados. Pueden absorber grandes variaciones de carga en el agua residual bruta, alcanzando elevados rendimientos de eliminación de carga orgánica.
- ✧ De *alta carga*: se precisa recirculación, que puede efectuarse con el efluente final del sistema o con el efluente del propio *Lecho*. Los objetivos de esta recirculación son: realizar la autolimpieza del *Lecho*, sembrar con microorganismos las aguas residuales antes de su entrada al *Lecho* y diluir la concentración de las aguas residuales influentes.

Esquema general del proceso de *Lechos Bacterianos*,
con Tratamiento Primario (*Decantador Primario*) o *Laguna Anaerobia*



Las plantas diseñadas para operar con sistemas de *Lechos Bacterianos* no difieren mucho en su esquema de las que emplean con *Tecnologías Convencionales*. Los tratamientos previos (*Desbaste, Desarenado, Desengrasado*) y *Primarios (Decantadores Primarios)* son similares, si bien, en las pequeñas instalaciones se puede sustituir el *Tratamiento Primario* por sistemas de *Tamizado, Tanques Imhoff* o *Lagunas Anaerobias*. Las *Lagunas Anaerobias* o los *Tanques Imhoff* pueden ser utilizados, a su vez, para la estabilización de los fangos procedentes de los *Decantadores Secundarios*.

Parámetros de diseño

Par metro	Baja carga	Media carga	Alta carga
Carga orgánica (kg DBO ₅ /m ³ d)	0,08-0,4	0,25-0,50	0,50-0,90
Carga hidráulica (m ³ /m ² d)	1,2-3,5	3,5-9,4	9,4-37,5
Relación de recirculación	0	0-1	1-2

Dominio de aplicaci n

El rango más frecuente de aplicación de este tipo de tecnología se sitúa por debajo de los 5.000 h.e.

Rendimientos medios de depuraci n

Parámetro	% Reducción
SS	80-90
DBO ₅	80-90
DQO	75-85
N	20-35
P	10-35
Coliformes Fecales	80-90

Claves de funcionamiento

¥ Puesta en marcha:

- Para el arranque del proceso operativo de *Lecho Bacteriano*, es necesario proceder de forma continuada a la alimentación del *Lecho* con las aguas residuales procedentes de la *Decantación Primaria* o en su caso del *Lagunaje Anaerobio*.
- Observar que en 2-3 semanas se ha formado una película biológica sobre el material plástico empleado como relleno.
- Si se recurre como etapa previa a un *Lagunaje Anaerobio*, se llenará la laguna, deteniendo su alimentación durante 4-5 días hasta que se observe la instauración de las condiciones de anaerobiosis. Posteriormente, se continuará alimentando la etapa anaerobia con el caudal de diseño, empleando su efluente como influente del *Lecho Bacteriano*.

¥ *Mantenimiento y explotación:*

- Operaciones de mantenimiento de *Aliviaderos, Bypass, Bombeo y Pretratamiento*.
- Comprobación del estado operativo del *Decantador Primario*. Los rendimientos típicos de un *Decantador Primario* son:

Parámetro	% eliminación
Sólidos Sedimentables	90-95
Sólidos en Suspensión	40-60
DBO ₅	25-35

- En aquellos casos en los que se sustituye la *Decantación Primaria* por un *Lagunaje Anaerobio*, la etapa anaerobia requiere unas operaciones de mantenimiento y explotación que ya se han mencionado en la monografía correspondiente al sistema de *Lagunaje*.
- Comprobación del estado operativo del *Lecho Bacteriano*, controlando, entre otros aspectos, que el *Lecho* no permanezca periodos prolongados sin alimentación, ya que se podría producir deterioro de la biomasa de las capas superiores y un descenso en el rendimiento depurador.
- Comprobación del estado operativo de los *Decantadores Secundarios*.
- Adecuado mantenimiento electromecánico.
- Seguimiento continuado de todo el proceso operativo.

¥ *Problemas más frecuentes y su solución:*

- En el caso de que la EDAR cuente con *Lagunaje Anaerobio* como paso previo a los Lechos Bacterianos, si se opera con cargas muy diferentes a las de proyecto, pueden producirse anomalías en el funcionamiento por infracarga o sobrecarga del sistema; ante lo cual se procederá a ajustar la carga entrante a la del proyecto.
- La observación de burbujeo en la superficie de los Decantadores, indica una permanencia elevada de los lodos decantados, con lo que hay que aumentar las purgas de los mismos.
- Si se observa un desprendimiento excesivo de la biopelícula adherida al soporte, es posible que la causa se deba a la presencia de tóxicos, inhibidores del crecimiento bacteriano o a una carga hidráulica excesiva.
- Si se observan reducciones en los rendimientos de depuración, estos pueden ser debidos a: disminución de la temperatura ambiente, sobrecargas hidráulicas y/o orgánicas, alteraciones de las características habituales de las aguas residuales, etc.

Ventajas (frente a las *Tecnologías Convencionales*)

- ¥ Menor consumo de energía.
- ¥ No precisa de un control de nivel de oxígeno disuelto ni de sólidos en suspensión en el *Reactor Biológico*. Todo ello hace que la explotación sea más simple.
- ¥ No se forman aerosoles, con lo que se evita la inhalación de microgotas de agua por los operarios.
- ¥ Bajo nivel de ruidos por la escasa potencia instalada.

Inconvenientes (frente a las *Tecnologías no Convencionales*)

- ¥ Los costes de instalación son elevados por el coste del relleno plástico.
- ¥ Generación de lodos en el proceso, que deben ser estabilizados.

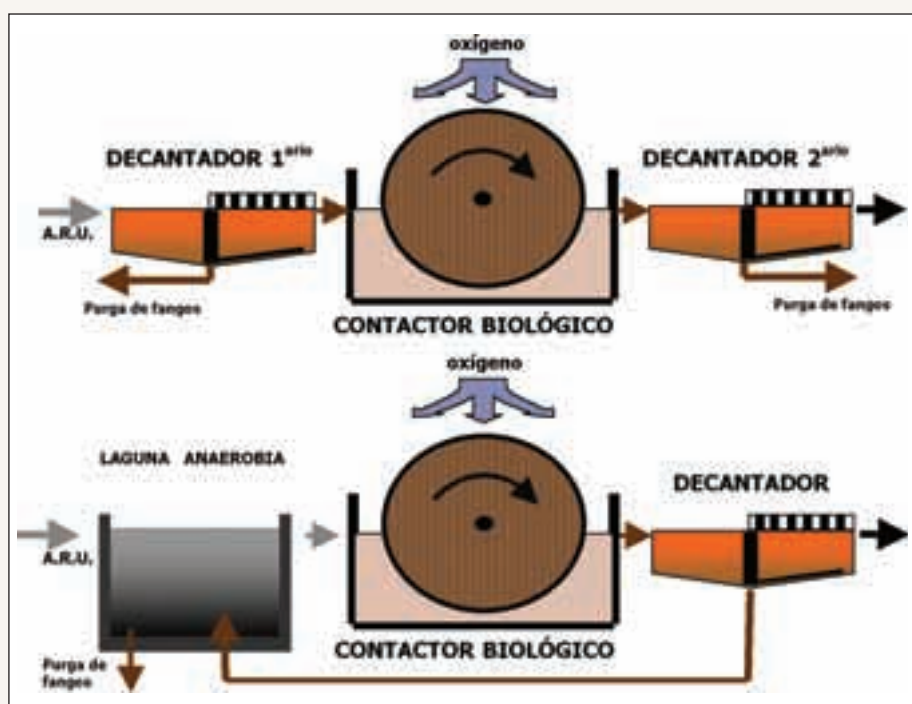
CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATIVOS

Los *Contactores Biológicos Rotativos (CBR)*, son sistemas de tratamiento en los que los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica se hallan adheridos a un material soporte, que gira semisumergido en el agua a depurar. Con ello se pone a la biomasa en contacto, alternativamente, con el agua residual a tratar y con el oxígeno atmosférico.

Dentro de los CBR cabe distinguir entre:

- ✧ *Biodiscos*: el soporte para la fijación bacteriana está constituido por un conjunto de discos de material plástico de 2 a 4 m de diámetro. Los discos se mantienen paralelos y a corta distancia entre ellos gracias a un eje central que pasa a través de sus centros.
- ✧ *Biocilindros*: constituyen una modificación del sistema de *Biodiscos*. En ellos, el rotor es una jaula cilíndrica perforada, que alberga en su interior un relleno de material plástico, al que se fija la biomasa bacteriana.

Esquema general de un proceso de *Contactador Biológico Rotativo*, con *Tratamiento Primario (Decantador Primario) o Laguna Anaerobia*



Los CBR operan bajo cubierta para evitar daños en la biomasa por la acción de los agentes meteorológicos.

Las plantas diseñadas para operar con sistemas de CBR presentan tratamientos previos (*Desbaste, Desarenado y Desengrasado*) y *Primarios (Decantación)*. En las pequeñas instalaciones se puede sustituir el *Tratamiento Primario* por sistemas de *Tamizado, Tanques Imhoff* o *Lagunas Anaerobias*. Las *Lagunas Anaerobias* o los *Tanques Imhoff* pueden ser utilizados, a su vez, para la estabilización de fangos procedentes de los *Decantadores Secundarios*.

Parámetros de diseño

En la tabla adjunta se muestran los valores típicos de los parámetros de diseño de los CBR, según operen como Tratamiento Secundario o con Nitrificación combinada.

Parámetro	Secundario	Nitrificación combinada
Carga hidráulica ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$)	0,08-0,16	0,03-0,08
Carga orgánica:		
gr DBO_5 Soluble/ $\text{m}^2 \text{ d}$	3,7-9,8	2,45-7,35
gr DBO_5 Total/ $\text{m}^2 \text{ d}$	9,8-17,5	7,35-14,70
Carga máxima sobre la primera etapa:		
gr $\text{DBO}_{5s}/\text{m}^2 \text{ d}$	19,6-29,4	19,6-29,4
gr $\text{DBO}_{5T}/\text{m}^2 \text{ d}$	39,2-58,8	39,2-58,8
Carga de NH_3 ($\text{gr}/\text{m}^2 \text{ d}$)	-	0,74-1,47
Tiempo de retención hidráulica (h)	0,7-1,5	1,5-4,0

Dominio de aplicación

El rango más frecuente de aplicación de este tipo de tecnologías se sitúa por debajo de los 5000 h.e.

Rendimientos medios de depuración

Parámetro	% Reducción
SS	80-90
DBO_5	80-90
DQO	75-85
N	20-35
P	10-30
Coliformes Fecales	80-90

Claves de funcionamiento

⚠ Puesta en marcha:

- Inicialmente, se ha de proceder de forma continuada a la alimentación del CBR con las aguas residuales procedentes de la *Decantación Primaria*, o en su caso del *Lagunaje Anaerobio*. Posteriormente (2-3 semanas) se formará una biopelícula sobre el rotor. La biomasa adherida al soporte tendrá aspecto filamentosos y tonos marrones.
- Durante el periodo de crecimiento de la biopelícula se generarán efluentes de calidad deficiente.

¥ *Mantenimiento y explotación:*

- Operaciones de mantenimiento de *Aliviaderos, Bypass, Bombeo y Pretratamiento*.
- Comprobación del estado operativo del *Decantador Primario*. Los rendimientos típicos de un *Decantador Primario* son:

Parámetro	% eliminación
Sólidos Sedimentables	90-95
Sólidos en Suspensión	40-60
DBO ₅	25-35

- En aquellos casos en los que se sustituye la *Decantación Primaria* por un *Lagunaje Anaerobio*, la etapa anaerobia requiere unas operaciones de mantenimiento y explotación que ya se han mencionado en la monografía correspondiente al sistema de *Lagunaje*.
- Para el correcto funcionamiento del *CBR*, es necesario que la unidad esté en continuo giro, pues en caso de parada, la biomasa que queda fuera del agua se deteriora rápidamente.
- La película de biomasa que se forma sobre el rotor es vital para el correcto funcionamiento del sistema, por lo que **jam s** debe procederse a su limpieza.
- Comprobación del estado operativo del *Decantador Secundario*.
- Adecuado mantenimiento electromecánico.
- Seguimiento continuado de todo el proceso operativo.

¥ *Problemas más frecuentes y su solución:*

- En el caso de que la EDAR cuente con *Lagunas Anaerobias* como paso previo a los *CBR* si se opera con cargas muy diferentes a las de proyecto, pueden producirse anomalías en el funcionamiento por infracarga o sobrecarga del sistema. Ante estos hechos, se procederá a ajustar la carga entrante a la del proyecto.
- La observación de burbujeo en los *Decantadores Primarios y Secundarios*, es indicio de una permanencia elevada de los lodos decantados en los mismos, lo que se corrige aumentando las purgas de los mismos.
- Si se observa un excesivo desprendimiento de la biomasa adherida al soporte, es posible que la causa se deba a la presencia de tóxicos o inhibidores del crecimiento bacteriano en el agua a tratar.
- Si se observan reducciones en los rendimientos de depuración, éstos pueden deberse a: disminución de la temperatura ambiente, sobrecargas hidráulicas y/u orgánicas, alteraciones de las características habituales de la aguas residuales.

Ventajas (frente a las *Tecnologías Convencionales*)

¥ Menor consumo de energía.

¥ No es necesario recircular fangos del *Decantador Secundario* a la zona biológica, al ser suficiente la concentración de biomasa bacteriana que se haya adherida al soporte.

¥ Mejor comportamiento ante la presencia de tóxicos, pues la flora bacteriana no permanece inmersa en el agua de forma continuada, sino que una gran parte del tiempo se encuentra en contacto con el aire en condiciones de recuperarse.

¥ No precisa de un control de oxígeno disuelto ni de sólidos en suspensión en el *Reactor Biológico*. Todo ello hace que la explotación sea más simple.

- ¥ Facilidad de construcción gradual. Al tratarse de un proceso de construcción modular, se puede efectuar la gradual ampliación del mismo en función de las necesidades de depuración.
- ¥ No se forman aerosoles, con lo que se evita la inhalación de microgotas de agua por los operarios.
- ¥ Bajo nivel de ruidos por la escasa potencia instalada.
- ¥ Al estar generalmente ubicadas las unidades de CBR en recintos cubiertos, se mantiene una temperatura más elevada del agua a depurar; con lo que se mejora el rendimiento en periodos fríos.

Inconvenientes (frente a las *Tecnologías no Convencionales*)

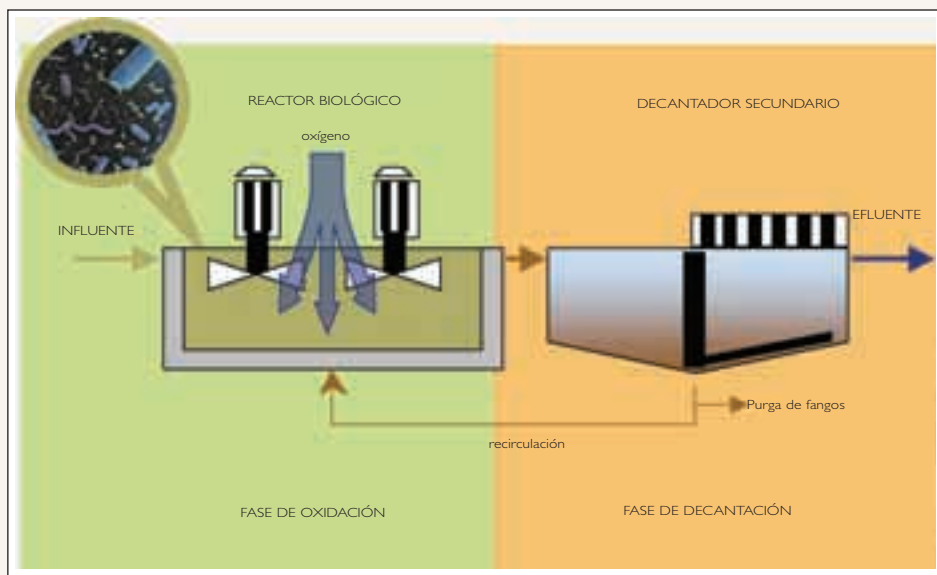
- ¥ Los costes de instalación son elevados.
- ¥ Generación de lodos en el proceso, que deben ser estabilizados.
- ¥ Equipos específicos sujetos a patentes.

AIREACIONES PROLONGADAS

La *Aireación Prolongada* es una modificación del proceso de *Lodos Activos* para el tratamiento biológico de las aguas residuales en condiciones aeróbicas, encuadrándose dentro de las llamadas *Tecnologías Convencionales*.

Las plantas más comunes son las de tipo prefabricada en las que el agua residual tras una etapa de *Pretratamiento*, se introduce en una *Cuba de Aireación* o *Reactor Biológico*, en el que se mantiene un cultivo bacteriano en suspensión, formado por un gran número de microorganismos agrupados en flóculos (*Lodos Activos*) al que se denomina "*licor mezcla*".

Esquema general de un proceso de Aireación Prolongada



Las condiciones aerobias en el *Reactor* se logran mediante el empleo de aireadores mecánicos o difusores, que además de oxigenar permiten la homogeneización del *licor mezcla*, evitando la sedimentación de los flóculos en el *Reactor*.

Tras un cierto tiempo de permanencia en el *Reactor*, el *licor mezcla* se pasa a un *Decantador* o *Clarificador*, que puede estar anexo a la cuba o estar incluido dentro de la misma, y cuya función es separar el efluente depurado de los lodos (nuevas células). Parte de los lodos se recirculan de nuevo al *Reactor*, con objeto de mantener en éste una concentración determinada de microorganismos, y el resto se purgan periódicamente.

Se distinguen, pues, dos operaciones diferenciadas:

- ✖ La oxidación biológica, que transcurre en el *Reactor* o *Cuba de Aireación*.
- ✖ La separación sólido-líquido, que se lleva a cabo en un *Decantador* o *Clarificador*.

La *Aireación Prolongada* opera con cargas orgánicas muy bajas y altos tiempos de aireación, prescindiendo de la *Decantación Primaria*, y generando fangos estabilizados, que tan sólo precisan ser deshidratados antes de su disposición final.

Par metros de diseño

Reactor Biológico

Par metro	Valor
Carga másica (kg DBO ₅ /kg SSLM. d)	0,05-0,1
Carga volumétrica (kg DBO ₅ / m ³ d)	0,1-0,4
Tiempo retención hidráulica (h)	18-36
Sólidos en Suspensión en la cuba (gr/l)	3,0-6,0
Edad del fango (d)	20-30
Relación recirculación (Q _r /Q) (%)	75-150

SSLM: Sólidos en Suspensión del *licor mezcla*, Q_r: caudal de lodos recirculados (m³/d),
Q: caudal de aguas residuales a tratar (m³/d)

Decantador Secundario

Par metro	Valor
Carga superficial (m ³ /m ² h)	Q _{med} 0,4-0,6 Q _{máx} 0,8-1,2
Carga de sólidos (kg SS/m ² h)	Q _{med} 1,5-2,0 Q _{máx} 3,0-4,0
Tiempo retención hidráulica (h)	Q _{med} 3-5
Caudal en vertedero (m ³ /ml h)	Q _{med} 4-6 Q _{máx} 8-12

Producción de lodos (kg ms/ kg DBO₅ eliminado): 0,6-0,8 ; donde ms corresponde a materia seca.

Dominio de aplicación

La *Aireación Prolongada* es un sistema que se suele aplicar para el tratamiento de las aguas residuales de poblaciones menores de 10 000 habitantes. Empleándose en plantas prefabricadas (que suelen ir enterradas), para la depuración de pequeñas aglomeraciones: urbanizaciones, escuelas, campings, etc.

Rendimientos medios de depuraci n

Parámetro	% Reducción
SS	80-90
DBO ₅	85-95
DQO	80-90
N	30-40
P	20-30
Coliformes Fecales	85-95

Claves de funcionamiento

Las principales claves de funcionamiento del proceso de *Aireación Prolongada* se centran en un correcto dimensionamiento de la instalación, así como de un adecuado control del proceso.

El control del proceso se basa en la evaluación y actuación sobre determinados factores, relacionados entre sí, que favorecen el eficaz tratamiento de las aguas residuales. Estos factores son fundamentalmente:

- ✖ Características de las aguas residuales a tratar: caudales, calidades, presencia de tóxicos, etc.
- ✖ Calidad del efluente depurado: porcentajes de eliminación de sólidos en suspensión, materia orgánica, nutrientes, patógenos, etc.
- ✖ Concentración de oxígeno disuelto en las *Cubas de Aireación*; aportación que debe ajustarse con relación a la carga orgánica a tratar.
- ✖ Cantidad de lodos que debe mantenerse en el sistema de acuerdo con la carga orgánica influente. Para alcanzar el rendimiento deseado es fundamental mantener una determinada *Carga másica*.
- ✖ Decantabilidad de los lodos en los *Decantadores Secundarios*. Esta decantabilidad se puede evaluar mediante el *Índice Volumétrico de Fangos (I.V.F.)*, es decir la relación entre el *volumen de fangos decantado* en 30 minutos (V_{30}) y los *SSML*.
- ✖ Los caudales de recirculación de lodos desde los *Decantadores Secundarios* a las *Cubas de Aireación*. La recirculación permite regular el nivel de *SSLM* en dichas *Cubas*.
- ✖ Purgas de lodos en exceso. Estas purgas permiten regular la *edad del lodo* y los niveles de *SSLM* en las *Cubas Biológicas*.
- ✖ Controlar la calidad de los fangos que retornan a cabecera del tratamiento.

Ventajas

- ✖ Bajos requisitos de superficie.
- ✖ Bajo impacto ambiental si se disponen enterrados.
- ✖ Buenos rendimientos de eliminación de materia orgánica y sólidos en suspensión.
- ✖ Los lodos salen de la *Cuba Biológica* ya estabilizados.

Inconvenientes

- ¥ Elevado consumo energético.
- ¥ Flexibilidad limitada a los cambios de caudal o carga orgánica.
- ¥ Si se emplean aireadores de superficie se forman aerosoles que pueden transportar agentes patógenos. Esto se puede eliminar si las cubas disponen de cubierta.
- ¥ Bajos rendimientos de eliminación de nutrientes y de patógenos.
- ¥ Control del proceso más complejo que en las *Tecnologías no Convencionales*.

4.4. Criterios de selección de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales a aplicar en las pequeñas aglomeraciones urbanas

La selección de la tecnología a aplicar para el tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas viene condicionada por una serie de factores, que posibilitan, limitan o impiden, su empleo en cada caso concreto. Se exponen a continuación los principales factores a tener en consideración

4.4.1. Tamaño de la población a tratar

Los rangos poblacionales óptimos de aplicación de las distintas tecnologías son diferentes y vienen condicionados fundamentalmente por las necesidades de terreno para su implantación. Los valores medios de estas necesidades (por habitante equivalente) son los siguientes:

Tabla 4.2. Rangos poblacionales óptimos de aplicación de las tecnologías de depuración de aguas residuales urbanas

Tecnología	m ² /h.e.
Filtros Verdes (superficie de terreno plantado)	30 – 50
Humedales Artificiales (superficie de Humedal)	3 – 5
Lagunajes (superficie de láminas de agua)	7 – 10
Filtros de Turba (superficie total de turba)	0,5 – 1,0
Lechos Bacterianos (superficie total)	0,1 – 0,3
Contactores Biológicos Rotativos (superficie total)	0,1 – 0,3
Aireaciones Prolongadas (superficie total)	0,1 – 0,3

Por sus elevados requisitos de superficie el ámbito normal de aplicación de la mayoría de las Tecnologías no Convencionales son los núcleos poblacionales de pequeño tamaño, si bien, esto no es óbice para que se encuentren operativas instalaciones de depuración basadas en este tipo de tecnologías en poblaciones mucho mayores.

4.4.2. Condiciones climáticas de la zona donde se implantará la estación de tratamiento

Los *Filtros Verdes*, *Humedales Artificiales* y *Lagunajes*, al basarse en procesos naturales, son las que se ven más influenciados por las condiciones climáticas imperantes.

La pluviometría afecta fundamentalmente al *Filtro Verde*, al limitar la cantidad de agua residual que puede aportarse a la plantación, y a los *Filtros de Turba*, al prolongar los períodos necesarios para el secado de la costra superficial.

Elevados índices de evaporación favorecen la implantación de los *Filtros Verdes* al permitir la alimentación de mayores volúmenes de agua residual, sin embargo, en el caso de los *Lagunajes* conducen a importantes pérdidas del agua almacenada y a incrementos en la salinidad de los efluentes depurados.

La radiación solar incidente es especialmente importante en los *Lagunajes*, al afectar directamente a los procesos de fotosíntesis que llevan a cabo las microalgas en las *Lagunas Facultativas* y de *Maduración*.

Para los *Lechos Bacterianos*, *Contactores Biológicos Rotativos* y *Aireaciones Prolongadas*, la temperatura es el principal factor climático a considerar; si bien los *Contactores*, al operar bajo cubierta, son los que se ven menos afectados por las circunstancias meteorológicas imperantes.

4.4.3. Impacto ambiental ejercido por la instalación de tratamiento

Debe prestarse especial atención a los posibles impactos ambientales (estéticos, olfativos, sonoros, etc.), que la implantación de la estación depuradora puede originar:

Las Tecnologías de *Filtros Verdes*, *Humedales Artificiales* y *Lagunajes*, son las que presentan una mejor integración medioambiental.

En el caso de los *Lechos Bacterianos*, *Contactores Biológicos Rotativos* y *Aireaciones Prolongadas*, se hace precisa la instalación de motores, cuya potencia necesaria es creciente en el orden en que se han enumerado las tecnologías. Estos motores, en función de su potencia, provocarán impactos sonoros más o menos acusados en el entorno.

Los *Lechos Bacterianos*, al estar constituidos por depósitos de unos 5 m de altura, provocan un importante impacto visual en el entorno. Este impacto puede minimizarse recurriendo a su pintado o a su “forrado” con plantas tapizantes.

4.4.4. Costes de explotación y mantenimiento

Es en el apartado de los costes de explotación y mantenimiento, dada la escasez de recursos de los Ayuntamientos de los pequeños municipios, donde las Tecnologías no Convencionales ofrecen sus principales ventajas en comparación con los sistemas Convencionales de depuración de aguas residuales. Como partidas integrantes de estos costes se encuentran:

✖ El **coste del personal**: es uno de los factores con mayor incidencia sobre el coste total de explotación.

En las Tecnologías no Convencionales de *Filtros Verdes*, *Humedales Artificiales*, *Lagunajes* y *Filtros de Turba*, la simplicidad de las labores de explotación y mantenimiento hace innecesaria la participación de personal cualificado, con el consiguiente abaratamiento en el coste de este concepto.

Los *Lechos Bacterianos* y los *Contactores Biológicos Rotativos*, si bien presentan una operación más compleja, que ya requiere personal de mantenimiento con un mayor grado de formación que los sistemas de depuración naturales, presentan un grado de complejidad menor que las *Aireaciones Prolongadas*.

✖ Los **costes de mantenimiento electromecánico**: son nulos en los sistemas de *Filtros Verdes*, *Humedales Artificiales* y *Filtros de Turba*, al carecer los mismos de equipos electromecánicos; pero en el caso de los *Lechos Bacterianos*, *Contactores Biológicos Rotativos* y *Aireaciones Prolongadas* si es preciso tener en cuenta este tipo de costes.

✖ Los **costes de la energía eléctrica consumida** son, conjuntamente con los de personal, los de mayor incidencia sobre el coste total de la explotación.

Desde el punto de vista de los costes energéticos si no es preciso bombear el agua residual y ésta llega por gravedad hasta la estación depuradora, los sistemas de *Filtros Verdes*, *Humedales Artificiales*, *Lagunajes* y *Filtros de Turba* pueden operar sin consumo energético alguno.

Los sistemas de *Lechos Bacterianos* y *Contactores Biológicos Rotativos*, si bien requieren consumo energético para su funcionamiento, estos requisitos son inferiores a los que presentan las *Aireaciones Prolongadas*, siendo menores estas necesidades en los *Lechos Bacterianos* que en los *Contactores*.

En lo referente al **coste de los reactivos**, este coste es nulo en el caso de las Tecnologías no Convencionales, al no ser necesaria la adición de ningún producto para el correcto funcionamiento de las mismas.

En el caso de *Lechos Bacterianos*, *Contactores Biológicos Rotativos* y *Aireaciones Prolongadas*, si se recurre al secado mecánico de los lodos generados en los procesos de tratamiento, se consumen reactivos en el acondicionamiento químico de los lodos, paso previo a su deshidratación.

✖ Los **costes del tratamiento, transporte y evacuación de los lodos generados en el proceso de depuración**, constituyen una partida importante de los costes de explotación de una estación depuradora. Con relación a este punto el comportamiento de las diferentes Tecnologías no Convencionales es el siguiente:

- En los *Filtros Verdes* no se generan fangos, sino que se va formando una costra en las inmediaciones de los puntos de alimentación, que se rompe periódicamente en las labores de mantenimiento, reintegrándose al terreno donde se biodegrada.
- En los *Lagunajes* se espacia mucho en el tiempo la necesidad de purgar los lodos en exceso y, dados los elevados tiempos de residencia, los lodos extraídos (5 - 10 años), se encuentran perfectamente mineralizados, habiéndose reducido considerablemente su volumen.
- En los *Filtros de Turba* no se generan lodos, sino que el residuo del tratamiento lo constituye una costra seca, fácilmente manipulable.

- En los *Humedales Artificiales* debe procederse a la extracción periódica de los lodos decantados en la etapa previa del tratamiento, y anualmente a la siega y extracción de las plantas secas, una vez finalizado su ciclo vegetativo.

En los sistemas de *Lechos Bacterianos* y *Contactores Biológicos Rotativos* se generan lodos frescos. En un intento por minimizar los problemas que este hecho acarrea, se recurre, con frecuencia, al empleo de *Fosas Sépticas*, *Tanques Imhoff* o *Lagunajes Anaerobios* previos. Los lodos en exceso, generados en el proceso de depuración, se recirculan a estos elementos situados en cabecera del tratamiento, de los que se extraen ya digeridos con la frecuencia que sea necesaria.

En el caso de las *Aireaciones Prolongadas*, los fangos como consecuencia de la elevada edad del lodo con las que se opera, se purgan de los *Decantadores* ya estabilizados, por lo que tan sólo es necesario proceder a su concentración antes de su secado. La deshidratación en el caso de pequeñas instalaciones puede llevarse a cabo haciendo uso de *Eras de Secado*.

Galería de imágenes

En el siguiente apartado se presenta una galería de fotografías referentes a los distintos procesos de depuración de las aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población, basados tanto en *Tecnologías Convencionales* como *no Convencionales*.

5.1. Pretratamiento



Foto 5.1. Rejas de desbaste. EDAR de las Tablas (Cádiz).



Foto 5.2. Rejas de desbaste. EDAR de Casa Aguilar (Gran Canaria - Las Palmas).



Foto 5.3. Limpieza manual de las rejas de desbaste.



Foto 5.4. Limpieza manual de los canales desarenados. Evacuación de las arenas extraídas.



Foto 5.5. Extracción de grasas en el Desengrasador.



Foto 5.6. Tamiz estático.



Foto 5.7. Canal Parshall, EDAR AENA Arrecife (Lanzarote - Las Palmas).

5.2 Tratamiento Primario



Foto 5.8. Decantador Primario. EDAR de Baza (Granada).

5.3 Tratamiento Secundario



Foto 5.9. Filtro Verde. Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (PECC, Sevilla).



Foto 5.10. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical. PECC.



Foto 5.11. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal. EDAR Área Recreativa Las Niñas (Gran Canaria - Las Palmas).



Foto 5.12. Labores de mantenimiento del Humedal Artificial.



Foto 5.13. Lagunas Anaerobias. Centro de Transferencia Tecnológica (Tetuán).



Foto 5.14. Lagunas Facultativa y de Maduración. Centro de Transferencia (Tetuán).



Foto 5.15. Limpieza de flotantes en la superficie de la Laguna Anaerobia.



Foto 5.16. Detalle de Filtros de Turba operativos (inundados) y en regeneración (secado de costra superficial). PECC.



Foto 5.17. Lechos Bacterianos. EDAR de La Iruela (Jaén).



Foto 5.18. Detalle del material plástico y brazo giratorio del Lecho Bacteriano.



Foto 5.19. Contactor Biológico Rotativo. EDAR AENA Arrecife (Lanzarote - Las Palmas).



Foto 5.20. Detalle de Contactor Biológico Rotativo.



Foto 5.21. Reactor Biológico. EDAR de El Rocío (Huelva).



Foto 5.22. Decantador Secundario. EDAR de El Rocío (Huelva).



Foto 5.23. Planta compacta por Fangos Activados. EDAR Casa Aguilar (Gran Canaria - Las Palmas).



Foto 5.24. Planta compacta por Fangos Activados. EDAR La Coruña (Gran Canaria - Las Palmas).

5.4 Tratamiento Terciario



Foto 5.25. Filtros de Arena. EDAR AENA Arrecife (Lanzarote - Las Palmas).



Foto 5.26 Filtros de Diatomeas. EDAR del Sureste de Gran Canaria (Las Palmas).

Contactos

Improving Coastal and Recreational Waters for All- ICREW

Mejora de las Aguas Costeras y de Recreo
www.icrew.info

Instituto Tecnológico de Canarias (ITC)

Playa de Pozo Izquierdo, s/n
35119 Pozo Izquierdo
Santa Lucía- LAS PALMAS
Telf.: 928 72 75 03
Fax: 928 72 75 17
agua@itccanarias.org
www.itccanarias.org

Centro de Investigación, Fomento y Aplicación de las Nuevas Tecnologías del agua (CENTA)

Avda. Américo Vespucio 5-A. Planta 2ª-
Módulo 10. Isla de la Cartuja. 41092. Sevilla
Telf.: 95 446 02 51
Fax: 95 446 12 52
jrpudre@centa.org.es

Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (PECC)

Autovía Sevilla-Huelva, Km. 28. 41820. Carrión
de los Céspedes. Sevilla.
Telf.: 95 475 51 25 95 475 58 34
Fax: 95 475 52 95
jjsalas@centa.org.es / imartin@centa.org.es
nsardon@centa.org.es

Dirección General de Aguas del Gobierno de Canarias

Pl. de los Derechos Humanos, nº 22
Edf. Servicios Múltiples I, Planta 11ª
35071 Las Palmas de Gran Canaria
Telf: 928 30 60 00/01
Fax: 928 38 23 02
www.gobcan.es/citv

Agencia Andaluza del Agua (AAA)

Avda. Carlos III, s/n. Edificio de la Prensa.
41092. Sevilla
Telf.: 95 562 52 30
Fax: 95 562 52 93
josem.fernandezpalacios@juntadeandalucia.es

Bibliografía

- Asociación Nacional de Químicos Españoles. Agrupación Territorial de Castilla La Mancha (1994). *Diseño y Explotación de Sistemas de Depuración de Aguas Residuales en Pequeños Núcleos y Comunidades*. Sección Técnica de Medio Ambiente. Ed: ANQUE. Madrid.
- Camp, J. P.; Cohen, J. y Moreno, J. M. (1978). *Tratamiento de las aguas residuales urbanas por filtración en lechos de turba*. Ingeniería Química.
- Catalán Lafuente (1997). *Depuradoras. Bases científicas*. Ed. BELLISCO. Madrid.
- CEDEX (1998). *XVI Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras*. Ministerio de Fomento, Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Colegio Oficial de Ingenieros agrónomos de Centro y Canarias (1993). *Tratamiento de aguas residuales, basuras y escombros en el ámbito rural*. Serie Técnica. Ed.: Agrícola Española, S.A. Madrid.
- Collado Lara, R. (1992). *Depuración de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades*. Colección Señor. Nº 12. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y puertos. Ed. Paraninfo, S.A. Madrid.
- Collado, R y Vargas, G. (1991). La depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades. Criterios de selección. *Tecnología del agua*, 80. Abril.
- Collado, R. (1991). *Tecnologías de depuración para pequeñas comunidades. Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras*. CEDEX. Madrid.
- EPA (1977). *Process design manual. Wastewater treatment facilities for sewerred small communities*.
- EPA (1980). *Onsite wastewater and disposal systems*.
- EPA (1983). *Desing manual. Municipal wastewater stabilization ponds*.
- EPA (2002). *Onsite wastewater treatment systems manual*. Office of Water. Office of Research and Development. U.S. Environmental Protection Agency.
- Fastenau, F. A. and others (1989). *Comparison of varius systems for on-site wastewater treatment. International conference on design and operation of small wastewater treatment plants*. Trondheim. Norway.
- García, J. et ál. (2004). *Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos*. Barcelona.
- Hernández, A. (2001). *Depuración y desinfección de aguas residuales*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Ed.: Thomson Learning Paraninfo. Madrid.

- Junta de Andalucía. Consejería de Obras Públicas y Transportes (1997). *Planta experimental de depuración de aguas residuales. Evolución y experiencias*. Sevilla.
- Junta de Andalucía. Ministerio de Medio Ambiente. Comisión Europea (Fondo Europeo de Desarrollo Regional) (2002). *International Conference. Small Wastewater Technologies and Management for the Mediterranean Area*. Sevilla.
- Marín, R. (2003). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas*. Ed. Díaz de Santos. Madrid.
- Martínez, G. et ál. (2002). *Guía I: Depuración de aguas residuales urbanas*. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Universidad de Granada. Granada.
- Metcalf & Eddy (2000). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª edición. Ed.: McGraw-Hill. Madrid.
- Oficina Internacional del Agua (2001). *Guía. Procesos extensivos de depuración de las aguas residuales adaptadas a las pequeñas y medias colectividades (500-5.000 Hab.)*. Francia.
- Reed, C. et ál. (1995). *Natural Systems for waste management and treatment*. 2ª Edición. Ed.: MacGraw-Hill, Inc. New York.
- Rohuart, J. (1986). *L'épuration des eaux usées domestiques*. La tribune Cebedeau. Francia.
- Ronzano, E y Dapena, J. I. (2002). *Tratamiento biológico de las aguas residuales*. CRIDESA. Grupo INERDROLA. Ed.: Díaz de Santos. Madrid.
- Sainz, J. A. (2005). *Sostenibilidad. Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales*. Ed. Fundación EOI. Madrid.
- Seoanez, M. (1999). *Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento*. 2ª edición. Ed. MUNDI-PRENSA. Madrid.
- Sierra, J y Peñalver, L. (1989). *La reutilización de las aguas residuales. Acondicionamiento y uso*. CEDEX. MOPU.
- Tejero, J. I. y Collado, R. (1990). *Otras tecnologías y sus exigencias. Jornadas sobre tratamiento y gestión de aguas residuales urbanas*. Junta de Castilla León.
- Trondheim, J. (1989). *Small wastewater treatment plants*. Ed. TAPIR. Norway.
- Vargas, G. P. (1990). *Criterios de selección en los procesos de depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades. Necesidad de planificación*. Tesina de Magister de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. E.T.S. Ingenieros de Caminos de Santander.

Anexo. Glosario de fotos, gráficos y tablas generadas

Figuras

Figura 1.1. Distribución por tamaño de los municipios en Andalucía

Figura 1.2. Distribución por tamaño de los municipios en Canarias

Figura 1.3. Distribución por tamaño de los núcleos de población en Andalucía

Figura 1.4. Distribución por tamaño de los núcleos de población en Canarias

Figura 2.1. Socios integrantes de la Acción Piloto 6

Figura 3.1. Ciclo de las aguas residuales urbanas (ITC y CENTA)

Figura 3.2. Evolución diaria tipo del caudal de agua residual urbana generada (CENTA)

Figura 3.3. Relación entre F_p y Q_{med} (CENTA)

Figura 3.4. Elementos constituyentes de las instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales urbanas (CENTA)

Figura 3.5. Componentes de las aguas residuales urbanas (CENTA)

Figura 3.6. Esquema de Tratamiento Secundario en la depuración de las aguas residuales urbanas (CENTA)

Figura 3.7. Etapa de la línea de agua en la depuración de las aguas residuales urbanas (CENTA)

Figura 3.8. Etapa de la línea de lodos en la depuración de las aguas residuales urbanas (CENTA)

Figura 4.1. Relación entre el factor punta (F_p) y el número de habitantes, para poblaciones inferiores a 1000 habitantes (CENTA)

Tablas

Tabla 3.1. Biodegradabilidad del agua residual urbana según la relación DBO_5/DQO

Tabla 3.2. Valores típicos de los principales contaminantes del agua residual urbana (doméstica bruta)

Tabla 3.3. Consumos urbanos (l/hab d), según los usos y tamaño de la población abastecida

Tabla 3.4. Calendario de cumplimiento de la *Directiva 91/271/CE*

Tabla 3.5. Requisitos de tratamiento exigibles en la depuración de las aguas residuales urbanas según las características de las zonas receptoras

Tabla 3.6. Rendimientos (%) en las etapas de depuración de las aguas residuales urbanas (CENTA)

Tabla 4.1. Valores medios de las aguas residuales urbanas generadas en los pequeños núcleos de población (ITC y CENTA)

Tabla 4.2. Rangos poblacionales óptimos de aplicación de las tecnologías de depuración de aguas residuales urbanas (CENTA)

Fotos

Foto 3.1. Vertido industrial a costa

Foto 3.2. Colector de entrada. EDAR de Almonaster la Real (Huelva) (CENTA)

Foto 3.3. Canal de desbaste. EDAR de Almonte (Huelva) (CENTA)

Foto 3.4. Tamiz estático. EDAR de Fondón (Almería) (CENTA)

Foto 3.5. Tamiz rotativo. EDAR AENA Arrecife (Lanzarote-Las Palmas) (ITC)

Foto 3.6. Detalle de desarenador-desengrasador aireado. EDAR de El Bobar (Almería) (CENTA)

Foto 3.7. Detalle de Decantador Primario. EDAR de Arroyo de la Miel (Málaga) (CENTA)

Foto 3.8. Detalle de tratamiento fisicoquímico (cámara de floculación-coagulación). EDAR de El Rompido (Huelva) (CENTA)

Foto 3.9. Detalle de Reactor Biológico. EDAR de El Rompido (Huelva) (CENTA)

Foto 3.10. Detalle de EDAR del Sureste de Gran Canaria (Las Palmas) (ITC)

Foto 3.11. Detalle de Tratamiento Terciario. EDAR de Maspalomas (Gran Canaria-Las Palmas) (ITC)

Foto 3.12. Detalle de tratamiento Terciario. EDAR del Sureste de Gran Canaria (Las Palmas) (ITC)

Foto 3.13. Espesador de lodos. EDAR de Manilva (Málaga) (CENTA)

Foto 3.14. Estabilización anaerobia de lodos. EDAR de Manilva (Málaga) (CENTA)

Foto 3.15. Secado mecánico de lodos: Filtros Banda. EDAR de Manilva (Málaga) (CENTA)

Foto 5.1. Rejas de desbaste. EDAR de las Tablas (Cádiz) (CENTA)

Foto 5.2. Rejas de desbaste. EDAR de Casa Aguilar (Gran Canaria - Las Palmas) (ITC)

Foto 5.3. Limpieza manual de las rejas de desbaste (CENTA)

Foto 5.4. Limpieza manual de los canales desarenados. Evacuación de las arenas extraídas (CENTA)

Foto 5.5. Extracción de grasas en el Desengrasador (CENTA)

Foto 5.6. Tamiz estático (CENTA)

Foto 5.7. Canal Parshall. EDAR AENA Arrecife (Lanzarote - Las Palmas) (ITC)

Foto 5.8. Decantador Primario. EDAR de Baza (Granada) (CENTA)

Foto 5.9. Filtro Verde. Planta Experimental de Carrión de los Céspedes (PECC, Sevilla)(CENTA)

- Foto 5.10. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical. PECC (CENTA)
- Foto 5.11. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal. EDAR Área Recreativa Las Niñas (Gran Canaria - Las Palmas) (ITC)
- Foto 5.12. Labores de mantenimiento del Humedal Artificial (CENTA)
- Foto 5.13. Lagunas Anaerobias. Centro de Transferencia Tecnológica (Tetuán) (CENTA)
- Foto 5.14. Lagunas Facultativa y de Maduración. Centro de Transferencia (Tetuán) (CENTA)
- Foto 5.15. Limpieza de flotantes en la superficie de la Laguna Anaerobia (CENTA)
- Foto 5.16. Detalle de Filtros de Turba operativos (inundados) y en regeneración (secado de costra superficial). PECC (CENTA)
- Foto 5.17. Lechos Bacterianos. EDAR de La Iruela (Cádiz) (CENTA)
- Foto 5.18. Detalle del material plástico y brazo giratorio del Lecho Bacteriano (CENTA)
- Foto 5.19. Contactor Biológico Rotativo. EDAR AENA Arrecife (Lanzarote - Las Palmas) (ITC)
- Foto 5.20. Detalle de Contactor Biológico Rotativo. PECC (CENTA)
- Foto 5.21. Reactor Biológico. EDAR de El Rocío (Huelva) (CENTA)
- Foto 5.22. Decantador Secundario. EDAR de El Rocío (Huelva) (CENTA)
- Foto 5.23. Planta compacta por Fangos Activados. EDAR Casa Aguilar (Gran Canaria - Las Palmas) (ITC)
- Foto 5.24. Planta compacta por Fangos Activados. EDAR La Coruña (Gran Canaria - Las Palmas) (ITC)
- Foto 5.25. Filtros de Arena. EDAR AENA Arrecife (Lanzarote - Las Palmas) (ITC)
- Foto 5.26. Filtros de Diatomeas. EDAR del Sureste de Gran Canaria (Las Palmas) (ITC)

Esquemas

- Esquema general de un proceso de Fosa Séptica con dos compartimentos (CENTA)
- Esquema general de un proceso de Tanque Imhoff (CENTA)
- Esquema en planta y sección del proceso de Zanjas Filtrantes (ITC y CENTA)
- Esquema del proceso de Lechos Filtrantes (ITC y CENTA)
- Esquema general de un proceso de Pozo Filtrante (ITC y CENTA)
- Esquema del proceso de Filtros de Arena enterrados
- Esquema general de un proceso de Filtro Verde (CENTA)
- Esquema general del proceso de Humedal Artificial de Flujo Libre (FL) (CENTA)
- Esquema general del proceso de Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal (FSH) y de Flujo Subsuperficial Vertical (FSV) (CENTA)
- Esquema general de un proceso de Lagunaje (CENTA)
- Esquema general de un proceso de Filtros de Turba (CENTA)

Esquema general del proceso de Lechos Bacterianos con Tratamiento Primario (Decantador Primario) o Laguna Anaerobia (CENTA)

Esquema general de un proceso de Contactor Biológico Rotativo, con Tratamiento Primario (Decantador Primario) o Laguna Anaerobia (CENTA)

Esquema general de un proceso de Aireación Prolongada (CENTA)



MINISTERIO DE AGRICULTURA,
PECUARIA Y PESCA
POLÍTICA AGROPECUARIA
DESENVOLUPAMENT RURAL
POLÍTICA AGROPECUARIA
DESENVOLUPAMENT RURAL



Con la participación de la Unión Europea
Proyecto cofinanciado por el FEDER