

Grado en: Ingeniería Química Industrial

Escuela superior de ingeniería y tecnología Universidad de La laguna

Curso 2023/2024

Convocatoria: Julio

DESARROLLO DE APLICACIÓN EXCEL PARA EL DISEÑO Y CÁLCULO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUA PARA HOTELES Y PEQUEÑOS NÚCLEOS

Realizado por Dº. Sergio Casanova Barreto

Tutorizado por el profesor Dº. Juan Domingo Acosta García

Departamento de Ingeniería Química

INDICE

1 – RESUMEN.....	1
2 – ABSTRACT.....	1
3- INTRODUCCIÓN.....	2
4- ASPECTOS GENERALES.	5
4.1- El concepto de pequeña población.	5
4.2-Definición y procedencia de las aguas residuales urbanas.....	5
4.3- Principales contaminantes y parámetros de caracterización.....	7
4.4- Marco normativo.....	9
5- MÉTODOS DE DEPURACION CONSIDERADOS.....	9
5.1 – Tecnologías seleccionadas.....	9
5.2- Obra de llegada y pretratamiento	11
5.3- Tratamiento primario.....	14
5.4- Tratamiento secundario extensivo	20
5.5 -Tratamiento secundario intensivo.....	34
6- EFLUENT.....	52
6.1- Descripción general de la aplicación	52
6.2- Objetivos y beneficios del uso de la aplicación	52
6.3- Requisitos del sistema	53
6.4- Funcionalidades y uso	54
7 - PROPUESTA DE ACTUALIZACIONES.....	62
8 – CONCLUSIONES.....	63
9 - CONCLUSIONS	64
10- BIBLIOGRAFIA.....	65
11- ANEXOS.....	67

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Esquema de un tanque Imhoff.....	15
Ilustración 2. Diagrama de flujo en instalaciones de Tanque Imhoff (200-1000) habitantes equivalentes	17
Ilustración 3. Sección de un decantador primario cilindrocónico estático	18
Ilustración 4. Diagrama de flujo de un decantador primario	19
Ilustración 5. Corte transversal y longitudinal de un humedal artificial de flujo.....	22
Ilustración 6. Corte transversal y longitudinal de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal y vertical.....	24
Ilustración 7. Diagrama de flujo de Humedales de flujo horizontal para 200-500 y 500 -1000 (h-e).....	25
Ilustración 8. Diagrama de flujo de Diagrama de flujo vertical 200-500 y 500 -1000 (h-e).....	26
Ilustración 9. Filtro intermitente de arena sin recirculación	27
Ilustración 10. Filtro intermitente de arena con recirculación	27
Ilustración 11. Diagrama de flujo de un filtro de arena sin recirculación 200-500 (h-e).....	29
Ilustración 12. Diagrama de flujo de un filtro de arena con recirculación 500-1000 (h-e).....	29
Ilustración 13. Sección transversal de un filtro de turba	31
Ilustración 14. Diagrama de flujo de un filtro de turba para 200-500 (h-e).....	33
Ilustración 15. Diagrama de flujo de un filtro de turba para 500-1000 (h-e).....	33
Ilustración 16. Esquema de un proceso de aireación prolongada.....	35
Ilustración 17. Diagrama de flujo de un sistema de Aireación Prolongada, en el que las etapas de nitrificación-desnitrificación tienen lugar el mismo reactor (aireación intermitente).....	38
Ilustración 18. Diagrama de flujo de un sistema de Aireación Prolongada, en el que las etapas de nitrificación-desnitrificación tienen lugar en zonas separadas (anóxica y aerobia).....	38
Ilustración 19. Esquema de un lecho bacteriano	39
Ilustración 20. Diagrama de flujo de una instalación de Lecho Bacteriano (200-1.000 h-e).....	44
Ilustración 21. Diagrama de flujo de una instalación de Lecho Bacteriano (1000-2000 h-e).....	44
Ilustración 22. Esquema del ciclo de funcionamiento de un reactor secuencial discontinuo (SBR).....	46
Ilustración 23. Diagrama de flujo de sistema SBR (>500 h-e)	47
Ilustración 24. Detalle del movimiento del relleno en un reactor aerobio (izquierda) y en un reactor anóxico o anaerobio (derecha).....	48
Ilustración 25. Diagrama de flujo de un Sistema MBBR sin tratamiento primario y sin eliminación de N.....	51

Ilustración 26. Diagrama de flujo de Sistema MBBR con tratamiento primario y con eliminación de N.....	51
Ilustración 27. Logo “EFLUENT”.....	52
Ilustración 28. Menú principal de “Efluent” señalando la función “Información”.....	54
Ilustración 29. Menú de información de “Efluent”	55
Ilustración 30. Menú de información de “Efluent”	55
Ilustración 31. Menú principal de “Efluent” señalando la función “Consulta”.....	56
Ilustración 32. Menú de consulta de “Efluent”	57
Ilustración 33. Ejemplo de pantalla de cálculo de un proceso de desbaste en la aplicación	57
Ilustración 34. Menú de introducción de los datos para el diseño del plan de depuración	58
Ilustración 35. Pantalla de elección de métodos de depuración en la aplicación “Efluent”.....	60
Ilustración 36. Ejemplo de código de programación de la aplicación “Efluent”.....	61
Ilustración 37. Pantalla resumen del método final seleccionado en la aplicación “Efluent”.....	61

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Valores típicos de los principales contaminantes del agua residual urbana (Metcalf & Eddy, 2000)</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 2. Límites de vertidos establecidos por la directiva 91/271/CEE</i>	<i>9</i>
<i>Tabla 3. Rendimientos de depuración alcanzados en un tanque Imhoff</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 4. Rendimientos de depuración alcanzados en un decantador primario</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 5. Rendimientos de depuración alcanzados en un con humedales de flujo subsuperficial verticales y horizontales</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 6. Rendimientos de depuración alcanzados en un filtro intermitente de arena</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 7. Rendimientos de depuración alcanzados en filtros de turba</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 8. Rendimientos de depuración alcanzados en sistemas de Aireación prolongada</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 9. Rendimientos de depuración alcanzados en sistemas de lechos bacterianos</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 10. Rendimientos de un SBR sin eliminación de nutrientes.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 11. Rendimientos de un SBR con nitrificación-desnitrificación.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 12. Rendimientos esperados en la depuración en los sistemas MBBR.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 13. Rango de aplicación recomendable para las diferentes tecnologías de depuración.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 14. Niveles de tratamiento alcanzados según la tecnología implantada</i>	<i>60</i>

1-RESUMEN

El presente proyecto se enfoca en el desarrollo de una aplicación destinada al diseño de sistemas de depuración de aguas residuales para pequeños núcleos urbanos.

En muchas ocasiones, las pequeñas poblaciones carecen de acceso a sistemas de alcantarillado o plantas de tratamiento de aguas residuales a gran escala. Esto implica que deben buscar soluciones más adaptadas a su escala y necesidades específicas

Esta herramienta creada mediante el lenguaje de programación de Visual Basic en Excel pretende ofrecer una solución efectiva y personalizada para cada usuario, teniendo en cuenta las características particulares de cada núcleo urbano siempre considerando los requerimientos legales y ambientales para asegurar el cumplimiento normativo y el respeto al entorno natural

A través de una interfaz intuitiva y amigable, la aplicación guía al usuario a lo largo del proceso de diseño, permitiéndole seleccionar entre diversas tecnologías de tratamientos específicas para cada caso en particular

El objetivo principal del proyecto es servir una herramienta de diseño especializada y accesible, donde se busca dar una orientación detallada de los procesos de depuración más adecuados y efectivos en función de las necesidades del usuario.

2-ABSTRACT

This project focuses on the development of an application for the design of wastewater treatment systems for small urban centers. In many cases, small towns lack access to sewage systems or large-scale wastewater treatment plants. This means that they must look for solutions that are more adapted to their scale and specific needs.

This tool, created using the Visual Basic programming language in Excel, aims to offer an effective and customized solution for each user, taking into account the particular characteristics of each urban center, always considering the legal and environmental requirements to ensure regulatory compliance and respect for the natural environment.

Through an intuitive and user-friendly interface, the application guides the user through the design process, allowing the user to select between different treatment technologies specific to each particular case.

The main objective of the project is to serve as a specialized and accessible design tool, which seeks to provide detailed guidance on the most appropriate and effective treatment processes according to the user's needs.

3-INTRODUCCIÓN

La depuración de las aguas residuales es un proceso fundamental para la salud pública, la protección del medio ambiente y el desarrollo sostenible, especialmente en pequeños núcleos urbanos.

Las razones por las cuales este proceso es crucial vienen dadas desde distintos puntos, uno de estos será la protección contra la salud pública debido a que la gran parte las poblaciones de pequeños núcleos urbanos suelen depender de fuentes locales de agua para su consumo diario, como pozos y ríos. Si las aguas residuales no se tratan adecuadamente, pueden contaminar estas fuentes, llevando a la propagación de enfermedades de origen hídrico como el cólera, la disentería y la hepatitis. La depuración efectiva elimina patógenos y reduce significativamente el riesgo de brotes epidémicos, asegurando un suministro de agua potable seguro para la comunidad

En cuanto a la preservación del medio ambiente, las aguas residuales contienen una mezcla de contaminantes químicos y biológicos que, si se liberan sin tratamiento, pueden causar graves daños a los ecosistemas locales. La descarga de estos efluentes en ríos, lagos y suelos puede alterar los hábitats acuáticos, reducir la biodiversidad y afectar la calidad del agua. La depuración adecuada reduce la carga contaminante, protegiendo la flora y fauna local y manteniendo la integridad de los ecosistemas.

Otro punto muy a tener en cuenta será el desarrollo económico y sostenible, en donde un sistema eficaz de tratamiento de aguas residuales puede ser un motor para el desarrollo sostenible. La disponibilidad de agua limpia es crucial para diversas

actividades económicas como la agricultura, el turismo y la industria. En pequeños núcleos urbanos, donde estas actividades pueden ser la principal fuente de ingresos, garantizar la calidad del agua contribuye al crecimiento económico y al bienestar social. Además, la reutilización de aguas depuradas para riego y otros usos no potables optimiza el uso de los recursos hídricos.

Y por último uno de los puntos más importantes a la hora de la depuración de las aguas es el cumplimiento de normativas y regulaciones. La legislación sobre la gestión de aguas residuales suele ser estricta y su incumplimiento puede resultar en sanciones económicas y legales. Los pequeños núcleos urbanos, al implementar sistemas de depuración eficaces, no solo evitan posibles multas, sino que también demuestran su compromiso con el cumplimiento de las normativas ambientales y de salud pública, mejorando su reputación y atractivo como lugares habitables y responsables.

La gestión adecuada de las aguas residuales refleja un compromiso con la sostenibilidad y la responsabilidad social. Los habitantes de pequeños núcleos urbanos, al involucrarse en la protección de sus recursos hídricos, promueven una cultura de cuidado ambiental y fomentan la conciencia sobre la importancia de preservar el entorno natural para las futuras generaciones. Esta conciencia y acción colectiva pueden ser un modelo a seguir para otras comunidades.

En muchas ocasiones, las pequeñas poblaciones carecen de acceso a sistemas de alcantarillado o plantas de tratamiento de aguas residuales a gran escala. Esto implica que deben buscar soluciones más adaptadas a su escala y necesidades específicas. Afortunadamente, existen diferentes tecnologías y enfoques que pueden aplicarse a estas situaciones para lograr una depuración efectiva.

Con esto, la depuración de agua en pequeñas poblaciones se ha convertido en un aspecto fundamental para garantizar la calidad del agua y preservar el medio ambiente. Aunque tales poblaciones pueden tener un menor número de habitantes equivalentes en comparación con las grandes ciudades, su impacto en el entorno local y los recursos hídricos es significativo

En la actualidad, el manejo adecuado de los efluentes generados en estos pequeños núcleos urbanos se ha convertido en desafío clave, una tarea fundamental donde encontrar soluciones eficientes y sostenibles en la depuración de estos.

Así pues, dada la cantidad de variables condicionantes, la identificación de la solución más adecuada de saneamiento y depuración en una pequeña población suele ser una tarea de mayor complejidad que en una población de mayor tamaño.

En este contexto, surge una herramienta innovadora, que se presenta como una guía confiable para orientar a los usuarios sobre que tratamiento de depuración es más conveniente según las características específicas de sus efluentes. Esta herramienta, basada en el lenguaje de programación Visual Basic en Excel, busca proporcionar información detallada y personalizada, facilitando así la toma de decisiones relacionadas con el manejo y la depuración de aguas residuales.

El objetivo principal de esta aplicación es brindar a las poblaciones de tamaño reducido una herramienta de fácil acceso y utilización, que les permita evaluar las opciones de tratamiento disponibles y seleccionar la alternativa más adecuada a sus necesidades particulares. A través de un enfoque sistematizado y eficiente, se busca fomentar la implementación de prácticas de depuración eficaces, persiguiendo siempre la mejor opción en cada caso

La aplicación se basa en una serie de macros de Excel que, mediante algoritmos y cálculos específicos, evalúa variables clave como la composición de los efluentes, los requerimientos legales y ambientales y los recursos disponibles. Con base en estos datos, la herramienta genera recomendaciones claras y fundamentadas, que orientan al usuario hacia la opción más conveniente de tratamiento.

4 – ASPECTOS GENERALES

4.1- EL CONCEPTO DE PEQUEÑA POBLACIÓN

No existe una definición que delimite el número concreto de habitantes por debajo del cual una población se pueda considerar pequeña. Sin embargo, la Unión Europea cuando habla de pequeñas aglomeraciones urbanas hace referencia a aquellas poblaciones inferiores a los 2.000 habitantes equivalentes (h-e) , coincidiendo con el límite establecido por la Directiva 91-271-CEE , por debajo del cual las aguas residuales requieren un tratamiento adecuado, definiéndose este como:

“ Tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante cualquier proceso y/o sistema de eliminación de virtud del cual , después del vertido de dichas aguas , las aguas receptoras cumplan los objetivos de calidad pertinentes y las disposiciones pertinentes de la presente y de las restantes directivas comunitarias “

4.2 - DEFINICIÓN Y PROCEDENCIA DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS

Según la definición establecida por el Real Decreto-Ley 11/1995 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. (ITC, 2006)

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.

4.3- 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 Fosforo): 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 Biológica de Oxígeno a los 5 días (DBO5): cantidad de oxígeno disuelto (mg O₂/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 O₂/l) necesaria para oxidar los componentes del agua recurriendo a reacciones químicas. (ITC,2006)

Los valores habituales de estos parámetros en las aguas residuales urbanas se recogen en la siguiente tabla:

PARAMETROS	Contaminacion Fuerte	Contaminacion media	contaminacion ligera
Sólidos en suspensión	350	220	100
DBO5 (mg/l)	400	220	110
DQO (mg/l)	1000	500	250
N-NH ₄ ⁺ (mg/l)	85	40	20
N total (mg/l)	15	8	4
P total (mg/l)	150	100	50
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	10 ⁶ -10 ⁸	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁵ -10 ⁷

Tabla 1. Valores típicos de los principales contaminantes del agua residual urbana (Metcalf & Eddy, 2000)

4.4- MARCO NORMATIVO

En España no existe una regulación específica de los vertidos de aguas residuales generadas en poblaciones menores a 2000 (h-e), no siendo así en otros países de la Unión Europea, donde sí se ha optado por regular de forma directa los tratamientos y vertidos de las pequeñas aglomeraciones urbanas. Países como Francia, Polonia o Reino Unido, han optado por establecer límites de vertidos menos exigentes a los establecidos en la directiva 91/271/CEE para poblaciones mayores. Serán los límites establecidos por estos países, en concreto los impuestos por Francia, debido a nuestra cercanía y similitud geográfica, los que se tendrán en cuenta para determinar los requerimientos mínimos de depuración. Estos requisitos mínimos vienen representados en la siguiente tabla:

Parámetros	Características					
	SS	DBO ₅	DQO	N-NH ₄ ⁺	O _T	P _T
Primario	Rto > 50%	Rto > 20%				
Secundario	<35 mg/l ó Rto > 90%	<25 mg/l ó Rto > 70%	<125 mg/l ó Rto > 75%			
Secundario con nitrificación	<35 mg/l ó Rto > 90%	<25 mg/l ó Rto > 70%	<125 mg/l ó Rto > 75%	<15 mg/l ó Rto > 70%		
Secundario con eliminación de nitrógeno	<35 mg/l ó Rto > 90%	<25 mg/l ó Rto > 70%	<125 mg/l ó Rto > 75%		<15 mg/l ó Rto > 70%	
Secundario con eliminación de fósforo	<35 mg/l ó Rto > 90%	<25 mg/l ó Rto > 70%	<125 mg/l ó Rto > 75%			<2 mg/l ó Rto > 85%

Tabla 2. Límites de vertidos establecidos por la directiva 91/271/CEE (CEDEX, 2010)

5- METODOS DE DEPURACIÓN CONSIDERADOS

5.1- TECNOLOGÍAS SELECCIONADAS

En la elaboración de la aplicación se ha utilizado principalmente la información proporcionada por el “Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones” al que haremos referencia a partir de ahora como CEDEX

(2010). Este recurso ha sido fundamental para comprender y explicar los diversos procesos y tecnologías involucrados en el tratamiento de aguas residuales, así como para detallar los requisitos y métodos de depuración empleados en diferentes contextos. Gracias a la riqueza y precisión de los datos contenidos en este manual, ha sido posible desarrollar un análisis exhaustivo y fundamentado sobre la gestión y tratamiento de las aguas residuales en los pequeños núcleos urbanos.

Teniendo esto en cuenta a continuación se expondrán los fundamentos y los diagramas de flujos base que se utilizarán dentro de la herramienta creada, recalcando la autoría de estos al manual CEDEX (2010)

La cantidad de tratamientos aplicables a la depuración de aguas en las pequeñas poblaciones es muy amplia. Por ello, se han seleccionado para el desarrollo de esta herramienta los métodos más óptimos y utilizados en la actualidad, siendo objeto de consideración los siguientes métodos:

Pretratamiento

- Desbaste
- Desarenado
- Desengrasado

Tratamiento Primario

- Tanque Imhoff (TI)
- Decantación primaria (DP)

Tratamiento Secundario Extensivo

- Humedales Artificiales (HFSV-HFSH)
- Filtros Intermitentes de Arena (FIA)
- Infiltración-Percolación (IP)
- Filtros de Turba (FT)

Tratamiento Secundario Intensivo

- Aireación Prolongada (AP)

- Lechos bacterianos (LB)
- Reactores Secuenciales (SBR)
- Reactores de Biopelícula sobre lecho móvil (MBBR)

5.2- OBRA DE LLEGADA , PRETRATAMIENTO

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, las aguas que llegan, transportadas por gravedad o bombeo, desembocan en una estructura inicial antes del pretratamiento. En esta etapa, se eliminan la mayor cantidad posible de materiales que, por su tamaño o naturaleza, podrían causar problemas en las fases posteriores del tratamiento.

Es crucial medir los caudales de agua residual que ingresan en las plantas de tratamiento para una gestión eficiente y para calcular los costos de tratamiento por unidad de volumen de agua tratada.

5.2.1 Obra de Llegada

Las aguas residuales, al llegar a la planta de tratamiento, desembocan en la estructura de llegada ubicada al inicio de la instalación. Esta suele consistir en una arqueta donde se conectan todos los colectores que transportan las aguas a tratar. La estructura de llegada debe contar con un aliviadero conectado a la línea de bypass general, con la función de evacuar el exceso de caudal máximo de diseño y permitir el bypass de la planta de tratamiento si es necesario. Tanto el bypass como el emisario deben tener la capacidad suficiente para transportar toda el agua que pueda llegar por el colector a la planta.

En ocasiones, es necesario construir un tanque de tormentas en la entrada de la EDAR para evitar el impacto sobre el medio hídrico receptor de los sólidos y arenas arrastradas durante los primeros momentos de las lluvias.

5.2.2 Pretratamiento

Antes de su tratamiento principal, las aguas residuales pasan por una etapa de pretratamiento que incluye una serie de operaciones físicas y mecánicas. El objetivo es separar la mayor cantidad posible de materiales (sólidos gruesos, arenas, grasas) que, por su naturaleza o tamaño, podrían causar problemas en las etapas posteriores del tratamiento. Un diseño y mantenimiento adecuado del pretratamiento son vitales, ya que cualquier deficiencia puede provocar obstrucciones, desgaste de equipos, acumulación de arenas y otros problemas.

Las operaciones de pretratamiento varían según la calidad del agua de entrada, el tipo de tratamiento posterior y el tamaño de la población. En pequeñas aglomeraciones urbanas, el pretratamiento generalmente incluye:

- Desbaste
- Desarenado
- Desengrasado

En redes separativas, se puede omitir el desarenado, y el desengrasado puede no ser necesario si hay un tratamiento primario posterior y el contenido en grasas no es elevado. En caso de presencia significativa de grasas (restaurantes, estaciones de servicio, etc.), el desengrasado es imprescindible.

Si es necesario introducir un bombeo al inicio de la planta debido a problemas de línea piezométrica, este se realiza preferiblemente después del desarenado y desengrasado. Si esto no es posible, al menos debe incluirse una reja de desbaste antes del bombeo para proteger las bombas.

El número de bombas, su capacidad y el volumen del tanque de aspiración deben ser calculados para que el caudal impulsado se adecue a las variaciones diarias del caudal del agua residual, evitando sobrecargas en los diferentes procesos de la EDAR. Generalmente, se deben emplear bombas con variador de frecuencia para una buena regulación del caudal.

5.2.3 Desbaste

En pequeñas poblaciones, el desbaste es usualmente el primer proceso en el tratamiento de las aguas residuales, eliminando sólidos de tamaño pequeño a mediano mediante rejillas y/o tamices. Las rejillas son barras paralelas con separación uniforme, mientras que los tamices son placas perforadas o mallas metálicas.

Las rejillas se clasifican en:

- Rejillas de gruesos: con un paso libre entre 20 y 60 mm (normalmente entre 20 y 30 mm).
- Rejillas de finos: con un paso libre entre 6 y 12 mm (normalmente 10 mm).

Según su limpieza, las rejillas se dividen en:

- Rejillas de limpieza manual: equipadas con un cestillo perforado para acumular los sólidos retirados mediante un rastrillo.
- Rejillas de limpieza automática: con un peine rascador que limpia la rejilla automáticamente y descarga los residuos a un transportador.

5.2.4 Desarenado

El desarenado elimina la materia más densa presente en las aguas residuales, con un diámetro superior a 0,2 mm, evitando su sedimentación y protegiendo las bombas de la abrasión. Hay dos tipos principales de desarenadores:

- Desarenadores estáticos de flujo horizontal: con modalidades de flujo variable y flujo constante.
- Desarenadores aireados: utilizan aire inyectado para reducir el contenido de materia orgánica en la arena.

5.2.5 Desengrasado

El desengrasado elimina grasas y materias flotantes más ligeras que el agua. Hay dos tipos:

- Desengrasadores estáticos: con un tabique deflector y un fondo inclinado para facilitar la retirada de las grasas de forma manual.
- Desengrasadores aireados: inyectan aire para mejorar la flotación de las grasas, y suelen combinarse con la operación de desarenado.

5.3 - TRATAMIENTOS PRIMARIOS

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 DBO5 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%”*.

El principal objetivo de los tratamientos primarios se centra en la eliminación de sólidos en suspensión (flotantes y sedimentables), consiguiéndose, además, una cierta reducción de la contaminación biodegradable, dado que una parte de los sólidos que se eliminan está constituida por materia orgánica.

En el caso de las pequeñas poblaciones las tecnologías más utilizadas son los tanques Imhoff y los decantadores primarios

5.3.1- TANQUE IMHOFF

5.3.1.1- Fundamentos

Los Tanques Imhoff son dispositivos que permiten un tratamiento primario de las aguas residuales, reduciendo su contenido de sólidos en suspensión, tanto sedimentables como flotantes. Por lo general, se instalan bajo tierra y son uno de los métodos primarios más utilizados en sistemas de depuración descentralizados y pequeñas comunidades. Estos tanques constan de un único depósito que separa la zona de sedimentación, ubicada en

la parte superior, de la zona de digestión de los sólidos decantados, situada en la parte inferior.

El diseño de la apertura que conecta ambas zonas impide el paso de gases y partículas de fango desde la zona de digestión a la de sedimentación, evitando así que los gases generados en la digestión afecten la sedimentación de los sólidos en suspensión.

En el funcionamiento de los Tanques Imhoff, se distinguen dos tipos de procesos:

- **Físicos:** La gravedad separa los sólidos sedimentables presentes en las aguas residuales, que se acumulan en el fondo del tanque, de los sólidos flotantes, incluyendo aceites y grasas, que forman una capa en la superficie líquida de la zona de sedimentación.
- **Biológicos:** La fracción orgánica de los sólidos acumulados en el fondo del tanque sufre reacciones de degradación anaerobia, licuándose, reduciendo su volumen y liberando biogás, compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono, y en menor medida, de compuestos de azufre (ácido sulfhídrico, mercaptanos, etc.), responsables de los malos olores.

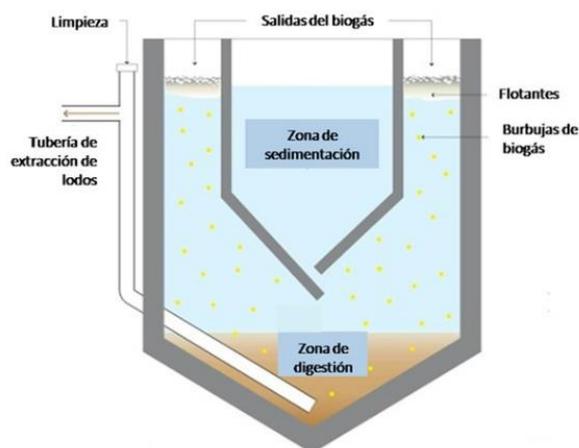


Ilustración 1. Esquema de un tanque Imhoff (Juan José ,2020)

La reducción del volumen de la materia orgánica sedimentada en la zona de digestión permite espaciar las operaciones de purga periódica de los fangos acumulados. Los Tanques Imhoff se utilizan principalmente para el tratamiento primario de aguas

residuales generadas en residencias individuales y otras pequeñas instalaciones (campings, gasolineras) que carecen de redes de alcantarillado cercanas.

A mayor escala, los Tanques Imhoff se emplean como etapa previa a otros tratamientos, como Humedales Artificiales, Lechos Bacterianos, CBR, entre otros (Alexandre et al., 2006). La capacidad máxima de diseño de los tanques Imhoff suele estar en torno a los 500 habitantes equivalentes, debido a limitaciones constructivas, aunque se pueden instalar varias unidades en paralelo para atender poblaciones de hasta 1,000 habitantes equivalentes.

Los rendimientos de depuración alcanzados con este proceso son:

PARAMETROS	% REDUCCIÓN
Sólidos en suspensión	50-60
DBO5 (mg/l)	20-30
DQO (mg/l)	20-30

Tabla 3. Rendimientos de depuración alcanzados en un tanque Imhoff (CEDEX, 2010)

5.3.1.4 – Diagrama de flujo

Para el rango de población de ente 200-500 (h-e) el tratamiento tendrá de un pretratamiento que constara de una etapa de desbaste de doble canal, que acogerá una reja de gruesos de limpieza automática, disponiéndose en paralelo otra reja de gruesos de limpieza manual, que actuara a modo de bypass. Tras la operación de desbaste las aguas pasaran a un desarenador estático de limpieza manual. Para los rangos de 500-1000 (h-e) el desbaste será similar, pero tras la reja automática de gruesos de dispondrá otra de finos de limpieza automática

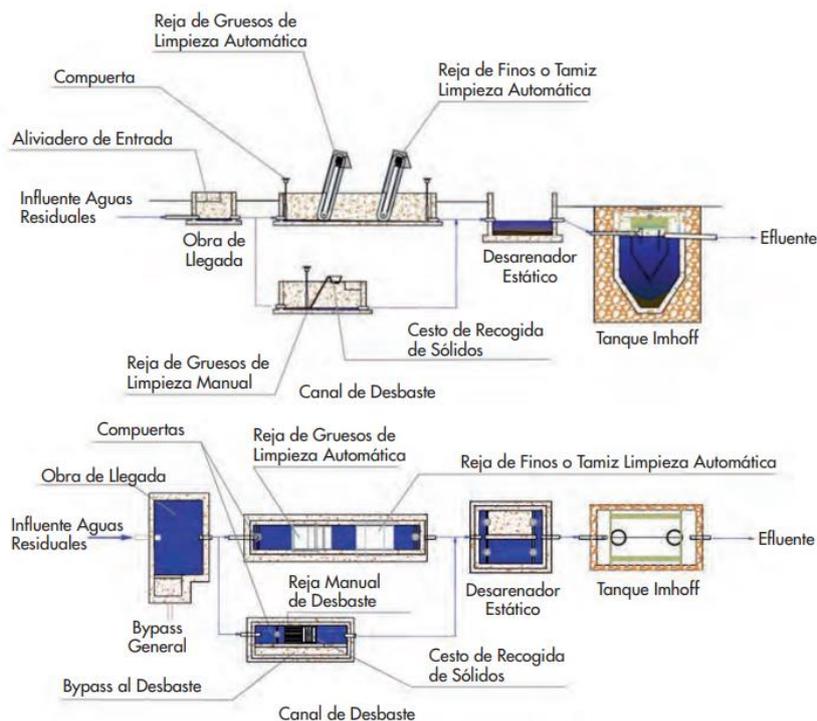


Ilustración 2. Diagrama de flujo en instalaciones de Tanque Imhoff (200-1000) habitantes equivalentes (CEDEX, 2010)

5.3.2 DECANTADOR PRIMARIO

5.3.2.1 – Fundamentos

La Decantación Primaria tiene como propósito eliminar una parte significativa de los sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales mediante la acción de la gravedad. En esta etapa, sólo se eliminan los sólidos sedimentables y las materias flotantes, mientras que los sólidos coloidales y disueltos permanecen sin cambios. Es crucial retirar estos sólidos previamente, ya que su presencia generaría altas demandas de oxígeno en las etapas de tratamiento posteriores.

Los decantadores primarios pueden ser estáticos o dinámicos, dependiendo de si tienen o no componentes mecánicos.

-Decantadores estáticos: en el tratamiento de aguas residuales urbanas se utilizan principalmente dos tipos:

- . Decantadores cilindrocónicos: adecuados para caudales pequeños (hasta 20 m³/h), en poblaciones de menos de 2,000 habitantes.

- . Decantadores lamelares: usan un elemento físico inclinado (lamela) contra el que chocan las partículas durante su sedimentación, deslizándose posteriormente sobre ella. Esto permite reducir el volumen de sedimentación necesario, haciendo los equipos de decantación más compactos.

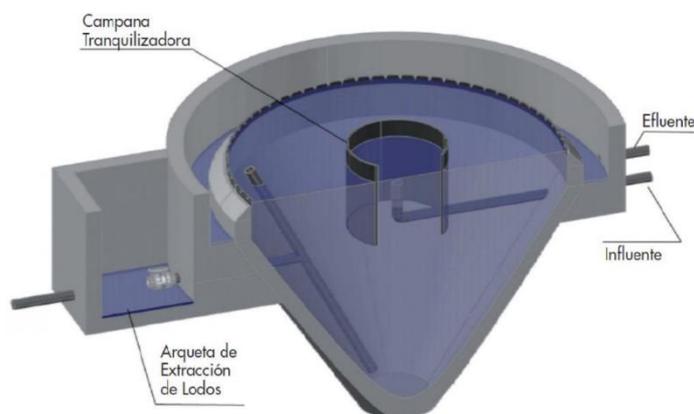


Ilustración 3. Sección de un decantador primario cilindrocónico estático (CEDEX, 2010)

-Decantadores dinámicos: están equipados con componentes electromecánicos que se utilizan para recoger los flotantes y conducir los lodos hacia la poceta de evacuación. Según su geometría, se dividen en decantadores dinámicos rectangulares y circulares.

En el tratamiento de aguas residuales de pequeñas aglomeraciones urbanas, donde se requieren unidades de decantación con un diámetro inferior a 5 metros y la construcción en hormigón es difícil, se suele optar por decantadores estáticos cilindrocónicos, fabricados en materiales plásticos. Sin embargo, para evitar el manejo de fangos no digeridos, a menudo se reemplaza la decantación primaria por una etapa de decantación-digestión (Tanques Imhoff), especialmente en poblaciones de menos de 1,000 habitantes equivalentes. Los rendimientos de depuración alcanzados con este proceso son:

PARAMETROS	% REDUCCIÓN
Sólidos en suspensión	60-65
DBO5 (mg/l)	30-35

Tabla 4. Rendimientos de depuración alcanzados en un decantador primario (CEDEX, 2010)

5.3.2.4 – Diagrama de flujo

La etapa de Decantación tendrá un pretratamiento conformado por un desbaste de doble canal en donde un canal cuenta con una reja de gruesos seguida de otra de finos o tamiz ambas de limpieza automática a automática y el otro que actuará como by-pass estará compuesto con una reja de gruesos de limpieza manual. Tras esta etapa será implementado un desarenador con extracción automática de arena

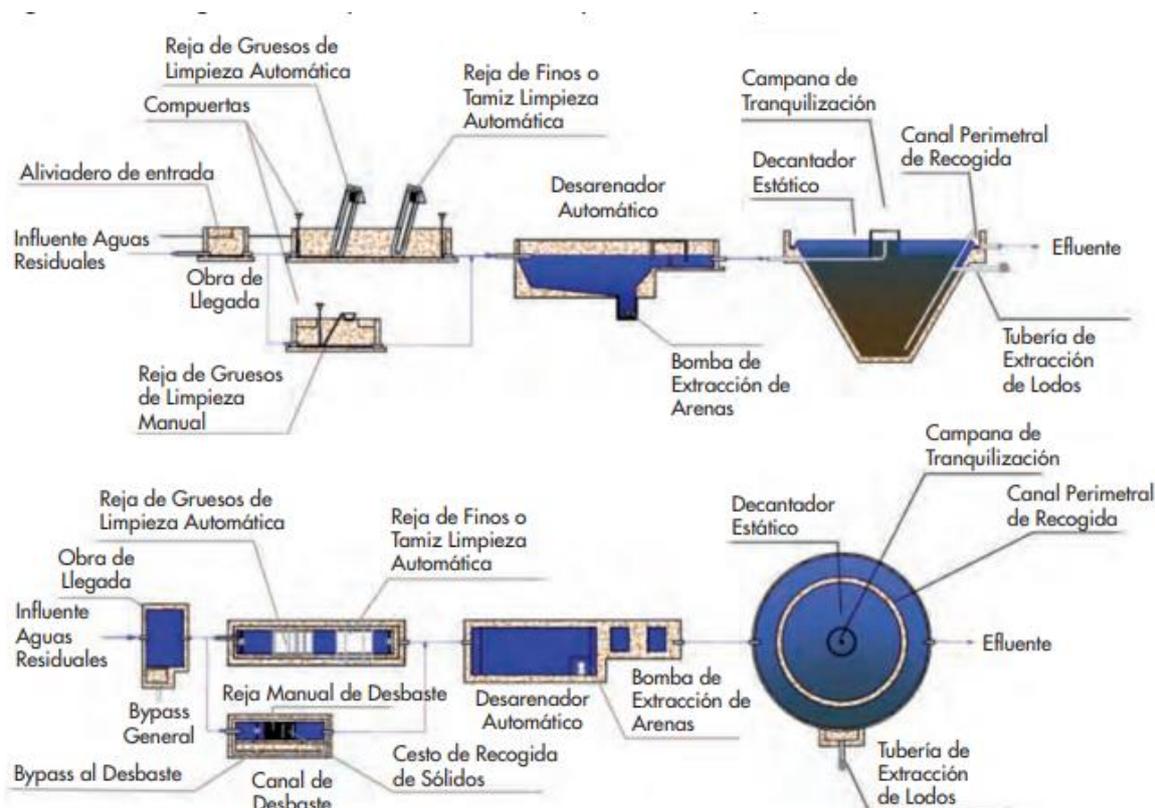


Ilustración 4. Diagrama de flujo de un decantador primario (CEDEX, 2010)

5.4. TRATAMIENTO SECUNDARIO EXTENSIVO

Las tecnologías extensivas se distinguen porque los procesos de depuración que utilizan ocurren a una velocidad "natural", sin necesidad de aporte energético, y se desarrollan en un único "reactor-sistema". La falta de consumo energético se compensa con una mayor demanda de espacio. A continuación, se describen las tecnologías extensivas más comunes para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas aglomeraciones urbanas.

5.4.1 HUMEDALES ARTIFICIALES

5.4.1.1 Fundamentos

Los Humedales Artificiales son sistemas de tratamiento que replican los procesos naturales de eliminación de contaminantes que ocurren en los humedales naturales. Su carácter artificial se distingue por las siguientes características:

- El humedal es construido mecánicamente y se impermeabiliza para evitar pérdidas de agua al subsuelo.
- Se utilizan sustratos diferentes del terreno original para el enraizamiento de las plantas.
- Se selecciona específicamente el tipo de plantas que colonizarán el humedal.

El tratamiento de las aguas residuales se lleva a cabo al hacerlas circular a través de estos humedales artificiales, donde se desarrollan procesos físicos, químicos y biológicos. La tecnología de Humedales Artificiales funciona como un ecosistema complejo que incluye los siguientes elementos:

- **El agua a tratar**, que circula a través del sustrato filtrante y/o la vegetación.
- **El sustrato**, que sirve de soporte a la vegetación y permite la fijación de la población microbiana que participa en la mayoría de los procesos de eliminación de contaminantes.

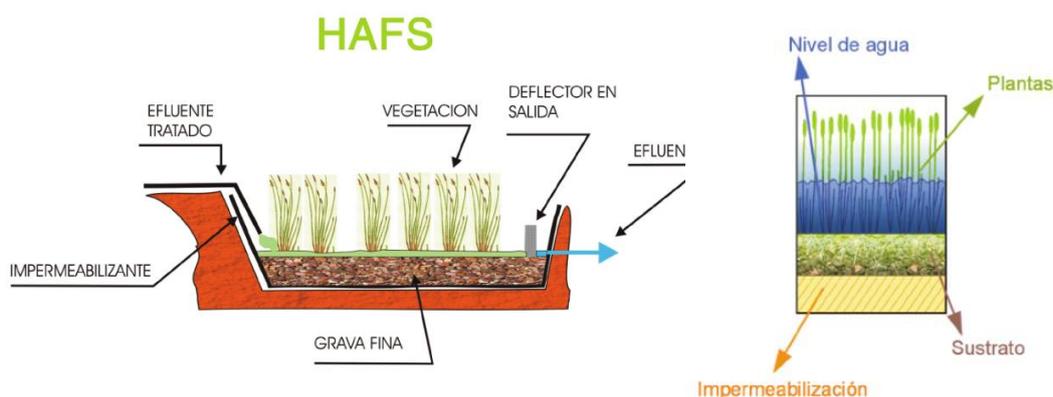
- **Las plantas emergentes acuáticas (macrófitas)**, que proporcionan superficie para la formación de biopelículas, facilitan la filtración y adsorción de los constituyentes del agua residual, contribuyen a la oxigenación del sustrato y la eliminación de nutrientes, y controlan el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar. Además, la vegetación permite una integración paisajística de estos sistemas de tratamiento.

La vegetación utilizada en estos humedales es la misma que se encuentra en los humedales naturales, incluyendo plantas acuáticas emergentes como carrizos, juncos y aneas, que se desarrollan en aguas poco profundas y cuyas raíces y tallos emergen del agua, alcanzando alturas de 2-3 m.

Los Humedales Artificiales se clasifican tradicionalmente en dos tipos según el modelo de circulación del agua: superficial o subterránea. En los Humedales Artificiales de Flujo Superficial o Flujo Libre, el agua circula por encima del sustrato, mientras que en los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial, el agua se mueve de manera subterránea a través de los espacios intersticiales del lecho filtrante.

En los **Humedales Artificiales de Flujo Superficial (HAFS)**, el agua fluye libremente por la superficie del sustrato, donde se encuentran enraizadas las plantas, circulando alrededor de sus tallos y hojas, y está expuesta directamente a la atmósfera. Estos humedales consisten en balsas o canales con vegetación emergente y niveles de agua poco profundos (menos de 0,4 m). Los HAFS suelen ser instalaciones de varias hectáreas utilizadas principalmente como tratamiento de afinado, recibiendo efluentes de tratamientos secundarios y permitiendo la reutilización ambiental de las aguas tratadas. (Moshiri, 1993)

La alimentación de estos humedales puede ser continua o intermitente. La depuración se lleva a cabo mientras el agua transita a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente implantada, donde se desarrolla la biopelícula encargada de eliminar los contaminantes.



*Ilustración 5. Corte transversal y longitudinal de un humedal artificial de flujo superficial
Fuente: Gallego, I (2010)*

En los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSs), la circulación del agua es subterránea, a través de un medio granular (arena, gravilla, grava) de suficiente permeabilidad, en contacto con los rizomas y raíces de los macrófitos. En estos humedales se desarrollan procesos similares a los de tratamientos mediante filtración, mientras que en los de Flujo Superficial predominan los procesos de depuración natural de las masas de agua. Los HAFSs están confinados en recintos impermeabilizados que contienen el material soporte para el enraizamiento de la vegetación, generalmente carrizo. La profundidad del sustrato filtrante en el punto medio del humedal varía entre 0,4-0,8 m. Estas instalaciones son más pequeñas que las de Flujo Superficial y se utilizan mayormente como tratamiento secundario de aguas residuales en pequeños núcleos de población.

Además de requerir menor superficie, los HAFSs presentan ventajas como:

- Menor incidencia de malos olores debido al flujo subterráneo.
- Menor riesgo de exposición a personas y aparición de insectos (mosquitos).
- Protección térmica proporcionada por la acumulación de restos vegetales y el flujo subterráneo.

Entre las desventajas de los HAFSs comparados con los Humedales de Flujo Superficial se incluyen:

- Mayores costes de construcción por unidad de superficie debido al material granular.

- Riesgo de colmatación del lecho filtrante, especialmente en los de flujo horizontal.
- Menor valor como ecosistemas para la vida salvaje, debido a que el agua no es accesible a la fauna.

Según la dirección de circulación del agua, los HAFSs se clasifican en Horizontales y Verticales.

En los **Humedales Horizontales**, la alimentación se realiza de forma continua o intermitente si es necesario bombear las aguas residuales. Las aguas circulan horizontalmente a través de un sustrato filtrante de gravilla-grava de unos 0,4-0,6 m de espesor. A la salida, una tubería flexible controla el nivel de encharcamiento, manteniéndolo unos 5 cm por debajo del nivel de los áridos para evitar que el agua sea visible.

En los **Humedales Artificiales de Flujo Vertical**, la alimentación es intermitente, generalmente mediante bombes o sifones de descarga controlada. El agua se distribuye sobre la superficie de filtración utilizando tuberías perforadas o tuberías de mayor sección apoyadas en pivotes. El agua circula verticalmente a través de un sustrato filtrante de arena-gravilla-grava de 0,5-0,8 m de espesor. En el fondo, una red de drenaje recoge los efluentes depurados, con conductos que sobresalen de la capa de áridos para incrementar la oxigenación del sustrato por ventilación natural (efecto chimenea). La oxigenación por las raíces de las plantas es menor en comparación con la alternancia de periodos de inundación y secado y el sistema de ventilación.

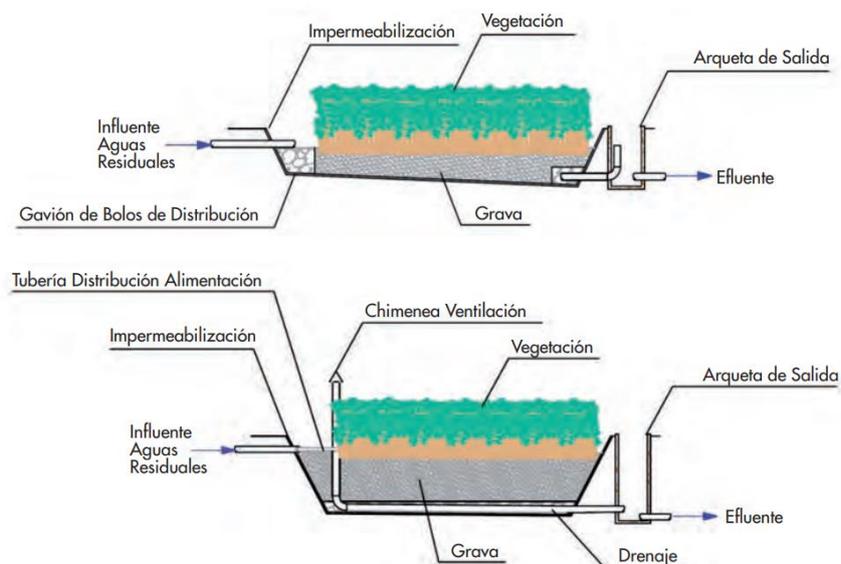


Ilustración 6. Corte transversal y longitudinal de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal y vertical (CEDEX, 2010)

El grado de inundación afecta significativamente las propiedades de los Humedales de Flujo Vertical y Horizontal, especialmente en la transferencia de oxígeno y el estado de óxido-reducción. Los Humedales de Flujo Horizontal operan principalmente en condiciones anaerobias, produciendo efluentes sin oxígeno disuelto, mientras que los de Flujo Vertical funcionan en condiciones aerobias, generando efluentes oxigenados y sin olores, a pesar de operar con cargas superiores.

La tecnología de Humedales Artificiales es aplicable para poblaciones de 50 habitantes equivalentes en adelante, con un rango de aplicación recomendado entre 500 y 1000 habitantes equivalentes.

A continuación, se recogerá en una tabla los rendimientos de la depuración esperables

PARAMETROS	% REDUCCIÓN	
	VERTICALES	HORIZONTALES
Sólidos en suspensión	90-95	90-95
DBO5 (mg/l)	90-95	85-90
DQO (mg/l)	80-90	80-90
N-NH4+ (mg/l)	60-70	20-25
N total (mg/l)	60-70	20-30
P total (mg/l)	20-30	20-30
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	1-2 u log	1-2 u log

Tabla 5. Rendimientos de depuración alcanzados en un con humedales de flujo subsuperficial verticales y horizontales (CEDEX, 2010)

5.4.1.2 – Diagramas de flujo

Para su rango de población de ente 200-500 (h-e) el tratamiento tendrá de un pretratamiento que constara de una etapa de desbaste de doble canal, que acogerá una reja de gruesos de limpieza automática, disponiéndose en paralelo otra reja de gruesos de limpieza manual que actuara a modo de bypass. Seguida de esta operación de desbaste las aguas pasaran a un desarenador estático de limpieza manual.

Para el rango de 500-100 (h-e), el desbaste será similar, pero tras la reja automática de gruesos se dispondrá de otra de finos de limpieza automática

Tras la este pretratamiento se propone la instalación de un tratamiento primario, constituido en este caso por un tanque de Imhoff que tendrá por objetivo eliminar la mayor parte de las partículas en suspensión tanto sedimentables como flotantes que, de no retirarse, podrían provocar la rápida colmatación de la superficie filtrante.

Por último, dispondremos de un humedal subsuperficial en donde en el caso de ser de flujo horizontal los efluentes del tratamiento primario deberán alimentar a este de forma continua, sin embargo, en el caso de los de flujo vertical esta alimentación se deberá producir de manera intermitente.

A la salida de los efluentes tratados debe disponerse un sistema de medición de caudales recurriéndose al empleo de caudalímetros electromagnéticos dotados de totalizador.

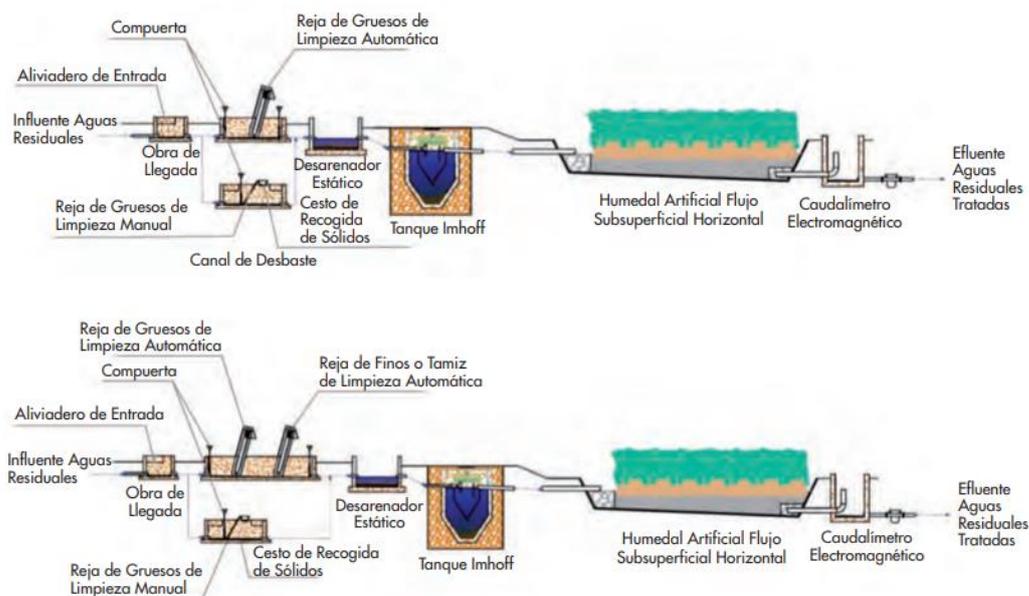


Ilustración 7. Diagrama de flujo de Humedales de flujo horizontal para 200-500 y 500 -1000 (h-e) (CEDEX, 2010)

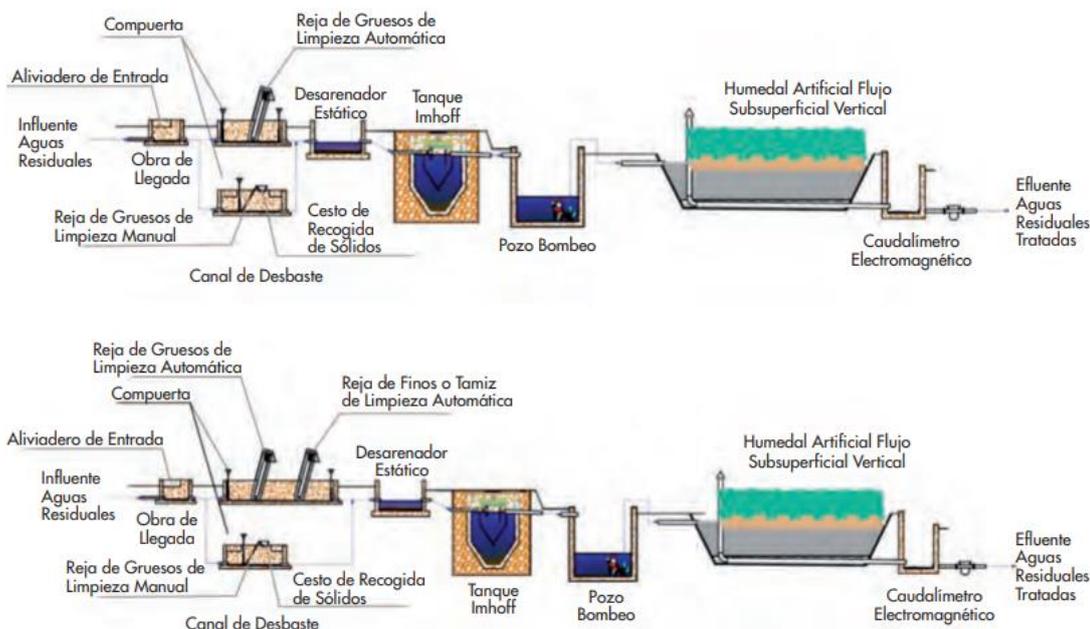


Ilustración 8. Diagrama de flujo de Diagrama de flujo vertical I para 200-500 y 500 -1000 (h-e)
(CEDEX, 2010)

5.4.2 FILTROS INTERMITENTES DE ARENA

5.4.2.1 – Fundamentos

Los Filtros Intermitentes de Arena son sistemas poco profundos (de 0,6 a 1,1 m) equipados con un mecanismo de distribución superficial del agua a tratar y un sistema de drenaje inferior para recoger los efluentes tratados. Después de pasar por pretratamientos y tratamientos primarios (generalmente fosas sépticas o tanques Imhoff), las aguas residuales atraviesan verticalmente el sustrato filtrante. En este proceso se desarrolla una película bacteriana que se mantiene sin saturarse y en condiciones aerobias gracias a la alimentación discontinua de los filtros y la ventilación del sistema de drenaje inferior. Esta tecnología de tratamiento se basa en tres mecanismos fundamentales:

1. **Filtración superficial:** La mayor parte de la materia en suspensión se retiene en la superficie de los filtros.
2. **Adsorción:** Los contaminantes solubles y coloidales se adhieren a la biopelícula que se forma alrededor de las partículas de arena.

3. **Oxidación biológica:** La biomasa adherida a las partículas del sustrato filtrante lleva a cabo la degradación biológica de los contaminantes retenidos y adsorbidos.

Estos filtros funcionan como reactores aerobios con biopelícula adherida, concentrando la mayor parte del tratamiento bioquímico en los primeros 15 cm del sustrato. Existen dos modalidades principales de Filtros Intermitentes de Arena:

- **Filtros sin recirculación:** Las aguas a tratar atraviesan el sustrato filtrante una sola vez, de arriba hacia abajo.
- **Filtros con recirculación:** Se diferencian porque:
 - Una parte de los efluentes tratados se conduce a un depósito de recirculación, donde se mezclan con los efluentes del tratamiento primario (decantación-digestión), diluyendo así la concentración de las aguas aplicadas al filtro.
 - Utilizan un sustrato filtrante de mayor granulometría.

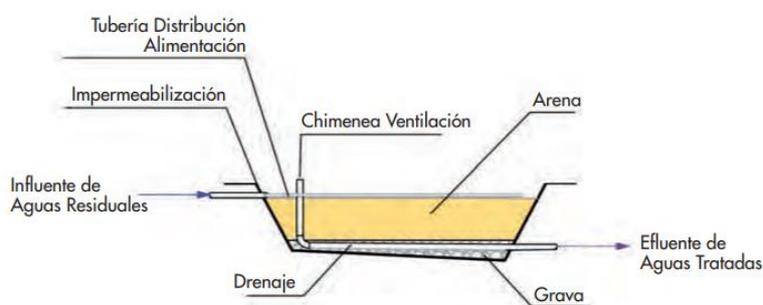


Ilustración 9. Filtro intermitente de arena sin recirculación (CEDEX, 2010)

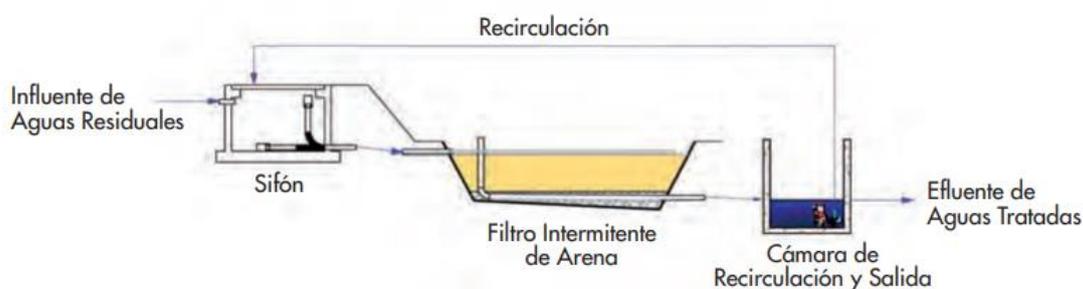


Ilustración 10. Filtro intermitente de arena con recirculación (CEDEX, 2010)

Los Filtros Intermitentes de Arena se utilizan tanto para el tratamiento de aguas residuales de viviendas aisladas como de pequeñas comunidades urbanas, generalmente con menos de 1.000 habitantes equivalentes (h-e).

A continuación, se recogerá en una tabla los rendimientos de la depuración esperable

PARAMETROS	% REDUCCIÓN
Sólidos en suspensión	90-95
DBO5 (mg/l)	90-95
DQO (mg/l)	80-90
N-NH4+ (mg/l)	70-80
N total (mg/l)	40-50
P total (mg/l)	15-30
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	2-3 u log

Tabla 6. Rendimientos de depuración alcanzados en un filtro intermitente de arena (CEDEX, 2010)

5.4.2.2 – Diagrama de flujo

Para el rango de población de ente 200-500 (h-e) el tratamiento tendrá de un pretratamiento que constara de una etapa de desbaste de doble canal, que acogerá una reja de gruesos de limpieza automática, que actuara a modo de bypass. Tras la operación de desbaste, las aguas pasarán a un desarenador estático de limpieza manual. Para los rangos de 500-1000 (h-e) el desbaste será similar, pero tras la reja automática de gruesos de dispondrá otra de finos de limpieza automática

El tratamiento primario constituido por un tanque Imhoff, tiene por objetivo eliminar la mayor parte de las partículas en suspensión (sedimentables y flotantes) que, de no retirarse, podrían provocar la rápida colmatación de la superficie filtrante.

Como tratamiento secundario se precisará de filtros intermitentes de arena, los cuales se basan en el tránsito de las aguas a tratar a través de un sustrato filtrante.

Por último, a la salida de los efluentes tratados debe disponerse un sistema de medición de caudales recurriéndose al empleo de caudalímetros electromagnéticos dotados de totalizador.

Ilustración 11. Diagrama de flujo de un filtro de arena sin recirculación para 200-500 (h-e) (CEDEX, 2010)

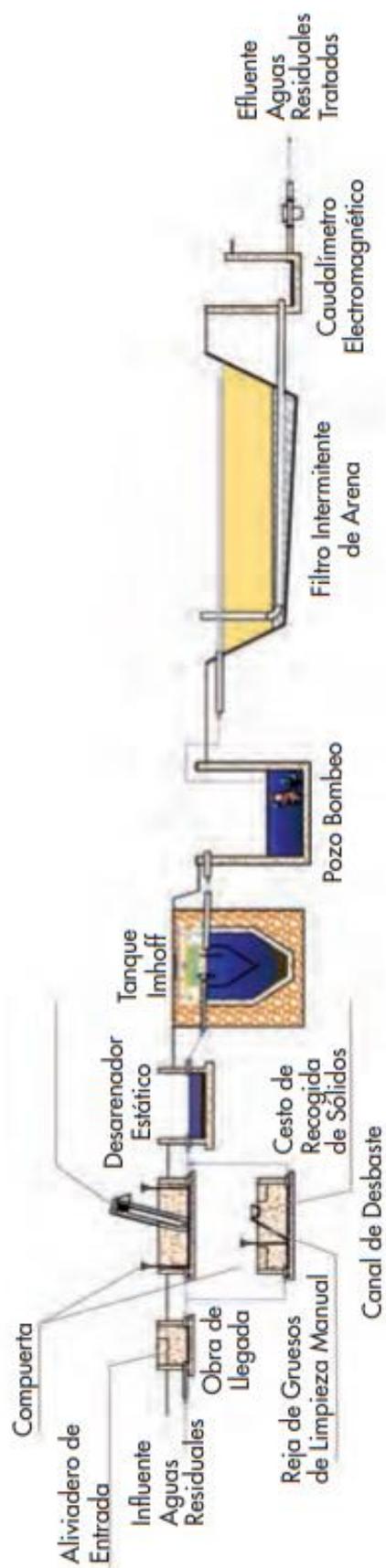
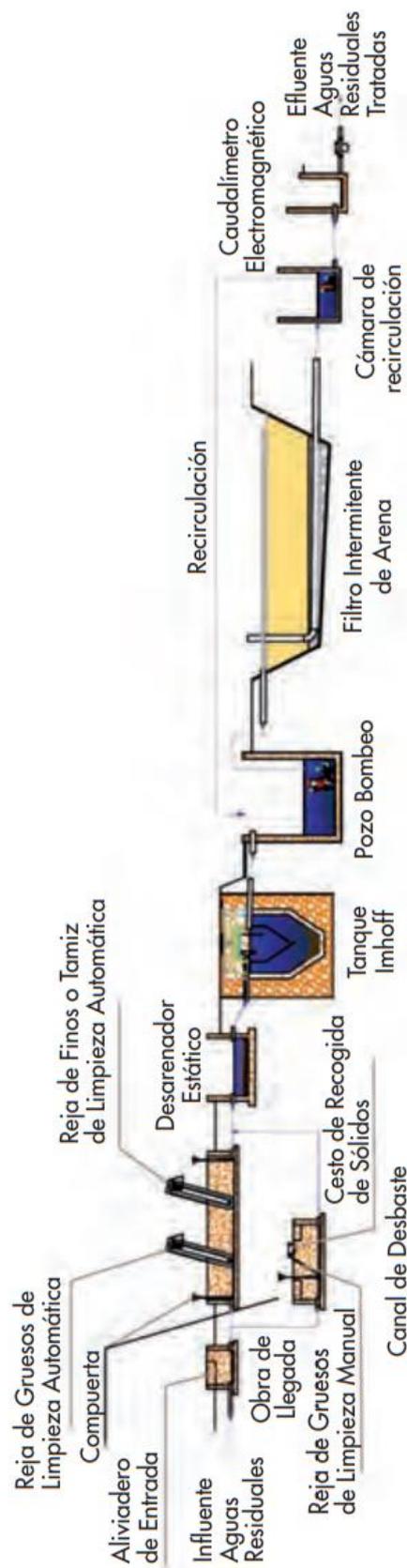


Ilustración 12. Diagrama de flujo de un filtro de arena con recirculación para 500-1000 (h-e) (CEDEX, 2010)



5.4.3 FILTROS DE TURBA

5.4.3.1 – Fundamentos

El tratamiento de aguas residuales urbanas utilizando la tecnología de Filtros de Turba se basa en la filtración a través de lechos compuestos por turba como material filtrante. La turba posee una serie de propiedades fisicoquímicas que la hacen especialmente adecuada para la depuración de vertidos líquidos urbanos.

A medida que las aguas residuales pasan a través de la capa de turba, experimentan una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, resultando en efluentes depurados. La alta polaridad y porosidad de la turba son las características clave que permiten la eliminación efectiva de contaminantes.

Los Filtros de Turba están compuestos por recintos con varias capas filtrantes, generalmente dispuestas de la siguiente manera de arriba hacia abajo: turba, gravilla y grava. La depuración principal ocurre en la capa de turba, mientras que las otras capas retienen y soportan la capa superior.

Una vez que las aguas residuales han pasado por la capa de turba, los efluentes son recogidos en el fondo de los filtros mediante canales o tuberías de drenaje, desde donde son evacuados hacia la salida.

Durante el ciclo operativo, los sólidos retenidos en la superficie de la turba y la biomasa que se desarrolla en esta zona disminuyen la velocidad de infiltración del agua a través del sustrato. Por esta razón, cada 10-12 días, es necesario detener los filtros en operación y poner en marcha aquellos que han estado en reposo.

La tecnología de filtros de turba tiene un rango de ampliación similar al de los Humedales artificiales es decir siendo su rango de aplicación por debajo de los 1000 habitantes equivalentes

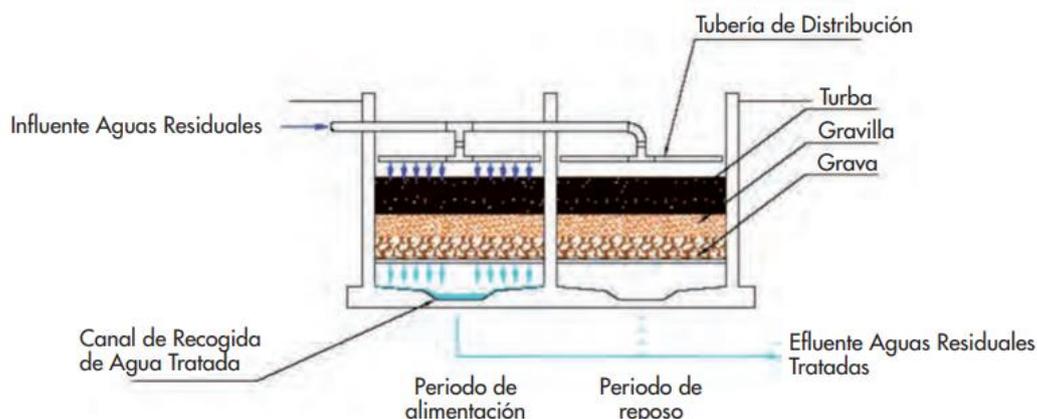


Ilustración 13. Sección transversal de un filtro de turba (CEDEX, 2010)

A continuación, se recogerá en una tabla los rendimientos de la depuración esperables

PARAMETROS	% REDUCCIÓN
Sólidos en suspensión	85-95
DBO5 (mg/l)	90-95
DQO (mg/l)	80-90
N-NH4+ (mg/l)	85-95
N total (mg/l)	15-20
P total (mg/l)	70-80
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	1-2 u log

Tabla 7. Rendimientos de depuración alcanzados en filtros de turba (CEDEX, 2010)

5.4.3.2 – Diagramas de flujo

Para su rango de población de ente 200-500 (h-e) el tratamiento tendrá de un pretratamiento que constara de una etapa de desbaste de doble canal, que acogerá una reja de gruesos de limpieza automática, disponiéndose en paralelo otra reja de gruesos de limpieza manual, que actuara a modo de bypass. Tras la operación de desbaste las aguas pasaran a un desarenador estático de limpieza manual. Para los rangos de 500-1000 (h-e) el desbaste será similar, pero tras la reja automática de gruesos de dispondrá otra de finos de limpieza automática

El tratamiento primario constituido por un tanque Imhoff, tiene por objetivo eliminar la mayor parte de las partículas en suspensión (sedimentables y flotantes) que, de no retirarse, podrían provocar la rápida colmatación de la superficie filtrante.

Como tratamiento secundario se precisará de filtros de turba, los cuales se basan en el tránsito de las aguas a tratar a través de un sustrato filtrante.

Esta tecnología debe tener una alimentación de manera intermitente por lo cual se recurre a bombeo, o al empleo de sifones de descarga controlada, cuando la topografía de la zona lo permite.

Por último, a la salida de los efluentes tratados debe disponerse un sistema de medición de caudales recurriéndose al empleo de caudalímetros electromagnéticos dotados de totalizador.

Ilustración 14. Diagrama de flujo de un filtro de turba para 200-500 (h-e) (CEDEX, 2010)

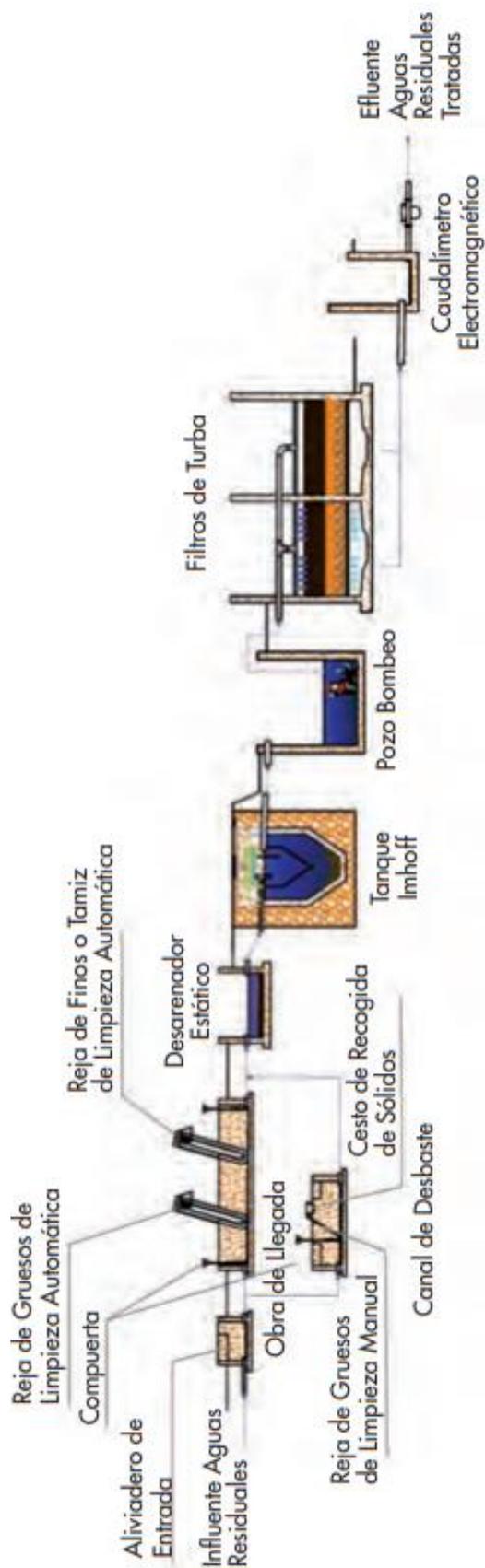
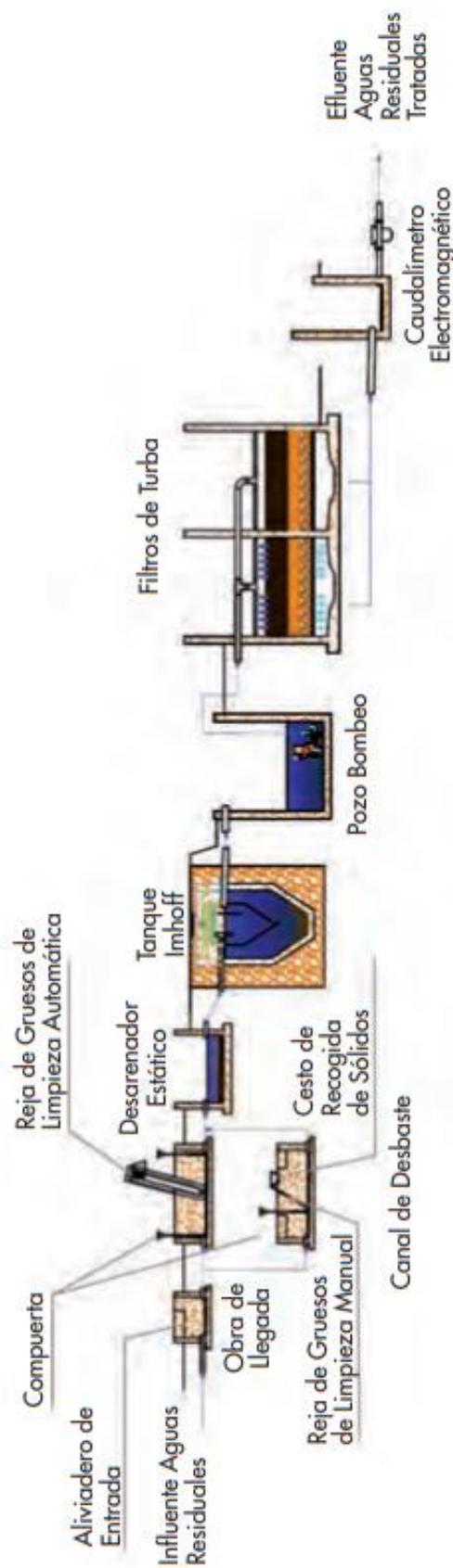


Ilustración 15. Diagrama de flujo de un filtro de turba para 500-1000 (h-e) (CEDEX, 2010)



5.5- TRATAMIENTO SECUNDARIO INTENSIVO

Las tecnologías intensivas se caracterizan porque los procesos de depuración, en los que se basan, transcurren de forma secuencial en tanques y reactores y a velocidades aceleradas, gracias al aporte de oxígeno (aire) mediante el empleo de equipos electromecánicos. Se detallan a continuación las tecnologías intensivas más empleadas para el tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas.

5.5.1 AIREACIÓN PROLOGANDA

5.5.1.1 – Fundamentos

La aireación prolongada es una variante de los procesos de fangos activos utilizados para el tratamiento biológico de aguas residuales en condiciones aerobias. Después del pretratamiento, el agua residual se introduce en un reactor biológico o cuba de aireación, donde se mantiene un cultivo bacteriano en suspensión conocido como "licor mezcla", compuesto por microorganismos agrupados en flóculos.

Las condiciones aerobias en el reactor se logran mediante el uso de aireadores mecánicos, como turbinas o eyectores, o aireadores por difusión, principalmente difusores de membrana. Este sistema no solo oxigena el licor mezcla, sino que también lo homogeneiza, evitando la sedimentación de los flóculos.

Tras un tiempo de retención en el reactor (tiempo de retención hidráulico), el licor mezcla pasa a un decantador o clarificador, que puede ser independiente o parte del mismo módulo, especialmente en plantas compactas. El clarificador separa el efluente depurado de los fangos. Parte de estos fangos se recirculan al reactor para mantener una concentración adecuada de microorganismos, mientras que los fangos en exceso se eliminan periódicamente.

Las cuatro operaciones principales son:

1. **Oxidación biológica** en el reactor biológico o cuba de aireación.
2. **Separación sólido-líquido** en un decantador o clarificador.
3. **Recirculación de fangos** para mantener la concentración de microorganismos.
4. **Extracción de fangos en exceso.**

Dos parámetros fundamentales en el diseño de este proceso son la edad del fango (θ) y la carga másica (C_m). La edad del fango, medida en días, indica el tiempo de retención de los microorganismos en el sistema. La carga másica es la relación entre la materia orgánica que entra al reactor por unidad de tiempo y la cantidad de microorganismos presentes, expresada en kg DBO5 /kg SS.d.

La aireación prolongada opera con altas edades del fango y bajas cargas másicas, junto con tiempos de retención hidráulica largos. Esto elimina la necesidad de decantación primaria y genera fangos ya estabilizados, que solo necesitan deshidratación antes de su disposición final.

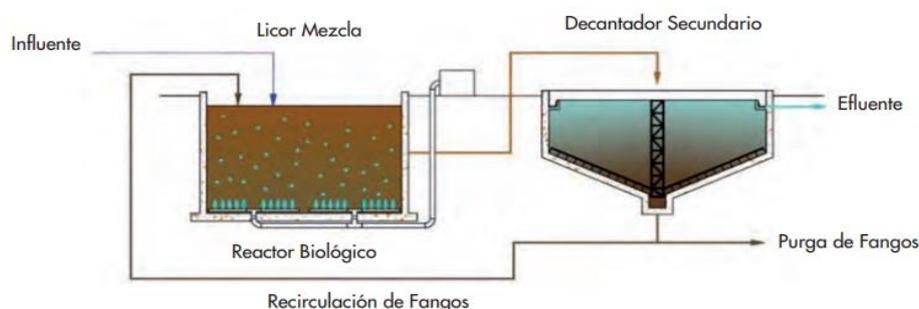


Ilustración 16. Esquema de un proceso de aireación prolongada (CEDEX, 2010)

Debido a las altas edades de fango, existe un riesgo elevado de nitrificación del nitrógeno de entrada, lo que puede llevar a una desnitrificación incontrolada en el decantador secundario y posibles escapes de fangos. Es aconsejable someter el licor mezcla a una etapa de anoxia (temporal en reactores con aireación intermitente o espacial en reactores con zonas anóxicas y aerobias) para favorecer la desnitrificación biológica de los nitratos formados. Esto no solo mejora la clarificación, sino que

también puede ahorrar hasta un 25% en energía de aireación, ya que parte de la DBO5 se oxida utilizando el oxígeno contenido en los nitratos.

La tecnología de aireación prolongada es adecuada para poblaciones de 50 habitantes equivalentes en adelante, siendo el rango recomendado entre 500 y 2000 habitantes equivalentes.

A continuación, se recogerá en una tabla los rendimientos de la depuración esperables:

	% Rendimiento
Sólidos en suspensión	85-95
DBO5	85-95
DQO	80-90
N-NH4	90-95
N	80-85
P	20-30

Tabla 8. Rendimientos de depuración alcanzados en sistemas de Aireación prolongada (CEDEX, 2010)

5.5.1.2 – Diagramas de flujo

El proceso de Aireación Prolongada ha de ir precedido de una obra de llegada y de etapas de pretratamiento y tratamiento primario.

En la obra de llegada debe instalarse un aliviadero de caudal, para evitar sobrecargas hidráulicas en épocas de fuertes lluvias y una compuerta de aislamiento para desviar todo el caudal en caso necesario

En el rango de 1000 a 2000 (h-e) en el que nos encontramos con una etapa de pretratamiento compuesta por:

- Desbaste: ejecutado en doble canal, uno de los canales contará con reja de gruesos y reja de finos, dispuestos en serie y de limpieza automática, mientras que en el otro canal se dispondrá, a modo de by-pass, una reja de gruesos de limpieza manual.
- Desarenado-desengrasado aireado

Tras el pretratamiento las aguas ingresarán en el reactor biológico, permaneciendo en él el tiempo necesario para la degradación de los contaminantes. Finalmente, en la etapa de clarificación, o decantación secundaria, tendrá lugar la separación, por gravedad, de

los efluentes tratados y de los fangos generados. Parte de estos fangos se recirculan a la cuba biológica y el resto se purga como fangos en exceso, enviándose, generalmente, a un espesador por gravedad. Los sobrenadantes de este espesador se reenvían a cabecera del tratamiento

A la salida de la etapa de decantación se dispondrá un sistema de medición de caudales, recomendándose el empleo de caudalímetros electromagnéticos.

Las etapas de nitrificación y desnitrificación vendrán acometidas en el mismo reactor biológico, alternando las etapas de aireación y de reposo, que es lo más frecuente en pequeñas aglomeraciones

Ilustración 17. Diagrama de flujo de un sistema de Aireación Prolongada, en el que las etapas de nitrificación-desnitrificación tienen lugar en el mismo reactor (aireación intermitente) (CEDEX, 2010)

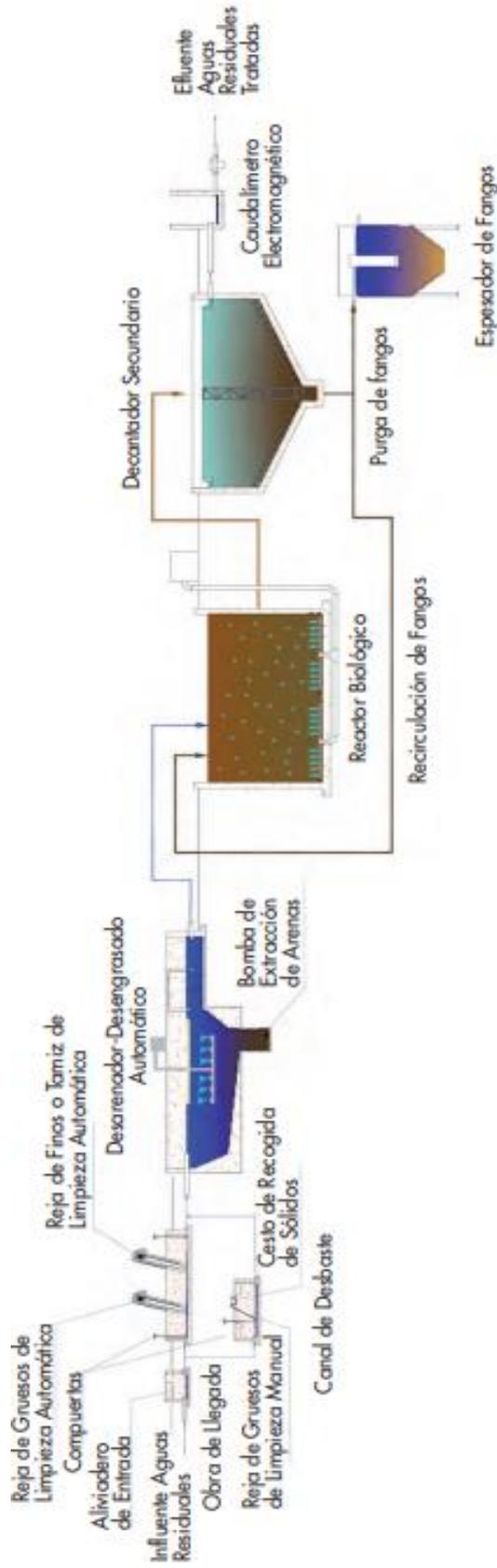
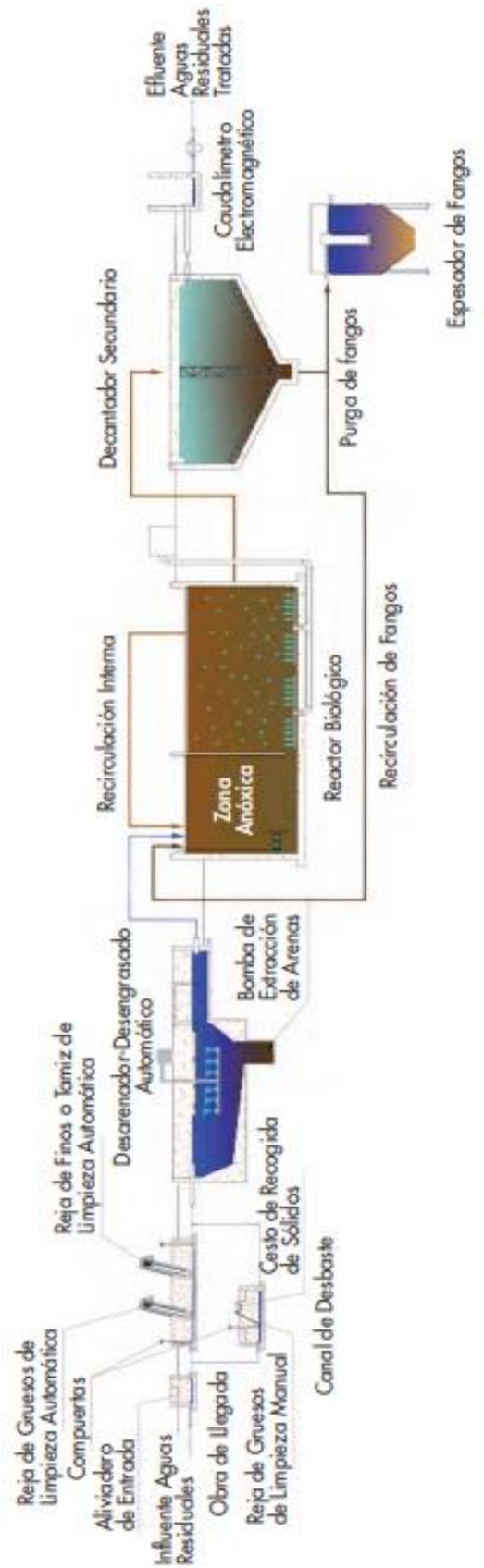


Ilustración 18. Diagrama de flujo de un sistema de Aireación Prolongada, en el que las etapas de nitrificación-desnitrificación tienen lugar en zonas separadas (anóxica y aerobia) (CEDEX, 2010)



5.5.2 LECHO BACTERIANO

5.5.2.1 – Fundamentos

Los lechos bacterianos, también conocidos como filtros percoladores, son una de las técnicas más tradicionales dentro de los procesos de biopelícula empleados para el tratamiento biológico de aguas residuales. Este es un proceso aerobio en el que el agua residual, tras haber pasado por un pretratamiento y tratamiento primario, percola por gravedad a través de un material de relleno. Este material de soporte, sobre el cual se desarrollan los microorganismos formando una biopelícula de grosor variable, está fijado en el interior del reactor y posee una alta superficie específica.

Los materiales de soporte comúnmente usados en lechos bacterianos incluyen:

- Piedras de 50 a 100 mm, de diferentes naturalezas (silíceas, puzolanas, coque, escoria, rocas volcánicas, etc.). Se usa frecuentemente grava silícea de 50 mm.
- Material plástico, que puede disponerse de forma aleatoria en el reactor o estructurarse ordenadamente en módulos para formar el lecho.



Ilustración 19. Esquema de un lecho bacteriano (CEDEX, 2010)

El reactor biológico consta del material de soporte y el depósito que lo contiene, generalmente de forma cilíndrica y abierto en la parte superior. El agua se distribuye desde arriba y percola a través del lecho sin inundarlo, entrando en contacto con la biopelícula. Simultáneamente, una corriente de aire atraviesa el lecho, ya sea por tiro natural o forzado. El contacto del agua residual con los microorganismos y el oxígeno del aire facilita la degradación de la contaminación biodegradable. Los sustratos disueltos y el oxígeno se difunden a través de la biopelícula, donde son metabolizados, mientras que el CO₂ y otros residuos se difunden hacia el exterior. La materia en suspensión y coloidal del agua residual se aglomera y se adsorbe en la biopelícula.

El agua residual se alimenta al lecho bacteriano desde la parte superior mediante un sistema de distribución que garantiza un reparto homogéneo. Los sistemas pueden ser fijos o móviles:

- **Sistema Fijo:** El agua se distribuye de forma continua o intermitente a través de tuberías perforadas, aspersores o canalones.
- **Sistema Móvil:** Compuesto por una columna central giratoria con brazos radiales equipados con boquillas. Aunque el agua sale continuamente de las boquillas, su aplicación sobre el lecho es intermitente debido al giro del brazo distribuidor. Estos sistemas suelen ser autónomos por carga hidráulica, pero se recomiendan distribuidores motorizados para un mejor control de la velocidad y la fuerza del lavado.

El tratamiento del agua residual en el lecho bacteriano se realiza en sentido descendente, creando diferentes zonas con diversas composiciones de biocenosis. La influencia de bacterias nitrificantes se vuelve efectiva en las zonas inferiores, después de que la materia orgánica ha sido degradada casi en su totalidad. El crecimiento de la biopelícula alcanza un punto donde el oxígeno no penetra toda su profundidad, creando una zona aerobia exterior y una anaerobia cerca del material soporte. Eventualmente, la biopelícula excede su grosor límite y se desprende, siendo arrastrada por el agua.

El agua residual, tras atravesar el lecho, se recoge en la parte inferior y se dirige a un decantador secundario, donde se separa del exceso de biopelícula, formando los fangos. Parte del agua clarificada se recircula y mezcla con el agua de entrada al lecho bacteriano para:

- Lograr una distribución uniforme.
- Evitar zonas secas en el material de relleno.
- Diluir la concentración de contaminantes cuando sea necesario.
- Mantener un caudal de percolación adecuado para evitar la colmatación del lecho.

La recirculación también puede realizarse antes del decantador para mejorar la carga hidráulica y fomentar la desnitrificación.

Los elementos clave del sistema de lechos bacterianos incluyen:

- El reactor biológico con su sistema de alimentación y ventilación.
- El decantador secundario con extracción de fangos.
- La recirculación del agua tratada al reactor.

Habitualmente, los lechos bacterianos operan con ventilación natural basada en la diferencia de temperatura entre el aire y el agua. Si el tiro natural es insuficiente, se emplean sistemas de ventilación forzada para evitar esta dependencia de la temperatura.

El rango de aplicación de los lechos bacterianos es para poblaciones entre 200 y 2000 habitantes equivalentes.

A continuación, se recogerá en una tabla los rendimientos de la depuración esperables:

	% Rendimiento
Sólidos en suspensión	85-95
DBO5	85-95
DQO	80-90
N-NH4	60-80
N	30-35
P	15-30

Tabla 9. Rendimientos de depuración alcanzados en sistemas de lechos bacterianos (CEDEX, 2010)

5.5.2.2 – Diagramas de flujo

El proceso de lechos bacterianos ha de ir precedido de una obra de llegada y de etapas de pretratamiento y tratamiento primario.

En la obra de llegada debe instalarse un aliviadero de caudal, para evitar sobrecargas hidráulicas en épocas de fuertes lluvias y una compuerta de aislamiento para desviar todo el caudal en caso necesario

En el rango de 200-1.000 h-e, el diagrama de flujo propuesto se compone de: una etapa de pretratamiento, que consta de:

- Desbaste: ejecutado en doble canal, uno de los canales contará con reja de gruesos y reja de finos o, preferentemente, tamiz, dispuestos en serie y de limpieza automática, mientras que en el otro canal se dispondrá, a modo de by-pass, una reja de gruesos de limpieza manual.
- Desarenado: en redes unitarias se dispondrá tras el desbaste un desarenador estático, con extracción manual de las arenas.

En el rango de 1000 a 2000 (h-e) el diagrama de flujo propuesto se compondrá de una etapa de pretratamiento compuesta por:

- Desbaste: ejecutado en doble canal, uno de los canales contará con reja de gruesos y reja de finos, dispuestos en serie y de limpieza automática, mientras que en el otro canal se dispondrá, a modo de by-pass, una reja de gruesos de limpieza manual.
- Desarenado-desengrasado: en redes unitarias se dispondrá tras el desbaste un desarenador-desengrasador aireado, con extracción de las arenas mediante bombeo.

El disponer de un pretratamiento completo, equipado con etapas de eliminación de sólidos, arenas y grasas, viene motivado por la necesidad de evitar obturaciones en las conducciones y, especialmente, en las boquillas del sistema distribuidor del Lecho Bacteriano, ya que ello provocaría su parada, en caso de que su accionamiento sea hidráulico. Igualmente, la llegada de grasas al material soporte del lecho provoca problemas de funcionamiento al mezclarse con la biopelícula, desestabilizando el proceso biológico y disminuyendo su rendimiento.

En la etapa de tratamiento primario se hará uso de un decantador primario, donde los fangos, que periódicamente se purgan, junto con los extraídos de la etapa de clarificación, se envían a un espesador por gravedad.

Tras la etapa de tratamiento primario, lo normal, salvo en situaciones excepcionales en que lo permita la topografía del lugar, es que se requiera la instalación de un pozo de bombeo, para el envío de las aguas a la parte superior del Lecho Bacteriano. Los efluentes del lecho, que arrastran la biomasa desprendida del material de relleno, se someten a una etapa de clarificación, o decantación secundaria, para separar los efluentes tratados de los fangos. Estos últimos, junto con los fangos del decantador primario, se conducen a un espesador por gravedad, para su concentración y almacenamiento, antes de su envío a otra EDAR, o su deshidratación “in situ”. Los sobrenadantes del espesador se reenvían a cabecera del tratamiento

A la salida de la etapa de decantación secundaria se dispondrá un sistema de medición de caudal, recomendándose el empleo de caudalímetros electromagnéticos.

Ilustración 20. Diagrama de flujo de una instalación de Lecho Bacteriano (200-1.000 h-e) (CEDEX, 2010)

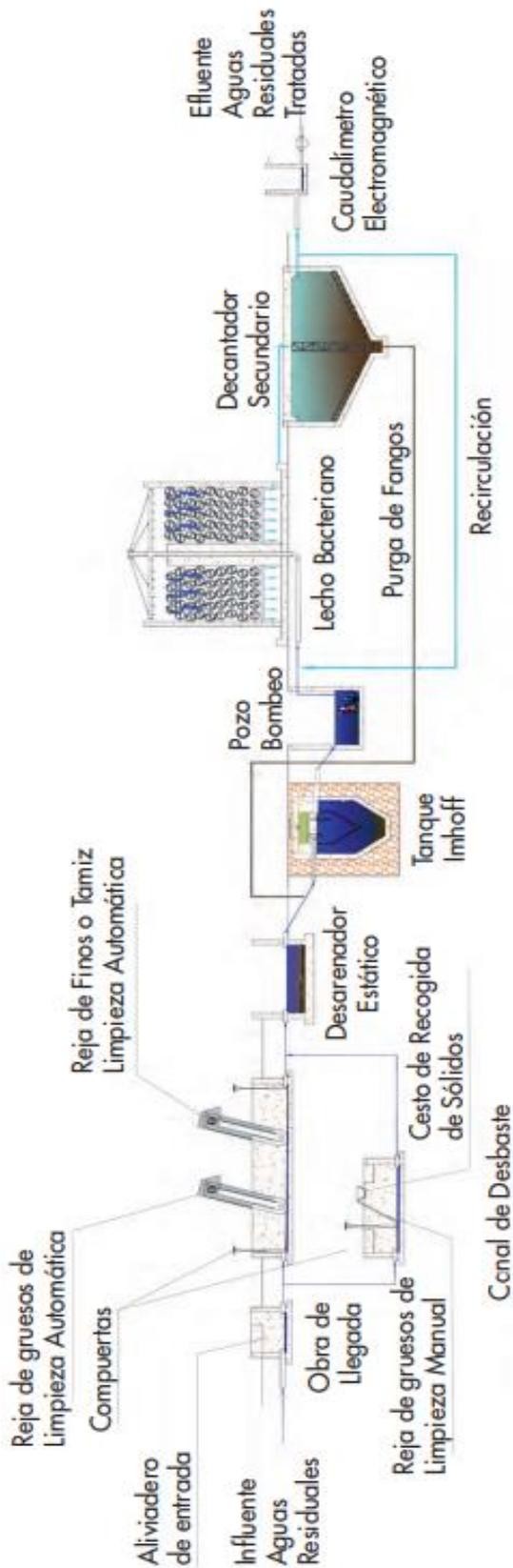
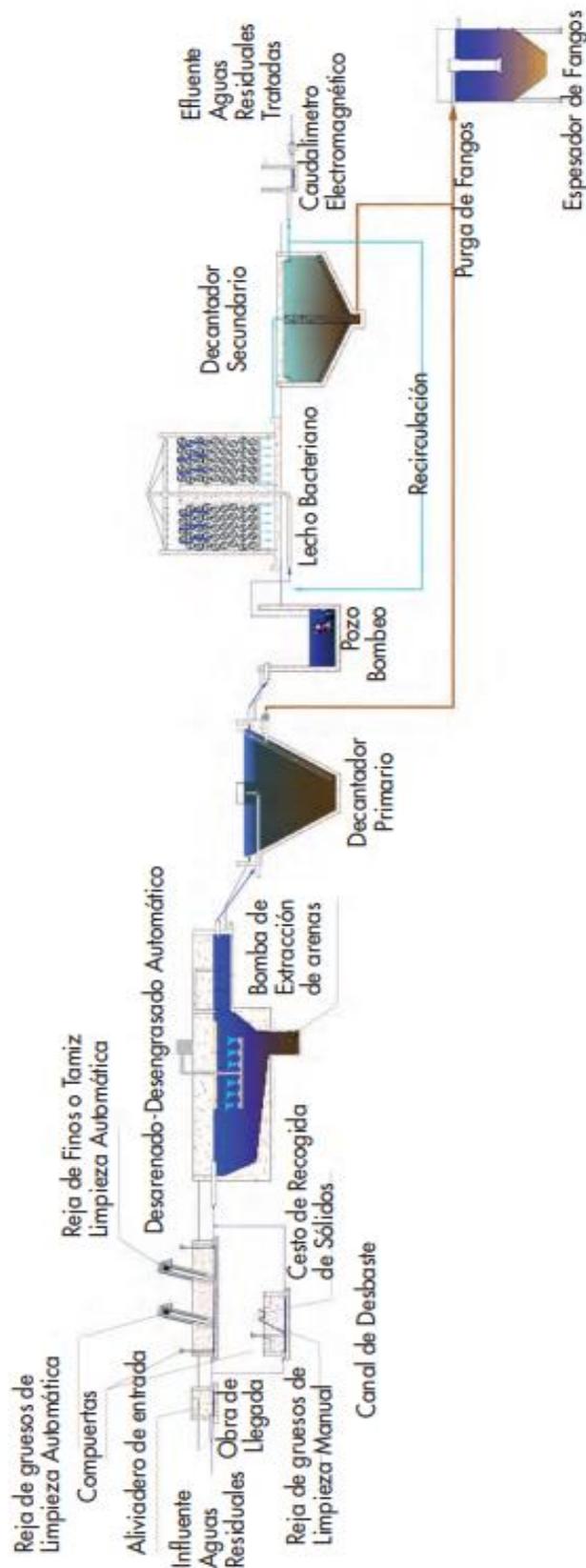


Ilustración 21. Diagrama de flujo de una instalación de Lecho Bacteriano (1000-2000 h-e) (CEDEX, 2010)



5.5.3 REACTORES SECUENCIALES DISCONTINUOS

5.5.3.1 – Fundamentos

El tratamiento de aguas residuales mediante Reactores Secuenciales Discontinuos (SBR, por sus siglas en inglés) se clasifica dentro de los sistemas de fangos activos y destaca por realizar la degradación de contaminantes y la sedimentación en un único reactor, aunque en etapas temporalmente separadas. Este sistema se fundamenta en 4 etapas diferentes:

Llenado: En esta fase inicial, el agua residual se introduce en el reactor secuencial. El licor mezcla del reactor biológico puede permanecer en reposo (llenado estático) o estar en agitación y/o aireación. En el llenado estático, no se promueven reacciones biológicas. Si hay agitación y aireación, el llenado se superpone con la fase de reacción, permitiendo los procesos bioquímicos necesarios para la depuración del agua. Las condiciones ambientales del llenado pueden ajustarse según la estrategia de depuración adoptada, alternando agitación y aireación para favorecer la eliminación de nutrientes como nitrógeno y fósforo.

Reacción: Durante esta fase, se produce la degradación de la materia orgánica y los nutrientes del agua residual. Puede comenzar con una etapa sin aireación, estableciendo condiciones de anoxia-anaerobiosis que favorecen la eliminación biológica de fósforo y la desnitrificación. Para homogeneizar el contenido del reactor, se activan los sistemas de aireación brevemente, aunque también pueden utilizarse agitadores. Luego, una fase de aireación oxida la materia orgánica y nitrogenada, interrumpiéndose ocasionalmente para permitir la reducción de nitratos y nitritos (desnitrificación).

Sedimentación: Aquí se detiene la aireación y mezcla del reactor para permitir la sedimentación del fango activo en condiciones óptimas.

Vaciado: El agua residual clarificada, una vez separada del manto de fangos tras la decantación, se retira del reactor.

Fase Inactiva: Esta etapa es opcional y puede no estar presente en todos los ciclos.

La duración de cada etapa y del ciclo completo se ajusta según los objetivos de depuración. Los ciclos operativos pueden modificarse dependiendo de las características del influente y las exigencias de calidad del efluente. Para favorecer la eliminación de nutrientes, se establecen fases con condiciones ambientales que promuevan la asimilación o eliminación por parte de los microorganismos.

La retirada de fangos puede realizarse al final de la fase de reacción o durante las etapas de decantación, vaciado o inactividad. En poblaciones menores de 2.000 habitantes equivalentes, los SBR operan con altas edades del fango, similares a las de las Aireaciones Prolongadas, resultando en fangos purgados con un mayor grado de estabilización.

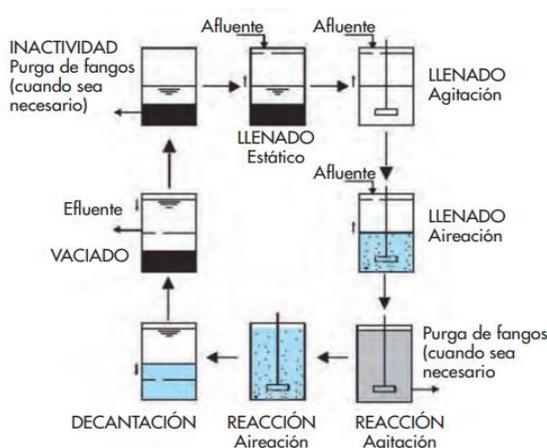


Ilustración 22. Esquema del ciclo de funcionamiento de un reactor secuencial discontinuo (SBR) (CEDEX, 2010)

Los Reactores Secuenciales Discontinuos pueden utilizarse a partir de 50 habitantes equivalentes, pero su uso recomendado es para poblaciones entre 500 y 2.000 habitantes equivalentes.

En la siguiente tabla, se mostrarán los rendimientos de depuración esperados, tanto para un SBR sin eliminación específica como para uno con nitrificación-desnitrificación.

	% Reducción
Solidos en suspensión	85-95
DBO5	85-95
DQO	80-90

Tabla 10. Rendimientos de un SBR sin eliminación de nutrientes (CEDEX, 2010)

	% Rendimiento
Sólidos en suspensión	>90
DBO5	>90
DQO	80-90
N-NH4	90-95
N	80-85
P	80-90

Tabla 11. Rendimientos de un SBR con nitrificación-desnitrificación (CEDEX, 2010)

5.5.3.2 – Diagramas de flujo

El proceso de Reactores Biológicos Secuenciales ha de ir precedido de una obra de llegada y de etapas de pretratamiento y tratamiento primario.

En la obra de llegada debe instalarse un aliviadero de caudal, para evitar sobrecargas hidráulicas en épocas de fuertes lluvias y una compuerta de aislamiento para desviar todo el caudal en caso necesario

La etapa del pretratamiento estará compuesta por:

- ◆ Desbaste: ejecutado en doble canal, uno de los canales contará con reja de gruesos y reja de finos, dispuestos en serie y de limpieza automática, mientras que en el otro canal se dispondrá, a modo de by-pass, una reja de gruesos de limpieza manual.

- ◆ Desarenado-desengrasado aireado

Dado que la alimentación es discontinua, se puede emplear un tanque buffer, o de homogeneización, como paso previo al reactor biológico, y en el que se almacena el agua pretratada entre dos ciclos.

A la salida del reactor se dispondrá un sistema de medición de caudales, recomendándose el empleo de caudalímetros electromagnéticos.

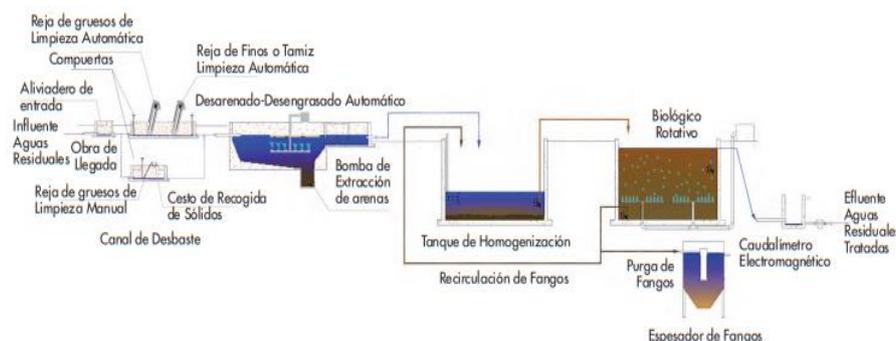


Ilustración 23. Diagrama de flujo de sistema SBR (>500 h-e) (CEDEX, 2010)

5.5.4 SISTEMA DE BIOMASA SOBRE LECHO MOVIL

5.5.4.1 – Fundamentos

Los Sistemas de Biomasa Fija sobre Lecho Móvil se sitúan entre los procesos de cultivo en suspensión y los procesos de cultivo fijo, o de biopelícula. El concepto central del proceso de Lecho Móvil es el crecimiento de biomasa en soportes plásticos que están en suspensión dentro del reactor biológico. Estos soportes se mueven gracias a los sistemas de aireación en procesos aerobios o mediante dispositivos mecánicos en reactores anóxicos o anaerobios.

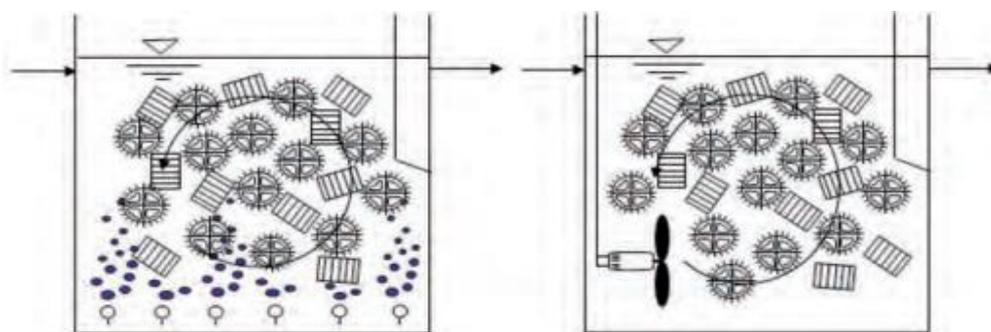


Ilustración 24. Detalle del movimiento del relleno en un reactor aerobio (izquierda) y en un reactor anóxico o anaerobio (derecha) (CEDEX, 2010)

Estos sistemas buscan aumentar la capacidad de tratamiento de los reactores convencionales, incrementando la cantidad de microorganismos presentes sin aumentar el volumen de los reactores. Esto se logra utilizando soportes con una alta superficie específica donde la biomasa crece en forma de biopelícula. Inicialmente, se utilizaron procesos de lecho fijo, pero los problemas de obstrucción debido al crecimiento excesivo de biomasa, que requerían limpiezas continuas, llevaron al desarrollo de procesos de lecho móvil para minimizar estos problemas. Los soportes plásticos, con una densidad cercana a 1 g/cm^3 , permiten su fácil movimiento en el reactor, incluso con porcentajes de llenado de hasta el 70%.

Los Sistemas de Lecho Móvil se utilizan tanto para la eliminación de materia orgánica como de nutrientes en aguas residuales urbanas e industriales. También pueden

aplicarse en el rediseño de plantas de fangos activos existentes que eliminan materia orgánica, permitiendo la eliminación de formas nitrogenadas de manera sencilla y sin necesidad de construir nuevos reactores biológicos.

Estos procesos pueden configurarse en tres tipos distintos:

1. Reactores aeróbicos para eliminación de carbono.
2. Reactores aeróbicos para la eliminación de carbono y nitrificación.
3. Reactores con zonas anóxicas para pre y post desnitrificación.

En un sistema MBBR (Reactor de Biofilm de Lecho Móvil), la aireación se realiza mediante un soplante que impulsa el aire a través de un sistema de distribución de burbuja gruesa. La agitación del relleno dentro del reactor convierte estas burbujas gruesas en finas, mejorando la transferencia de oxígeno a la biopelícula.

La aplicación de esta tecnología es adecuada a partir de los 200 habitantes equivalentes, pero se recomienda especialmente para poblaciones entre 500 y 2000 habitantes equivalentes.

A continuación, se recogerá en una tabla los rendimientos de la depuración esperables:

	% Rendimiento
Sólidos en suspensión	85-95
DBO5	85-95
DQO	80-90
N-NH4	90-95
N	30-40*
P	20-30

**En caso de nitrificación-desnitrificación se alcanza el 80%*

Tabla 12. Rendimientos esperados en la depuración en los sistemas MBBR (CEDEX, 2010)

5.5.4.2 – Diagramas de flujo

El proceso de Sistema de Biomasa sobre lecho móvil ha de ir precedido de una obra de llegada y de etapas de pretratamiento y tratamiento primario.

En la obra de llegada debe instalarse un aliviadero de caudal, para evitar sobrecargas hidráulicas en épocas de fuertes lluvias y una compuerta de aislamiento para desviar todo el caudal en caso necesario

En el rango de 1000 a 2000 (h-e) en el que nos encontramos con una etapa de pretratamiento compuesta por:

- Desbaste: ejecutado en doble canal, uno de los canales contará con reja de gruesos y reja de finos, dispuestos en serie y de limpieza automática, mientras que en el otro canal se dispondrá, a modo de by-pass, una reja de gruesos de limpieza manual.

- Desarenado-desengrasado aireado

Después de la etapa de pretratamiento se dispondrá de un decantador primario como método primario para poblaciones superiores a 1000 habitantes equivalentes y, un tanque de Imhoff para poblaciones inferiores a los 1000 habitantes equivalentes

En cuanto al tratamiento secundario se dispondrá de un reactor biológico donde se incluirá una zona anoxia para la eliminación de nitrógeno la cual permite aumentar la capacidad de adaptación del sistema a puntas de caudal y carga, debido al mayor tiempo de retención hidráulica con el que opera.

A la salida del reactor se dispondrá un sistema de medición de caudales, recomendándose el empleo de caudalímetros electromagnéticos.

Ilustración 25. Diagrama de flujo de un Sistema MBBR sin tratamiento primario y sin eliminación de N (CEDEX, 2010)

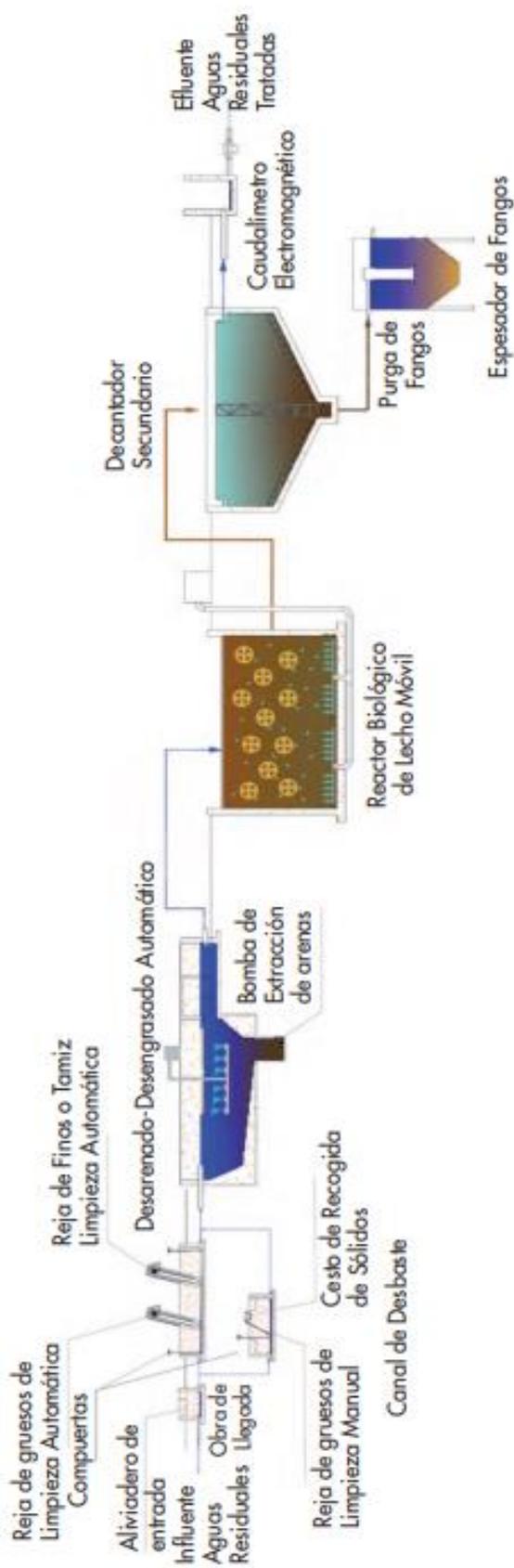
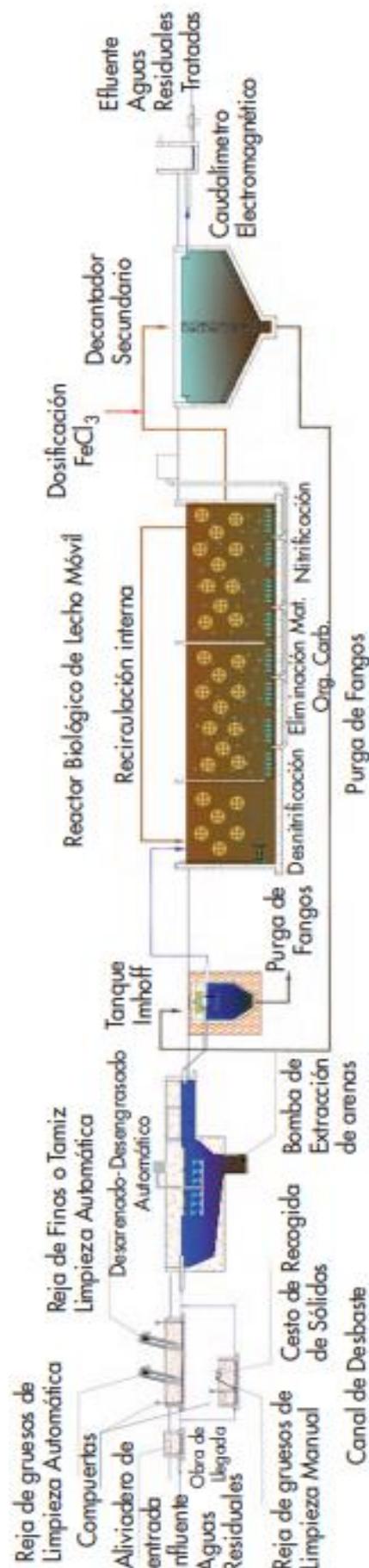


Ilustración 26. Diagrama de flujo de Sistema MBBR con tratamiento primario y con eliminación de N (CEDEX, 2010)



6- EFLUENT

6.1- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA APLICACIÓN

La depuración de las aguas residuales en pequeños núcleos urbanos es esencial para garantizar la salud pública, proteger el medio ambiente, fomentar el desarrollo económico sostenible, cumplir con las regulaciones y promover la responsabilidad social. Implementar sistemas de tratamiento eficaces y adecuados es una inversión en el bienestar presente y futuro de la comunidad, asegurando un entorno limpio, seguro y próspero para todos sus habitantes.

Con estos puntos a cumplir nace EFLUENT, la aplicación desarrollada para el diseño de estaciones de depuración de aguas residuales en pequeños núcleos urbanos, donde mediante una interfaz intuitiva y sencilla cualquier usuario podrá diseñar de manera aproximada su estación de depuración utilizando los métodos más óptimos para el tratamiento de sus efluentes dependiendo de sus necesidades.



Ilustración 27. Logo "EFLUENT"

6.2- OBJETIVOS Y BENEFICIOS DEL USO DE LA APLICACIÓN

Los objetivos de EFLUENT se basan en poder brindar al usuario una solución rápida y económica para el tratamiento de sus efluentes, en donde en escasos segundos podrá tener una idea mas que aproximada de las necesidades de tratamiento de sus aguas y obteniendo toda la información necesaria de todos los procesos propuestos para cumplir todos los requisitos que una correcta depuración de las aguas requiere.

Así la aplicación aporta grandes beneficios contra sus competidores como pueden ser:

- **Sin instalación:** EFLUENT al estar desarrollada bajo el lenguaje de programación de macros en Visual Basic de Exel da la ventaja de no necesitar una instalación para su uso, en donde con solo disponer con el archivo ya podríamos disfrutar de su uso, el único requisito a cumplir será el tener instalado la aplicación ya mencionada de Microsoft EXEL
- **Bajo coste:** La aplicación al estar desarrollada íntegramente bajo programación de macros de Exel, contara con un costo al publico muy por debajo de otras opciones, siendo así una opción muy atractiva a tener en cuenta
- **Facilidad de uso:** Esta herramienta está pensada para que la experiencia de uso sea lo más fácil e intuitiva posible, en donde con una interfaz clara y poco cargada el usuario será capaz de dominar el uso de esta en escasos minutos.
- **Resultados en segundos:** Debido a la manera en la que esta desarrollada EFLUENT es capaz de en escasos segundos, imprimir informes con toda la información necesaria de cada uno de los procesos que se deseen.

6.3- REQUISITOS DEL SISTEMA

Los requisitos mínimos para la utilización de la aplicación serán los mismos requisitos necesarios para la utilización del programa EXEL

- **Sistema operativo:** Windows 10 o la versión más reciente de Mac OS.
- **Procesador:** Debes contar con un procesador de 1,6 GHz o superior para la versión de Windows, mientras que para la versión de Mac se requiere un procesador Intel.
- **Memoria RAM:** Para Windows se requiere al menos 4 GB de RAM, mientras que para Mac se requieren 4 GB de RAM como mínimo, pero se recomienda tener 8 GB para un mejor rendimiento.

- **Espacio en disco duro:** Necesitas al menos 10 GB de espacio libre en tu disco duro para instalar la versión de Windows y al menos 4 GB de espacio libre en el disco duro para instalar la versión de Mac.
- **Tarjeta gráfica:** Para la correcta ejecución del programa se requiere una tarjeta gráfica compatible con DirectX 9 o superior.

6.4-FUNCIONALIDADES Y USO

En EFLUENT existen actualmente 3 funcionalidades diferenciadas:

INFORMACIÓN

En la funcionalidad de "Información" tendremos la posibilidad de obtener información de todos los tipos de procesos utilizados por la aplicación para el desarrollo de todos los sistemas de depuración completos, desde toda la información individual de los pretratamientos hasta todos y cada uno de los procesos primarios y secundarios.

Para su uso únicamente clicaremos en el menú inicial la opción "INFORMACIÓN" (Ilustración x)

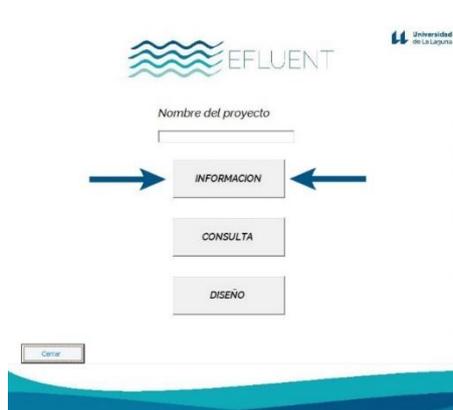


Ilustración 28: Menú principal de "Efluent" señalando la función "Información"

Una vez dentro del siguiente menú encontraremos todas las opciones disponibles para obtener toda la información sobre esos procesos (Ilustración 29).

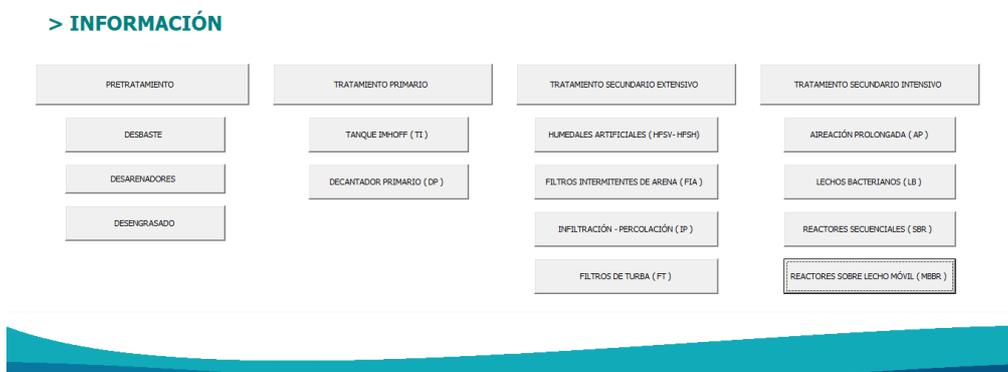


Ilustración 29: Menú de información de “Efluent”

Elegido el proceso del cual queremos obtener la información, clicaremos sobre este y la aplicación imprimirá automáticamente un informe en formato PDF con toda la información deseada (Ilustración 30).

SISTEMAS DE BIOMASA SOBRE LECHO

Los Sistemas de Biomasa Fija sobre Lecho Móvil pueden ser considerados tecnologías a caballo entre los procesos de cultivo en suspensión y los procesos de cultivo fijo, o de biopelecula. El principio básico del proceso de Lecho Móvil es el tratamiento de la biomasa en soportes plásticos, que se encuentran en suspensión en el reactor biológico. El movimiento de estos soportes puede lograrse por los propios sistemas de aireación, en el caso de procesos aeróbicos, o mediante dispositivos mecánicos, en el caso de reactores anaeróbicos o anóxicos.

Con los sistemas de biomasa fija sobre lecho móvil se persigue aumentar la capacidad de tratamiento de los reactores convencionales, incrementando la cantidad de microorganismos presentes en el sistema, sin el correspondiente aumento del volumen de los reactores. Esto se consigue empleando soportes con una elevada superficie específica, sobre los que se desarrolla la biomasa en forma de biopelecula.

Inicialmente, se emplearon procesos de lecho fijo, sin embargo, los problemas de atascamiento por el crecimiento excesivo de biomasa, que obligaban a su limpieza continuada, han llevado al desarrollo de los procesos de lecho móvil, donde se minimizan estos problemas.

Los soportes que se utilizan son de material plástico, con una densidad próxima a 1 g/cm³, lo que les permite moverse fácilmente en el reactor, incluso con porcentajes de llenado de hasta el 70%.

Los Sistemas de Lecho Móvil pueden emplearse tanto para la eliminación de la materia orgánica, como para la eliminación de nutrientes en aguas residuales urbanas e industriales. Asimismo, se pueden emplear en el diseño de plantas de fango activo existentes con eliminación de materia orgánica, en las que se pretenda llevar a cabo la eliminación de las formas nitrogenadas, de una manera sencilla y sin la necesidad de construir nuevos reactores biológicos.

Los procesos puros de lecho móvil pueden adaptarse a tres configuraciones distintas:

- Reactores aeróbicos para eliminación de carbono
- Reactores aeróbicos para la eliminación de carbono y nitrificación
- Reactores con zonas anóxicas para pre y post desnitrificación

La aireación en un sistema MBRB se lleva a cabo con ayuda de un soploante, que impulsa el aire a través de un sistema de distribución de burbujas gruesas. La propia agitación del reflejo en el reactor transforma la burbuja gruesa en fina, favoreciendo así la transferencia de oxígeno a la biopelecula.

El rango de aplicación de esta tecnología se considera aplicable a partir de los 200 habitantes equivalentes, pero se recomienda especialmente para poblaciones entre 500 y 2000 habitantes equivalentes.

A continuación se recopila en una tabla, los rendimientos de la depuración experimentales:

Rendimientos medios de una instalación de un sistema MBRB

Sústratos en suspensión	% Rendimiento
CS-SS	85-95
DECO	85-95
DUO	80-90
IVSMA	80-95
N	30-40*
P	20-30

*El caso de nitrificación-desnitrificación en etapas de MBR.

En cuanto a la influencia de la temperatura en este tipo de procesos será notable debido a al estar basado en procesos biológicos, pero no será tan sensible como en otros procesos como la aireación prolongada, aquí los procesos de nitrificación ven reducidos su rendimiento cuando la temperatura descienda por debajo de los 8 grados.

Respecto a los impactos ambientales producidos por esta tecnología destacan los ruidos generados por los equipos electromecánicos, así como los olores asociados a los fangos que no se encuentran estabilizados.

Los MBRB presentan una importante capacidad de adaptación a las puntas de caudal y de carga y a las variaciones estacionales. Esta capacidad está asociada a la propia biopelecula que se genera sobre la superficie de los soportes plásticos que alberga una cantidad de biomasa elevada. Sólo las capas más externas de esta biopelecula están en contacto directo con la materia orgánica y los nutrientes que acompañan a las aguas residuales. La cantidad de sustrato es más limitada, por tanto, para los microorganismos presentes en las capas más profundas de la biopelecula.

Asimismo, los MBRB presentan una elevada flexibilidad para aumentar la capacidad de tratamiento mediante la adición de más soporte plástico (hasta un máximo del 70% del volumen del reactor), siempre que el sistema de aireación y el dimensionamiento de los reactores permitan este aumento de capacidad.

La complejidad de la explotación y el mantenimiento de estos sistemas de tratamiento son equiparables a los de Aireación Prolongada. En función del tamaño de la población, se requerirá la presencia periódica de técnicos cualificados y de operarios para el seguimiento y control del proceso. Además, los equipos electromecánicos necesitan un mantenimiento tanto preventivo como correctivo.

- Como **ventajas** de este proceso encontramos:
 - Reducción volumen del reactor biológico
 - Buena adaptación a las variaciones de carga propias de las pequeñas poblaciones
 - Flexibilidad ante la existencia de cargas superiores a las de diseño y a variaciones estacionales, actuando sobre el porcentaje de relleno de plástico
 - Operación y mantenimientos sencillos
 - Ausencia de bulking filamentoso
 - Recuperación rápida del proceso ante inhibidores, o posibles picos de carga
- Como **inconvenientes** de este proceso encontramos:
 - Requerimiento de trabajar a mayores concentraciones de oxígeno que el proceso de aireación prolongada, lo que conlleva a un mayor gasto energético
 - Elevado coste del reflejo (400-600 euros/m³)
 - Producción de fangos sin estabilizar
 - Dificultad para vaciar el reactor biológico, al tener que retirar el reflejo plástico.

Diagrama de flujo de un sistema de MBRB en tratamiento continuo de aguas residuales:

Diagrama de flujo de un sistema de MBRB en tratamiento continuo de aguas residuales:

Diagrama de flujo de un sistema de MBRB en tratamiento continuo de aguas residuales:

Ilustración 30: Ejemplo de PDF con la información de sistemas de biomasa sobre lecho móvil expedido

CONSULTA

En la funcionalidad de "Consulta" el usuario podrá realizar a tiempo real el estudio del proceso que desee, es decir, podrá diseñar cada etapa a su gusto con las características que precise. Esta funcionalidad es muy potente puesto que pone a disposición una manera rápida para resolver problemas que puedan presentarse en cada etapa o ayudar a optimizar cada proceso.

Ejemplos claros para los que es muy útil esta opción sería en el diseño de un desbaste, donde el usuario podrá ver qué impacto tendrá el modificar la distancia entre barros o la inclinación de estos en sus efluentes a tiempo real. Al igual que se podría utilizar para la resolución de problemas en donde introduciendo el número adecuado de incógnitas la aplicación será capaz de indicarnos los datos resultantes

Esta funcionalidad todavía está en desarrollo para esta versión, pero en próximas actualizaciones podrá ser introducida a pleno funcionamiento

Para su uso clicaremos en la opción "Consulta" del menú principal (Ilustración 31)

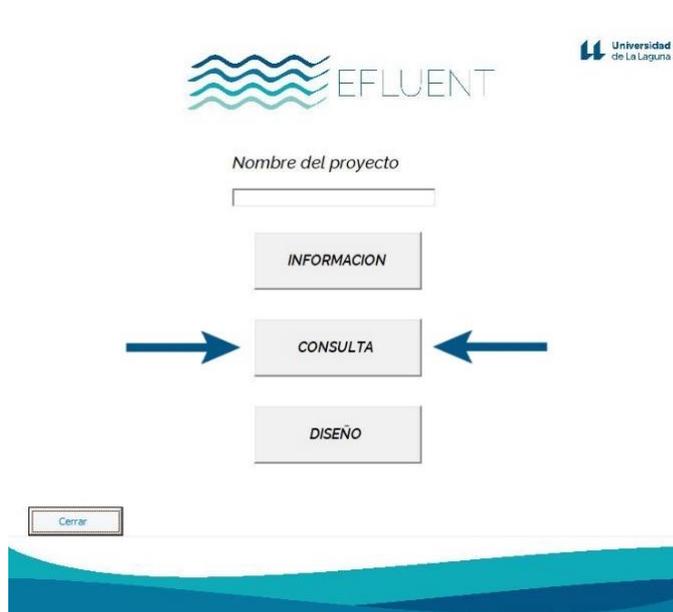


Ilustración 31: Menú principal de "Efluent" señalando la función "Consulta"

Dentro de este menú seleccionaremos la opción del proceso el cual queremos consultar o realizar algún cálculo.



Ilustración 32: Menú de consulta de “Efluent”

Una vez seleccionado el proceso, la aplicación nos dirigirá a la pantalla de calculo de este (Ilustración 33)



Ilustración 33: Ejemplo de pantalla de cálculo de un proceso de desbaste en la aplicación “Efluent”

Una vez finalizado se podrá imprimir un informe en PDF de los datos obtenidos (Anexo 1)

DISEÑO

La funcionalidad "Diseño" es la más completa que dispone actualmente EFLUENT, en ella el usuario será capaz de obtener un informe detallado de la instalación necesaria para la depuración de sus efluentes de la manera más óptima y viable, así siempre basándose en los requerimientos de depuración de la directiva Directiva 91-271-CEE.

Para la obtención de dicha información se deberá de introducir los siguientes datos característicos de los efluentes :

- Caudal medio de los efluentes (Q_m) en m³/día
- Sólidos en suspensión (SS) en mg/l
- Demanda Biológica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅) en mg/l
- Demanda Química de Oxígeno (DQO) en mg/l
- Nitrógeno Amoniacal (N-NH₄) en mg/l
- Nitrógeno total (N_t) en mg/l
- Fosforo total (P_t) en mg/l

Dichos datos se introducirán en la pestaña que nos aparecerá tras clicar en el apartado de diseño en el menú principal (Ilustración 34).

- A continuación procederemos a realizar el diseño del plan de depuración de sus efluentes en función de sus necesidades , por favor indiquenos las siguientes características de sus efluentes y que desea hacer con ellos si depurarlos o reutilizarlos :

Caudal Q (m ³ /día)	<input type="text"/>	N-NH ₄ ⁺ (mg/l)	<input type="text"/>
Sólidos en Suspensión SS (mg/l)	<input type="text"/>	N (mg/l)	<input type="text"/>
DBO ₅ (mg/l)	<input type="text"/>	Pt (mg/l)	<input type="text"/>
DQO (mg/l)	<input type="text"/>	Colormes (UFC/100 ml l)	<input type="text"/>

Ilustración 34: Menú de introducción de los datos para el diseño del plan de depuración en "Efluent"

Con los datos introducidos clicaremos en el botón "Diseñar" y nos aparece en pantalla los resultados obtenidos en donde se nos propondrán diversos métodos de depuración además de la posibilidad de realizar la selección de "Método recomendado" que será el método el cual la aplicación considera que es el más adecuado

Para la selección de los mejores métodos en primer lugar, se tendrá en cuenta el rango de población en el que se va a trabajar. Para ello, se calcularán los habitantes equivalentes definidos por las características introducidas de los efluentes mediante la siguiente fórmula.

$$(h - e) = \frac{Qm \left(\frac{m^3}{día} \right) * DBO_5(ppm)}{60 \left(\frac{hab}{día} \right)}$$

Tras un estudio de todos los métodos de depuración, se ha definido la viabilidad de cada proceso dependiendo del rango de población en el que nos encontremos dado que algunos de estos métodos son más eficientes y más adecuados para unos rangos de poblaciones concretos

Tecnología	Rango de población (h-e)			
	50-200	200-500	500-1000	1000-2000
TI				
DP				
HFSV Y HFSH				
FT				
FIA				
IP				
LB				
AP				
SBR				
MBBR				

Tabla 13. Rango de aplicación recomendable para las diferentes tecnologías de depuración

Conocido el rango de población en el estamos trabajando el programa arrojará una serie de opciones viables para la depuración de los efluentes presentados, además de dar la opción de la selección del mejor método entre todos los presentes

Segun los datos proporcionados nos encontramos ante un rango de población de 333 (h-e)

Para este rango de poblacion y segun el analisis de sus efluentes los metodos de depuracion más utilizados son :



Puede seleccionar cualquiera de los metodos anteriores o seleccionar la opción de "Metodo Recomendado" en donde se le dara la opción mas adecuada para la depuración de sus efluentes en función de los datos aportados anteriormente :



Ilustración 35. Pantalla de elección de métodos de depuración en la aplicación “Efluent”

Para la selección del mejor método entre los presentados, el programa hará un estudio de la composición de entrada del efluente y, sabiendo cual será el nivel de depuración esperado en cada tecnología presentada (Tabla 14) propondrá un modelo de depuración, el cual será el más óptimo y se acoja más a los criterios de depuración exigidos por la ley vigente.

Tecnología	Características					
	SS (%)	DBO5 (%)	DQO (%)	N-NH4 (%)	Nt (%)	Pt (%)
TI	50-60	20-30	20-30	—	—	—
DP	60-65	30-35	—	—	—	—
HFSH	90-95	85-90	80-90	20-25	20-30	20-30
HFSV	90-95	90-95	80-90	60-70	60-70	20-30
FT	85-95	90-95	80-90	85-95	15-20	70-80
FIA	90-95	90-95	80-90	70-80	40-50	15-30
IP	90-95	90-95	80-90	70-80	40-50	15-30
LB	85-95	85-95	80-90	60-80	20-35	15-35
AP	85-95	85-95	80-90	90-95	80-85	20-30
SBR	>90	>90	80-90	90-95	80-85	55-65
MBBR	85-95	85-95	80-90	90-95	70-80	20-30

Tabla 14. Niveles de tratamiento alcanzados según la tecnología implantada

Este estudio a nivel de programación se realiza a través del siguiente algoritmo:

```
Private Sub CommandButton5_Click()
|
| ' Humedales
|
| If Worksheets("HUME (5-20)").Range("E13") < 50 Then Hume = Hume + 1
| If Worksheets("HUME (5-20)").Range("E14") < 50 Then Hume = Hume + 1
| If Worksheets("HUME (5-20)").Range("E15") < 2.84 Then Hume = Hume + 1
|
| ' Filtro turba
|
| If Worksheets("HUME (5-20)").Range("E13") < 300 Then Ft = Ft + 1
| If Worksheets("HUME (5-20)").Range("E14") < 18.75 Then Ft = Ft + 1
| If Worksheets("HUME (5-20)").Range("E15") < 10 Then Ft = Ft + 1
|
| ' Filtro Arena
|
| If Worksheets("HUME (5-20)").Range("E13") < 75 Then Fa = Fa + 1
| If Worksheets("HUME (5-20)").Range("E14") < 30 Then Fa = Fa + 1
| If Worksheets("HUME (5-20)").Range("E15") < 2.85 Then Fa = Fa + 1
|
|
| If Hume > Ft And Hume > Fa Then UserForm12.Show
| If Ft > Fa And Ft > Hume Then UserForm13.Show
| If Fa > Ft And Fa > Hume Then UserForm14.Show
|
| If Ft = Hume And Ft > Fa Then UserForm13.Show
| If Hume = Fa And Hume > Ft Then UserForm12.Show
| If Fa = Ft And Fa > Hume Then UserForm14.Show

```

Ilustración 36. Ejemplo de código de programación de la aplicación “Efluent”

Como se puede ver en la anterior imagen la aplicación para seleccionar el método más recomendado utilizará lo que podremos llamar un contador, en donde cada proceso será introducido en una variable la cual se multiplicará por el porcentaje de depuración estimado de estos y será comparado con los objetivos de depuración establecidos por la directiva 91/271/CEE. En el caso que estos cumplan los requisitos, esta variable sumará unidad. Finalmente todas las variables serán comparadas y la que haya sumado más unidades será la que consideraremos la opción más óptima.



Ilustración 37. Pantalla resumen del método final seleccionado en la aplicación “Efluent”

Así, teniendo todo esto en cuenta y con el método seleccionado, el programa procederá a generar un informe en formato Pdf con todo el diseño de la estación de depuración. En dicho documento se presentará una propuesta de diagrama de flujo de la instalación completa donde se describirá cada etapa utilizada en el proceso, se aportará una tabla con el análisis esperado de la composición de salida del agua esperada tras todas las etapas de tratamiento, y, por último, se aportará toda la información necesaria a cerca de todas las etapas utilizadas (Anexo 2).

7- PROPUESTAS DE FUTURAS ACTUALIZACIONES

El programa descrito se presenta a día de hoy como una gran solución para la orientación a la hora del diseño de todo el sistema de tratamiento de aguas en pequeños núcleos urbanos, pero en el futuro debido a la naturaleza del programa este siempre estará preparado para recibir mejoras y actualizaciones para así poder ampliar su catálogo de posibilidades en donde se pueden llegar a conseguir siempre resultados mucho más exactos y fiables

Las propuestas de mejoras se deben centrar en aspectos claves como la incorporación continua de tecnologías de vanguardia, la mejora de la usabilidad y la interfaz de usuario, la ampliación de las capacidades de análisis y la integración con sistemas de diseño en tiempo real.

Algunas de las actualizaciones propuestas podrían ser:

- Desarrollo completo de la funcionalidad de "Consulta" en donde se podrá realizar el diseño de las etapas en tiempo real en donde el usuario sea capaz de calcular los parámetros de cada etapa y ver resultados al instante, esto con el fin de diseñar etapas lo más optimizadas o personalizadas posibles
- Tratamiento de lodos en el análisis conjunto de las plantas depuradoras: Agregar la opción de tratamiento de lodos dentro del diseño de las plantas.
- Proceso completo para la reutilización de las aguas residuales teniendo en cuenta la finalidad del uso: Otro nivel a mejorar sería la personalización más concreta a la hora de diseñar cada proceso, en donde se podrá tener en cuenta cuestiones más generales como la temperatura de la zona. Impactos

medioambientales en la zona o características del terreno, por ejemplo y así obtener resultados más exactos y únicos.

- Cambios de normativa: Implementación de la posibilidad de cambiar la normativa a la que nos enfrentamos y así poder seleccionar la normativa vigente en el lugar donde se requiera la instalación

8- CONCLUSIONES

El desarrollo del presente programa para diseñar sistemas de depuración de aguas en pequeños núcleos urbanos representa un avance significativo en el campo del tratamiento de aguas residuales. A lo largo de este proyecto, se ha logrado abordar de manera íntegra los desafíos específicos que enfrentas estas poblaciones de tamaño reducido, proponiendo soluciones personalizadas y eficientes para mejorar la calidad del agua y preservar el entorno natural

El programa ofrece una herramienta versátil y de fácil acceso, lo que permite a los usuarios contar con un sistema personalizado en la toma de decisiones sobre el diseño de sus sistemas de depuración. Al incluir una variedad de tecnologías y opciones de tratamiento, se garantiza la adaptabilidad a diferentes condiciones locales y recursos disponibles, asegurando soluciones a medida para cada comunidad.

La simulación del funcionamiento de los sistemas propuestos se ha convertido en un componente clave de este programa, al brindar una visión orientativa de los resultados esperados. Esto permite a los usuarios tomar decisiones informadas, evaluar sus sistemas y anticipar posibles problemas o impactos ambientales, garantizando una gestión más efectiva y sostenible

Es importante destacar que el programa también aborda la importancia del cumplimiento normativo y del respeto al medio ambiente. La consideración de los requisitos legales y ambientales, así como la reducción del impacto ambiental, están presentes en cada etapa del diseño de los sistemas de depuración propuestos

En conclusión, este proyecto ha logrado consolidar una herramienta valiosa y practica para enfrentar los desafíos de la depuración de aguas residuales en pequeños núcleos urbanos. La combinación de tecnología, adaptabilidad y simulación ha demostrado ser

efectiva para mejorar la gestión del agua y proteger el medio ambiente en estas comunidades. Se espera que este programa sea ampliamente adoptado, contribuyendo a una mayor sostenibilidad y bienestar en los asentamientos de menor escala, aportando así a la preservación de nuestros recursos hídricos y al cuidado de la naturaleza

9- CONCLUSIONS

The development of this program for designing water treatment systems in small urban centers represents a significant advance in the field of wastewater treatment. Throughout this project, we have been able to comprehensively address the specific challenges faced by these small towns, proposing customized and efficient solutions to improve water quality and preserve the natural environment.

The program offers a versatile and easily accessible tool, allowing users to have a customized system for making decisions on the design of their purification systems. By including a variety of technologies and treatment options, adaptability to different local conditions and available resources is guaranteed, ensuring tailor-made solutions for each community.

Simulation of the operation of the proposed systems has become a key component of this program, providing an indicative view of the expected results. This allows users to make informed decisions, evaluate their systems and anticipate possible problems or environmental impacts, ensuring more effective and sustainable management.

Importantly, the program also addresses the importance of regulatory compliance and environmental friendliness. The consideration of legal and environmental requirements, as well as the reduction of environmental impact, are present at every stage of the design of the proposed wastewater treatment systems.

In conclusion, this project has succeeded in consolidating a valuable and practical tool to face the challenges of wastewater treatment in small urban centers. The combination of technology, adaptability and simulation has proven to be effective in improving water management and protecting the environment in these communities. It is hoped that this program will be widely adopted, contributing to greater sustainability and well-being in

smaller scale settlements, thus contributing to the preservation of our water resources and the care of nature.

10 - BIBLIOGRAFIA

Aquae Fundacion (2021) Los 8 principales contaminantes del agua
<https://www.fundacionaquae.org/wiki/los-residuos-que-mas-contaminan-el-agua/>

Alexandre, O.; Lagrange, C.; Victorie, R.. (2006). Stations d'épuration des petites collectivités. Méthodologie et analyse des coûts d'investissement et d'exploitation par unité fonctionnelle. CEMAGREF. ISBN: 2-85362 -665-2.

CEDEX (2007a). *Tema 2. Pretratamientos. XXV Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras. Tomo I.*

CEDEX. (2010). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones.

Cooper, P. (2003). Sizing vertical flow and hybrid constructed wetlands systems. The use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment. 1st International Seminar. Dias V. y Vymazal J. (eds.), Instituto Nacional da Água, Lisbon, Portugal, pp. 195-218.

Couillard, D. (1992). Appropriate wastewater management technologies using peat. Journal Environmental Systems. 21, 1-19

Couillard, D. (1994). The use of peat in wastewaters treatment. Water Research 28(6), 1.261-1.274.

EPA. (2002a). EPA625/R-00/008a. Onsite Wastewater Treatment Systems Technology Fact Shett 10: Intermittent Sand/Media Filters.

Gallego, I. (2010). Monografía Sobre Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSS) para remocion de metales pesados en aguas residuales. PEREIRA: UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.

García, J.; Aguirre, P.; Mujeriego, R.; Huang, Y.; Ortíz, L.; Bayona, J. (2004a). Initial contaminant removal performance factors in horizontal flow red beds used for treating urban wastewater. *Wat. Res.* 38(7), 1669-1678.

Instituto Tecnológico de Canarias (2006) Guía sobre tratamientos de aguas urbanas para pequeños núcleos de población. Mejora de la calidad de los efluentes

Juan José (2020) El modesto tanque Imhoff: fundamentos y diseño
<https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/modesto-tanque-imhoff-fundamentos-y-diseno>

Metcalf&Eddy (2000). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill. ISB: 84-481-1607-0.

Microsoft (2024) Documentación de Visual Basic
<https://learn.microsoft.com/eses/dotnet/visual-basic>

Ministerio de medio ambiente y medio rural y marino (2010) Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones

Moshiri, G. (1993). *Constructed Wetlands for Water Quality Improvement*. Lewis Publishers. ISBN: 0-87371-550-0.

Sainz, J. A. (2005). *Sostenibilidad. Tecnologías para la sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales*. Ed. Fundación EOI. Madrid

Salas, J.J.; Pidre, J.R.; Sánchez, L. (2007a). *Manual de Tecnologías no Convencionales para la Depuración de Aguas Residuales. Capítulo IV.- Humedales Artificiales*. Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua. CENTA, Sevilla, 111 p. ISBN: 978-84-61-6885-9.

Salas, J.J.; Ternero, M.; Quiroga, J. (2008). *El tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante filtros de turba e Andalucía. VII Simposio del Agua en Andalucía*. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Aguas Subterráneas nº 25. Tomo II. 933-941.

Viraraghavan, T. (1991). Use of peat in pollution control. *Int. Journal Environ. Stud.*, B: *Environ. Sci. Technol.* 37, 163-169.

Vymazal, J. (2008). *Wastewater Treatment, Plant Dynamics and Management in Constructed and Natural Wetlands*. Springer Science+ Business Media B.V. ISBN: 978-1-4020-8234-4.

11- ANEXOS

ANEXO 1: Informe generado en Efluent por la Herramienta “Consulta” para el diseño de humedales horizontales

ANEXO 2: Informe de propuesta generado en Efluent por la herramienta “Diseño” de estación depuradora con datos previamente introducidos

ANEXO 1

DISEÑO HUMEDALES HORIZONTALES

Para el diseño de este tipo de humedales se precisa definir la superficie necesaria y la relación longitud/anchura.

SUPERFICIE :

La superficie necesaria para la implantación del Humedal Artificial, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$S = L \times A = \frac{Q_{m,d} \cdot \ln(C_{(e)} / C_{(s)})}{K_T \times h \times \varphi_s}$$

Siendo:

S = superficie necesaria del humedal (m²).

L = longitud del humedal (m).

A = anchura del humedal (m).

Q_{m,d} = caudal medio de alimentación (m³/d).

C(e) = concentración del contaminante en el agua de entrada (mg/l). Debe tenerse en cuenta el rendimiento alcanzado en la etapa de tratamiento primario.

C(s) = concentración del contaminante en el agua de salida (mg/l).

K_T = constante de reacción (d⁻¹).

h : profundidad de la lámina de agua (m). En los Humedales de Flujo Subsuperficial Horizontal oscila entre 0,4 y 0,6 m.

φ_s : porosidad del sustrato filtrante (en tanto por 1). En el caso de los Humedales de Flujo Superficial la porosidad fluctúa entre 0,65–0,75, dependiendo del grado de desarrollo de la vegetación implantada. Para los Humedales de Flujo Subsuperficial Horizontal es de 0,35 cuando se emplea un sustrato con un tamaño efectivo d₁₀ de 8 mm. La siguiente tabla muestra los valores de porosidad para distintos tipos de sustratos.



Tipo de medio	Tamaño efectivo d_{10}^* (mm)	Porosidad (φ_s)
Arena gruesa	2	0,28-0,32
Arena-grava	8	0,30-0,35
Grava fina	16	0,35-0,38

La dependencia de la constante de reacción K_T con la temperatura, viene dada por la expresión:

$$K_T = K_R \cdot \theta_R^{(T_w - T_r)}$$

Siendo:

K_R = constante de reacción a la temperatura de referencia (d^{-1}).

T_w = temperatura del agua considerada en el diseño ($^{\circ}C$). Se suele emplear la temperatura media del mes más frío.

T_r = temperatura de referencia a la que se ha calculado el coeficiente θ_R , que suele ser $20^{\circ}C$, ($^{\circ}C$).

θ_R = coeficiente de temperatura (adimensional).

Los valores de K_R y θ_R para la eliminación de DBO_5 , NH_4^+ y NO_3^- , se recogen en la siguiente tabla :

Contaminación a eliminar		DBO_5	NH_4^+ nitrificación	NH_4^+ desnitrificación
Humedales Artificiales de Flujo Superficial	K_R (d^{-1})	0,678	0,2187	1
	θ_R	1,06	1,048	1,15
Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal	K_R (d^{-1})	1,104	$0,01854 + 0,3922 (h_r)^{2,6077}$	1
	θ_R	1,06	1,048	1,15

Teniendo en cuenta todos estos factores calculamos :

$$K_T = K_R \cdot \theta_R^{(T_w - T_r)}$$

KR (d-1)	1,104
θR	1,06
Tw (°C)	25
Tr (°C)	20

KT	1,4774010
----	-----------

$$S = L \times A = \frac{Q_{m,d} \cdot \ln(C_{(e)} / C_{(s)})}{K_T \times h \times \varphi_s}$$

Qmd (m3/dia)	300
Ce	154
Cs	16,5
KT	1,477
h	0,5
φs	0,35

S (m2)	2591,7237
--------	-----------

RELACIÓN LONGITUD / ANCHO :

El dimensionamiento hidráulico sirve para calcular la longitud y anchura del humedal, una vez determinada su superficie. Este dimensionamiento se lleva a cabo aplicando la Ley de Darcy, que describe el régimen de flujo en un medio poroso mediante la expresión:

$$Q_{\max,d} = k_s \times A_s \times s$$



Siendo:

$Q_{max,d}$ = caudal de alimentación (m³/d). Se aconseja tomar el caudal máximo diario, para asegurar que el humedal absorberá bien esta punta.

k_s = conductividad hidráulica del medio filtrante en una sección perpendicular al flujo (m³/m².d ó m/d).

A_s = sección del Humedal Artificial perpendicular a la dirección del flujo (m²).

s = pendiente del fondo del humedal (m/m), su valor suele ser de 0,01 (1%).

En la siguiente tabala se muestran los valores de la conductividad hidráulica de distintos tipos de sustratos.

Tipo de medio	Tamaño efectivo d_{10}^* (mm)	Conductividad hidráulica (m/d)
Arena gruesa	2	100-1.000
Arena-grava	8	500-5.000
Grava fina	16	1.000-10.000

Despejando en la ecuación anterior la sección del humedal :

$$A_s = \frac{Q_{m,s}}{k_s \times s}$$

$Q_{m,s}$ (m ³ /dia)	1200
K_s (m/dia)	5000
s	0,01

A_s (m ²)	24
-------------------------	----



Calculada la superficie transversal, y fijada la profundidad, se determina la anchura del humedal mediante la expresión:

$$W = \frac{A_s}{h}$$

W (m)	48,00
-------	-------

Siendo:

W : anchura del humedal (m).

h : profundidad del humedal (m).

Finalmente, la longitud del humedal se determina en base a la superficie y anchura calculadas, mediante la expresión:

$$L = \frac{S}{W}$$

L (m)	53,994
-------	--------



ANEXO 2



PROYECTO

ANEXO 1

PROPUESTA DE DISEÑO DE ESTACIÓN PARA LA DEPURACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE EFLUENTES



Siendo las características de sus efluentes los siguientes :

Q (m ³ /día)	300
SS (mg/l)	100
DBO ₅ (mg/l)	220
DQO (mg/l)	400
N-NH ₄ (mg/l)	20
N (mg/l)	40
P (mg/l)	2
Coliformes (UFC/ 100 ml)	10000

Con estos datos nos encontramos con un rango de población de 1100 (h-e)

Los niveles de tratamiento serán seleccionados según la necesidad de tratamiento de sus efluentes para así poder satisfacer las exigencias definidas en la Directiva 91/271/CEE donde se define los requisitos mínimos que tienen que cumplir los vertidos de aguas residuales urbanas :

Parámetros	Características					
	SS	DBO ₅	DQO	N-NH ₄ ⁺	O _T	P _T
Primario	Rto > 50%	Rto > 20%				
Secundario	<35 mg/l ó Rto > 90%	<25 mg/l ó Rto > 70%	<125 mg/l ó Rto > 75%			
Secundario con nitrificación	<35 mg/l ó Rto > 90%	<25 mg/l ó Rto > 70%	<125 mg/l ó Rto > 75%	<15 mg/l ó Rto > 70%		
Secundario con eliminación de nitrógeno	<35 mg/l ó Rto > 90%	<25 mg/l ó Rto > 70%	<125 mg/l ó Rto > 75%		<15 mg/l ó Rto > 70%	
Secundario con eliminación de fósforo	<35 mg/l ó Rto > 90%	<25 mg/l ó Rto > 70%	<125 mg/l ó Rto > 75%			<2 mg/l ó Rto > 85%

Con todo esto presente se propone la siguiente línea de tratamiento :

- Pretratamiento
- Tratamiento Primario (Decantador Primario)
- Tratamiento Secundario Intensivo (Lecho Bacteriano)



El proceso de lechos bacterianos ha de ir precedido de una obra de llegada y de etapas de pretratamiento y tratamiento primario.

En la obra de llegada debe instalarse un aliviadero de caudal, para evitar sobrecargas hidráulicas en épocas de fuertes lluvias y una compuerta de aislamiento para desviar todo el caudal en caso necesario

En el rango de 1000 a 2000 (h-e) en el que nos encontramos con una etapa de pretratamiento compuesta por:

◆ Desbaste: ejecutado en doble canal, uno de los canales contará con reja de gruesos y reja de finos, dispuestos en serie y de limpieza automática, mientras que en el otro canal se dispondrá, a modo de by-pass, una reja de gruesos de limpieza manual.

◆ Desarenado-desengrasado: en redes unitarias se dispondrá tras el desbaste un desarenador-desengrasador aireado, con extracción de las arenas mediante bombeo.

El disponer de un pretratamiento completo, equipado con etapas de eliminación de sólidos, arenas y grasas, viene motivado por la necesidad de evitar obturaciones en las conducciones y, especialmente, en las boquillas del sistema distribuidor del Lecho Bacteriano, ya que ello provocaría su parada, en caso de que su accionamiento sea hidráulico. Igualmente, la llegada de grasas al material soporte del lecho provoca problemas de funcionamiento al mezclarse con la biopelícula, desestabilizando el proceso biológico y disminuyendo su rendimiento.

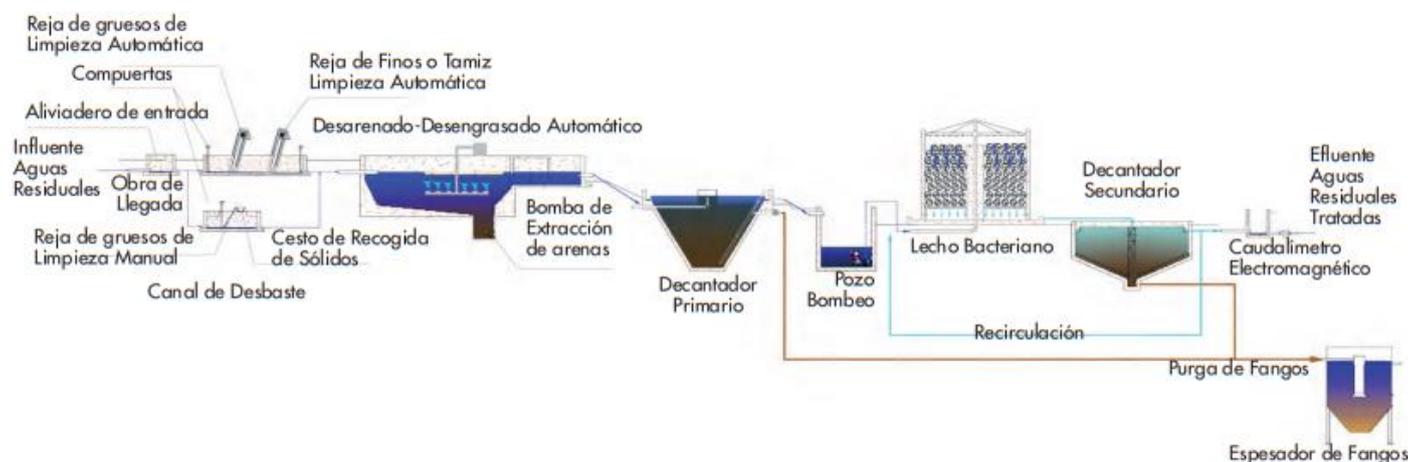
En la etapa de tratamiento primario se hará uso de un decantador primario, donde los fangos, que periódicamente se purgan, junto con los extraídos de la etapa de clarificación, se envían a un espesador por gravedad.

Tras la etapa de tratamiento primario, lo normal, salvo en situaciones excepcionales en que lo permita la topografía del lugar, es que se requiera la instalación de un pozo de bombeo, para el envío de las aguas a la parte superior del Lecho Bacteriano. Los efluentes del lecho, que arrastran la biomasa desprendida del material de relleno, se someten a una etapa de clarificación, o decantación secundaria, para separar los efluentes tratados de los fangos. Estos últimos, junto con los fangos del decantador primario, se conducen a un espesador por gravedad, para su concentración y almacenamiento, antes de su envío a otra EDAR, o su deshidratación "in situ". Los sobrenadantes del espesador se reenvían a cabecera del tratamiento

A la salida de la etapa de decantación secundaria se dispondrá un sistema de medición de caudal, recomendándose el empleo de caudalímetros electromagnéticos.



Diagrama de flujo de una instalación de Lecho Bacteriano (1,000-2.000 h-e)



La siguiente tabla recoge los rendimientos medios que se alcanzan con el empleo de Lechos bacterianos. En la última columna se presentan las características del efluente final.

PARAMETROS	% REDUCCIÓN	EFLUENTE (mg/l)
Sólidos en suspensión	85-95	10
DBO5 (mg/l)	85-95	22
DQO (mg/l)	80-90	60
N-NH4+ (mg/l)	60-80	6
N total (mg/l)	30-35	27
P total (mg/l)	15-30	1,55
Coliformes Fecales (UFC/100ml)	—	100

En el caso que se requisan los efluentes para su reutilización, estos deben cumplir las exigencias estipuladas en el Real Decreto 1620/2007 donde se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

En el caso de que nuestros efluentes no cumplan dichas características con los métodos definidos anteriormente se requiera añadir al proceso una unidad específica de desinfección dependiendo del nivel de desinfección final que queramos obtener dependiendo de los usos que queramos darle a estos efluentes.

A continuación se definirá cada proceso en detalle y se procederá al diseño de las etapas necesarias.



INTRODUCCIÓN

En las estaciones de depuración, las aguas residuales a tratar, conducidas por gravedad o bombeo, descargan en una obra de llegada, como paso previo a su pretratamiento, en el que se elimina la mayor cantidad posible de aquellas materias que, por su naturaleza o tamaño, podrían originar problemas en las etapas posteriores del tratamiento

Por un lado, los caudales de agua residuales que ingresan en las estaciones de tratamiento deben medirse para realizar una explotación eficaz y evaluar los costes del tratamiento por unidad de volumen de agua tratada

OBRA DE LLEGADA

A su ingreso a la estación de tratamiento, las aguas residuales desembocan en la obra de llegada, ejecutada en la cabecera de la instalación y que consiste, normalmente, en una arqueta donde se conectan todos los colectores que transportan las aguas a tratar

La obra de llegada deberá de disponer de un aliviadero conectado a la línea de bypass general, con la misión de evacuar el excedente del caudal máximo de diseño, y de by-passear la estación de tratamiento en caso necesario.

Tanto el bypass como el emisario, deberán tener capacidad suficiente para transportar toda el agua que pueda llegar por el colector a la depuradora

En ocasiones, para evitar el impacto sobre el medio hídrico receptor de los sólidos y arenas arrastradas en los primeros momentos del episodio de lluvias, es necesario construir un tanque de tormentas a la entrada de la EDAR.



PRETRATAMIENTO

Las aguas residuales, antes de su depuración propiamente dicha, se someten a una etapa de pretratamiento, que consta de una serie de operaciones físicas y mecánicas, que tienen por objeto separar la mayor cantidad posible de materias (sólidos gruesos, arenas, grasas) que, por su naturaleza o tamaño, pueden dar lugar a problemas en las etapas posteriores del tratamiento.

El correcto diseño y posterior explotación y mantenimiento de la etapa de pretratamiento, son aspectos de vital importancia, pues cualquier deficiencia en los mismos repercute muy negativamente en el resto de las instalaciones, originando obstrucciones de tuberías, válvulas y bombas, desgaste de equipos, acumulación de arenas y sobrenadantes, pérdidas de rendimientos, etc.

Las distintas operaciones que constituyan el pretratamiento dependerán, en cada actuación concreta, de la calidad del agua bruta de entrada, del tipo de tratamiento posterior adoptado y del tamaño de la población, entre otros factores.

En las pequeñas aglomeraciones urbanas el pretratamiento, suele constar de:

- Desbaste.
- Desarenado.
- Desengrasado.

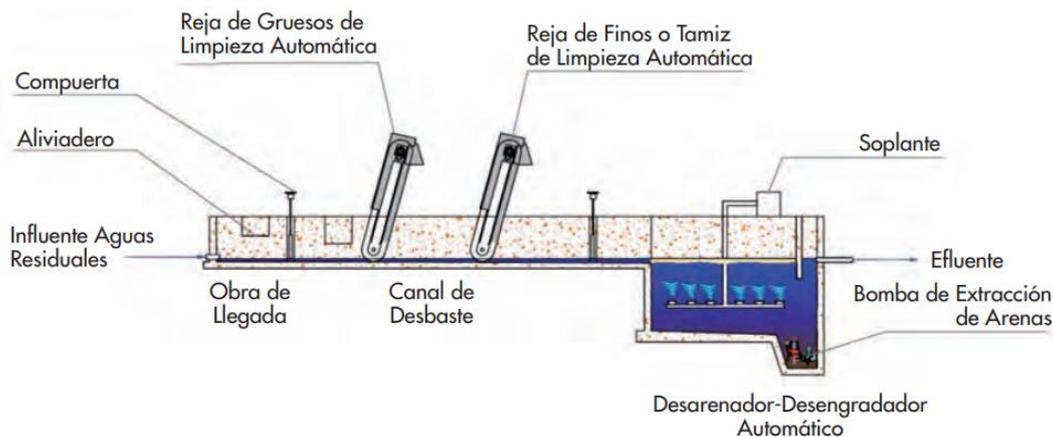
En el caso de redes separativas se puede prescindir de la etapa de desarenado, mientras que la etapa de desengrasado puede obviarse cuando se disponga de un tratamiento primario posterior y el contenido en grasas de las aguas residuales no sea elevado, ya que las pocas grasas que lleguen a la planta se recogerán en la superficie de dicho tratamiento. En caso contrario (restaurantes, estaciones de servicio, etc.), se hace necesaria la implantación en el pretratamiento de una etapa de desengrasado.



Cuando por problemas de línea piezométrica se deba introducir un bombeo en cabecera de la estación depuradora, éste se realizará, si es posible, tras la etapa de desarenado desengrasado. Si esto no fuese posible, al menos debe incluirse previamente al bombeo una reja de desbaste de gruesos de limpieza manual o automática, y de luz menor que el paso del rodete de las bombas instaladas con el objetivo de proteger estos equipos.

El cálculo del número de bombas, su capacidad y el volumen del tanque de aspiración, debe permitir que el caudal impulsado se adecue a las variaciones diarias de caudal del agua residual, evitando, en lo posible, una sobrecarga de los diferentes procesos de la EDAR.

En general, se deben emplear bombas con variador de frecuencia, para conseguir una buena regulación de caudal, en especial cuando se opere con una sola bomba.



- **DESBASTE**

En las pequeñas poblaciones el desbaste es, generalmente, el primer proceso en el tratamiento de las aguas residuales y su misión es la eliminación de sólidos de tamaño pequeño-mediano, mediante su interceptación en rejas y/o tamices.

Las rejas consisten en barras paralelas que se anteponen al flujo, con separación uniforme entre ellas, mientras que los tamices están constituidos por placas perforadas, o mallas metálicas de sección cuneiforme.

Las rejas presentan una mayor luz de paso que los tamices y se clasifican, según el tamaño de paso entre barrotes, en :

- Rejas de gruesos: el paso libre entre los barrotes es de 20 a 60 mm (valor normal entre 20 y 30 mm).
- Rejas de finos: el paso libre entre los barrotes es de 6 a 12 mm (valor normal 10 mm).

En función de cómo se realice su limpieza, las rejas de desbaste se clasifican en:

- Rejas de limpieza manual: van equipadas con un cestillo perforado para acumular los sólidos que son retirados de las rejas mediante el empleo de un rastrillo. El cestillo permite el escurrimiento al canal de desbaste del exceso de agua, de modo que cuando se retiran los residuos, para su disposición final, la cantidad de agua en ellos sea la mínima posible.
- Rejas de limpieza automática: incorporan un peine rascador que, periódicamente y de manera automática, limpia la reja. Este peine puede activarse mediante temporizador, al superarse cierto valor establecido de pérdida de carga, o mediante un sistema combinado de temporización y pérdida de carga. Los residuos se suelen descargar a una cinta o tornillo transportador, para su envío a un contenedor. Existen tornillos transportadores que compactan los residuos extraídos, consiguiendo cierto grado de deshidratación de los mismos y minimizando, a la vez, la generación de posibles impactos olfativos.



- **DESARENADO**

La etapa de desarenado tiene por objeto la eliminación de la mayor parte de la materia más densa presente en las aguas residuales, con un diámetro superior a 0,2 mm, para evitar su sedimentación en canales, conducciones y unidades de tratamiento, y para proteger a las bombas de la abrasión. Se logra la eliminación tanto de materia inorgánica (arenas, gravas), como de materia orgánica no putrescible (granos de café, huesos, cáscaras de huevo, etc.). Esta etapa, que se coloca generalmente después del desbaste y antes del tratamiento primario, hace uso de dos tipos básicos de desarenadores;

- Desarenadores estáticos de flujo horizontal: el agua circula a su través en dirección horizontal, existiendo dos modalidades diferentes:

- . Canales desarenadores de flujo variable: se emplean en pequeñas instalaciones de depuración, extrayéndose manualmente las arenas de la zona inferior de un canal, que cuenta con una capacidad de almacenamiento de 4-5 días.

- . Canales desarenadores de flujo constante: mantienen una velocidad de paso fija, en torno a 0,3 m/s, independientemente del caudal que los atraviesa, con lo que se logra que sedimente la mayor parte de las partículas de origen inorgánico y la menor parte posible de las de origen orgánico (< 5% de materia orgánica). En el caso de pequeñas poblaciones, se ha observado que los canales desarenadores de tipo constante no suelen funcionar correctamente, debido a que los bajos caudales y su variabilidad impiden mantener una velocidad de paso de 0,3 m/s de forma constante, acumulándose arenas con alto contenido en materia orgánica.

- Desarenadores aireados: en ellos el aire inyectado permite reducir el contenido en materia orgánica de la arena, provocando un movimiento en espiral, que se controla por la propia geometría del tanque y por la cantidad de aire suministrada. Sus paredes inferiores tienen un alto grado de inclinación para facilitar la retirada de la arena acumulada.



- **DESENGRASADO**

Esta operación tiene por misión eliminar las grasas y demás materias flotantes más ligeras que el agua. Dentro de los desengrasadores se distinguen:

- Desengrasadores estáticos: en los que se hacen pasar las aguas a través de un depósito dotado de un tabique deflector, que obliga a las aguas a salir por la parte inferior del mismo, lo que permite que los componentes de menor densidad que el agua queden retenidos en la superficie. Su fondo es inclinado para facilitar el deslizamiento de la materia que sedimenta en el desengrasador hacia una zona de evacuación. La retirada de las grasas se lleva a cabo de forma manual, haciendo uso de un sistema de recogida superficial, o simplemente de un recogedor de hojas de piscina. El rendimiento de este tipo de equipos es bastante inferior al de los desengrasadores aireados.

- Desengrasadores aireados: en ellos se inyecta aire por la parte inferior del recinto, al objeto de emulsionar las grasas y de mejorar la flotación de las mismas. Este tipo de desengrasador no se suele usar si no es combinado con la operación de desarenado.



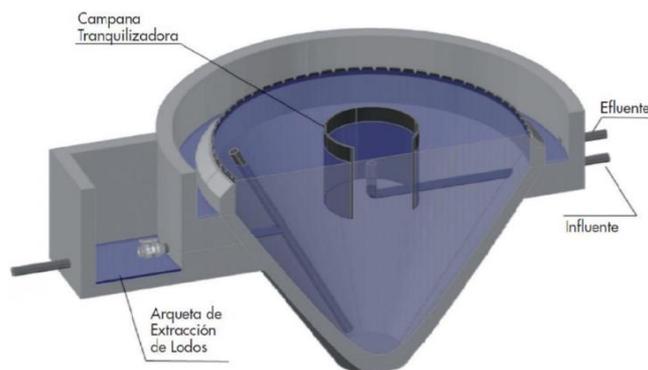
DECANTADOR PRIMARIO

La Decantación Primaria tiene como objetivo la eliminación de una parte importante de los sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales, bajo la acción de la gravedad. Por tanto, en esta etapa tan sólo se eliminarán sólidos sedimentables y materias flotantes, permaneciendo inalterables los sólidos coloidales y disueltos. La retirada previa de estos sólidos es primordial, ya que en caso contrario originarían fuertes demandas de oxígeno en el resto de las etapas de tratamiento.

Los Decantadores primarios pueden ser estáticos o dinámicos, según cuenten o no con partes mecánicas.

- Decantadores estáticos: en el tratamiento de las aguas residuales urbanas se emplean dos tipos fundamentalmente:

- . Decantadores cilindrocónicos: se utilizan para caudales pequeños (hasta 20 m³/h), en poblaciones inferiores a 2.000 habitantes
- . Decantadores lamelares: emplean un elemento físico (lamela), que se dispone inclinado y contra el que chocan las partículas en su recorrido de sedimentación, para deslizarse sobre ella posteriormente. De esta forma, se precisa de un menor volumen de sedimentación siendo, por tanto, más pequeños los equipos de decantación.



Sección de un decantador primario cilindrocónico estático

- Decantadores dinámicos: cuentan con elementos electromecánicos que se utilizan para recoger los flotantes y para conducir los lodos hacia la poceta de evacuación. Atendiendo a su geometría se distingue entre decantadores dinámicos rectangulares y circulares.

En el tratamiento de las aguas residuales generadas en las pequeñas aglomeraciones urbanas, para los que se requieren unidades de decantación de menos de 5 m de diámetro, y en las que se hace difícil la construcción en hormigón, se suele recurrir al empleo de decantadores estáticos cilindrocónicos, contruidos en materiales plásticos. No obstante, para evitar el manejo de fangos sin digerir, con frecuencia se sustituye la etapa de decantación primaria por una etapa de decantación-digestión



En zonas de climas fríos, los incrementos de la viscosidad del agua producidos por las bajas temperaturas retardan la sedimentación y reducen los rendimientos de los decantadores primarios para temperaturas por debajo de 20°C. La Figura 5.23 muestra la dependencia del factor multiplicador del tiempo de retención con la temperatura en Decantadores primarios. En el caso de saneamientos unitarios, la lluvia es el meteoro que más afecta a la etapa de Decantación primaria, al incrementarse notablemente los caudales que ingresan en la estación de tratamiento, y al presentar las aguas mayores contenidos de materia en suspensión.

Dada los muy escasos requisitos de superficie que se requieren para la implantación de la etapa de Decantación primaria, las características del terreno disponible para su implantación ejercen una influencia de muy escasa importancia. Si bien, al construirse, generalmente estos decantadores por excavación, aquellos terrenos fáciles de excavar y con el nivel freático bajo, serán los que reúnan las mejores condiciones para su implantación.

La mayor parte de la estructura de los Decantadores primarios suele disponerse enterrada, siendo pequeña la proporción que sobresale del nivel del suelo, por lo que los impactos visuales son limitados. Dada la poca potencia de los equipos electromecánicos necesarios para los elementos de limpieza del pretratamiento y para la extracción de los fangos sedimentados, el impacto sonoro de estas unidades es muy bajo.

Si no se extraen, con la periodicidad apropiada, los flotantes y los fangos pueden generarse olores desagradables, al comenzar la degradación vía anaerobia de los mismos. Como en el resto de los tratamientos, en el caso de deficiencias constructivas se pueden dar filtraciones en los decantadores, que pueden llegar a contaminar a las aguas subterráneas.

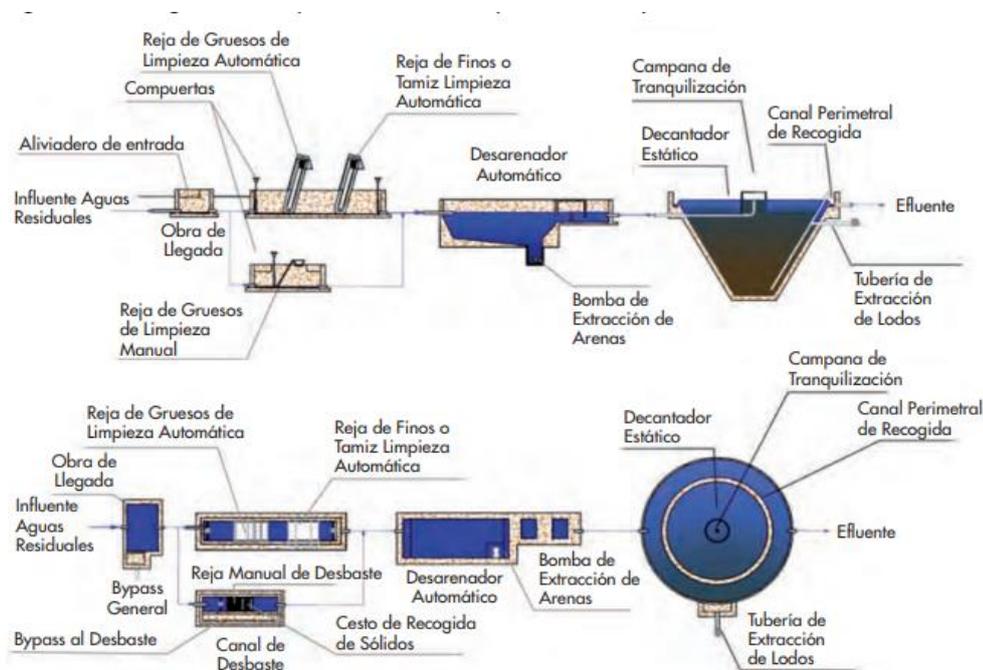


Diagrama de flujo de un decantador primario



LECHO BACTERIANO

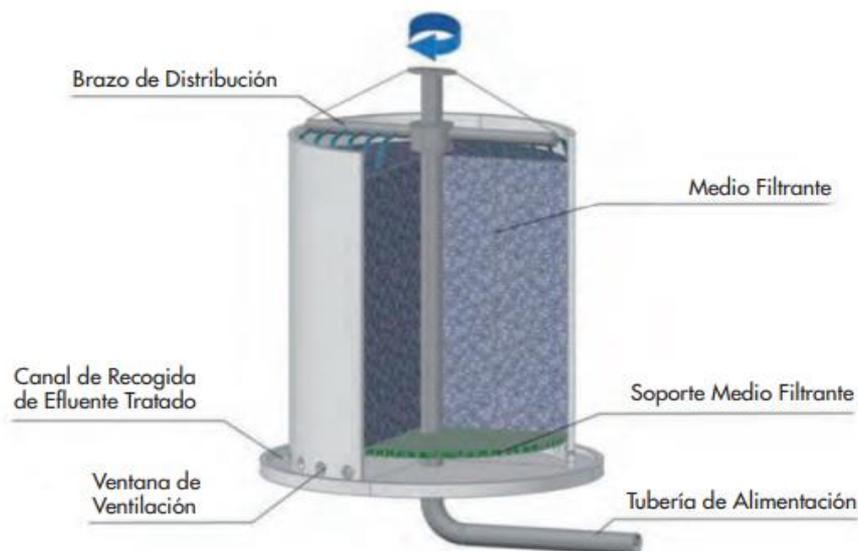
Los Lechos Bacterianos, conocidos también como Filtros Percoladores, constituyen la variante más tradicional dentro de los procesos de biopelícula empleados para el tratamiento biológico de las aguas residuales.

Se trata de un proceso aerobio, en el que el agua residual, después de haber sido sometida a un tratamiento previo (pretratamiento y tratamiento primario), percola por gravedad a través de un material de relleno, que constituye el material soporte sobre el que se desarrollan y crecen los microorganismos, formando una biopelícula de espesor variable. El material de relleno se encuentra fijo, en el interior del reactor, presentando una elevada superficie específica.

Los materiales que principalmente se utilizan como material soporte en los Lechos Bacterianos son:

- ◆ Piedras, con tamaño entre 50 y 100 mm y de diferente naturaleza (silíceas, puzolanas, coque, escoria, rocas volcánicas, etc.). Es frecuente el empleo de grava silícea de 50 mm de tamaño.
- ◆ Material plástico con diferentes configuraciones, bien piezas sueltas dispuestas en el reactor de forma aleatoria, o bien, módulos estructurados ordenadamente para formar el lecho.

Esquema de un Lecho Bacteriano



El reactor biológico está constituido por el material soporte de la biopelícula y el depósito que alberga dicho material. Este depósito suele tener forma cilíndrica y estar abierto a la atmósfera por la parte superior. El agua se distribuye por arriba y percola a través del lecho, sin llegar a inundarlo, entrando en contacto con la biopelícula. Al mismo tiempo, existe una corriente de aire que atraviesa el lecho por tiro natural o forzado. Al entrar en contacto el agua residual con los microorganismos y el oxígeno del aire, se produce la degradación de la contaminación biodegradable contenida en el agua. Los sustratos disueltos en el agua residual y el oxígeno difunden a través de la biopelícula, donde se produce la metabolización de los mismos, mientras que el CO₂ y el resto de residuos generados en el proceso difunden en sentido contrario, hacia el exterior de la película. A su vez, la materia en suspensión y coloidal, presente en el agua residual a tratar, se aglomeran y adsorben en la biopelícula.

La alimentación al Lecho Bacteriano se realiza por su parte superior, mediante un sistema de distribución que proporciona un reparto homogéneo del agua sobre toda la superficie superior del relleno. Este sistema de distribución puede ser fijo o móvil:

- ◆ En el sistema fijo el agua residual se distribuye de forma continua (si se recircula parte del clarificado) o intermitente, a través de una tubería perforada, aspersores o canalones.
- ◆ El sistema móvil, mucho más frecuente, está constituido por una columna central giratoria, de la que parten brazos radiales en los que van instaladas una serie de boquillas. En este sistema, aunque el agua salga de forma continua por las boquillas, su aplicación sobre la superficie superior del relleno es intermitente, como consecuencia del giro del brazo distribuidor.

El sistema móvil se instala en Lechos Bacterianos de geometría cilíndrica y, si bien el giro puede lograrse de forma autónoma por carga hidráulica (al salir el agua de los brazos en un mismo sentido se consigue el movimiento de éstos en el sentido contrario), con el fin de controlar mejor la velocidad de distribución del agua y la fuerza del lavado, es recomendable, en los casos en que se disponga de toma eléctrica, la utilización de distribuidores motorizados.

El tratamiento del agua residual tiene lugar en el Lecho Bacteriano en sentido descendente, creándose varias zonas donde la biocenosis posee diferente composición. Como ejemplo, y dependiendo de la carga orgánica aplicada, la influencia de las bacterias nitrificantes empieza a ser efectiva en las zonas más bajas, cuando la degradación de la materia orgánica se ha realizado casi en su totalidad.



El crecimiento progresivo de la biopelícula provoca que, a partir de un cierto espesor, el oxígeno no penetre en toda su profundidad, creándose una zona aerobia exterior y otra anaerobia más próxima a la superficie del material soporte. El espesor de la biopelícula alcanza un cierto límite, a partir del cual se desprende y es arrastrada por el agua circulante.

Una vez que el agua residual ha atravesado el lecho, es recogida en la parte inferior del mismo y dirigida a un decantador secundario, o clarificador, donde el agua ya tratada se separa del exceso de biopelícula erosionada y desprendida, que constituye los fangos en exceso del proceso de tratamiento.

Parte del agua clarificada suele recircularse y mezclarse con el agua residual de entrada al Lecho Bacteriano, para:

- ◆ Conseguir una distribución más uniforme de la misma en toda la superficie.
- ◆ Evitar la aparición de zonas secas en el material de relleno.
- ◆ Diluir, cuando sea necesario, la concentración contaminante del agua residual, y evitar una DBO5 en la alimentación demasiado alta, que puede provocar fallos en el funcionamiento del sistema
- ◆ Lograr un caudal de percolación lo suficientemente alto como para arrastrar las porciones de biopelícula desprendidas y evitar así la colmatación del lecho. También es posible conseguir el arrastre de la biopelícula aumentando el caudal instantáneo aplicado, mediante una alimentación intermitente sin necesidad de añadir agua de recirculación, pero esta opción sólo es aplicable cuando la concentración de DBO5 a la entrada del lecho es baja (menor de 150-200 ppm)

La recirculación también se puede realizar previamente al decantador, mejorando de esta forma la carga hidráulica del mismo. Esta forma de recircular se utiliza fundamentalmente cuando el lecho nitrifica y, de esta forma, se provoca la desnitrificación en el tratamiento primario o en el propio lecho. También se utiliza cuando el decantador secundario se ha quedado pequeño, ya que de esta forma se consiguen reducir los riesgos que se pueden producir debido a una alta carga hidráulica. En cualquier caso, esta forma de recircular únicamente se recomienda si el lecho está constituido por material de relleno plástico, para evitar problemas de colmatación.



El caudal recirculado debe ser regulable y ajustable al agua residual de entrada.

Se distinguen, por tanto, los siguientes elementos en el proceso de tratamiento mediante Lechos Bacterianos:

- ◆ El reactor biológico, o Lecho Bacteriano propiamente dicho, con su sistema de alimentación de agua y su sistema de ventilación forzada o natural.
- ◆ El decantador secundario o clarificador, con su correspondiente extracción de los fangos producidos en exceso.
- ◆ La recirculación de agua tratada a la entrada del reactor

Habitualmente los lechos operan con ventilación natural, basada en el tiro producido por la diferencia de temperatura entre el aire y el agua. Si el agua a tratar está más caliente que el aire ambiente, el aire del interior del lecho asciende al calentarse y perder densidad, provocando la entrada de aire más frío. Si el agua está más fría que el aire ambiente, ocurre el efecto contrario y el aire desciende a través del lecho al enfriarse. Si el tiro natural que se produce no es suficiente, es necesario emplear un sistema con ventilación forzada, para evitar esta dependencia de la temperatura.

El rango de aplicación de los lechos bacterias se encuentra entre los 200 a 2000 habitantes equivalentes

A continuación se recojera en una tabla los rendimientos de la depuración esperables :

Rendimientos medios de una instalación de lecho bacteriano

	% Rendimiento
Sólidos en suspensión	85-95
DBO5	85-95
DQO	80-90
N-NH4	60-80
N	30-35
P	15-30



En cuanto a las condiciones meteorológicas este sistema es muy dependiente de las variaciones de temperatura tanto del agua como del ambiente. En este sistema para su correcto funcionamiento deberá de haber una diferencia de al menos 2 grados entre el aire y el agua

En general en zonas donde los inviernos son muy fríos se pueden producir problemas de funcionamiento por disminución del rendimiento especialmente en el proceso de nitrificación. En estos lugares deberemos si queremos asegurar rendimientos elevados aislar térmicamente los lechos, emplear ventilación forzada y una construcción de los lechos cercana

En cuanto a las características del terreno, al encontrarnos con un método que requiere muy poca superficie para su construcción las características de este para su implantación ejercen una escasa influencia sobre su posible elección. Si se tendrá en cuenta, al construirse normalmente la etapa de decantación por excavación, aquellos terrenos fáciles de excavar serán los que reúnan las mejores condiciones para la implantación de esta tecnología de depuración.

Los Lechos Bacterianos constituyen una tecnología muy fiable, dado que los elementos mecánicos son robustos y fáciles de operar. Pero es importante que hayan sido diseñados de acuerdo a las características reales del vertido, y de acuerdo a las normas de diseño establecidas, debido a la limitada flexibilidad del proceso.

Así los lechos bacterianos presentan una gran resistencia a puntas diarias de caudal y de contaminación, por lo que se adaptan muy bien a las fluctuaciones que se dan en las pequeñas aglomeraciones urbanas

A su vez este proceso resiste muy bien a las sobrecargas hidráulicas y orgánicas de alimentación siempre que dicha sobrecarga se produzca de manera puntual, además la existencia de biopelícula aporta al proceso biológico una mayor resistencia que los procesos de fangos activos frente a la presencia puntual de tóxicos en el agua de alimentación

En relación a los impactos ambientales que nos podemos encontrar en este proceso serán aquellos derivados de la posible generación de olores debido al fallo del sistema de ventilación natural, lo que se puede evitar empleando ventilación forzada y en cuanto al impacto visual será importante debido a la altura de los lechos.



◆ En cuanto a las **ventajas** de este proceso encontramos:

- Bajos requisitos de superficie
- Buena tolerancia a sobrecargas hidráulicas
- Buen comportamiento frente a choques tóxicos
- Explotación relativamente sencilla
- Bajo consumo energético y bajos costes de explotación
- Bajo nivel de ruido
- Robustez de las instalaciones

◆ En cuanto a las **desventajas** de este proceso encontramos:

- En comparación con los métodos extensivos, precisa de un mayor número de equipo electromecánico, que consumen energía y que requieren un mantenimiento mas complejo y costoso
- Generación de fangos sin estabilizar
- Es menos flexible que los procesos de aireación prolongada
- Mala integración paisajística



Diagrama de flujo de una instalación de Lecho Bacteriano (200-1.000 h-e)

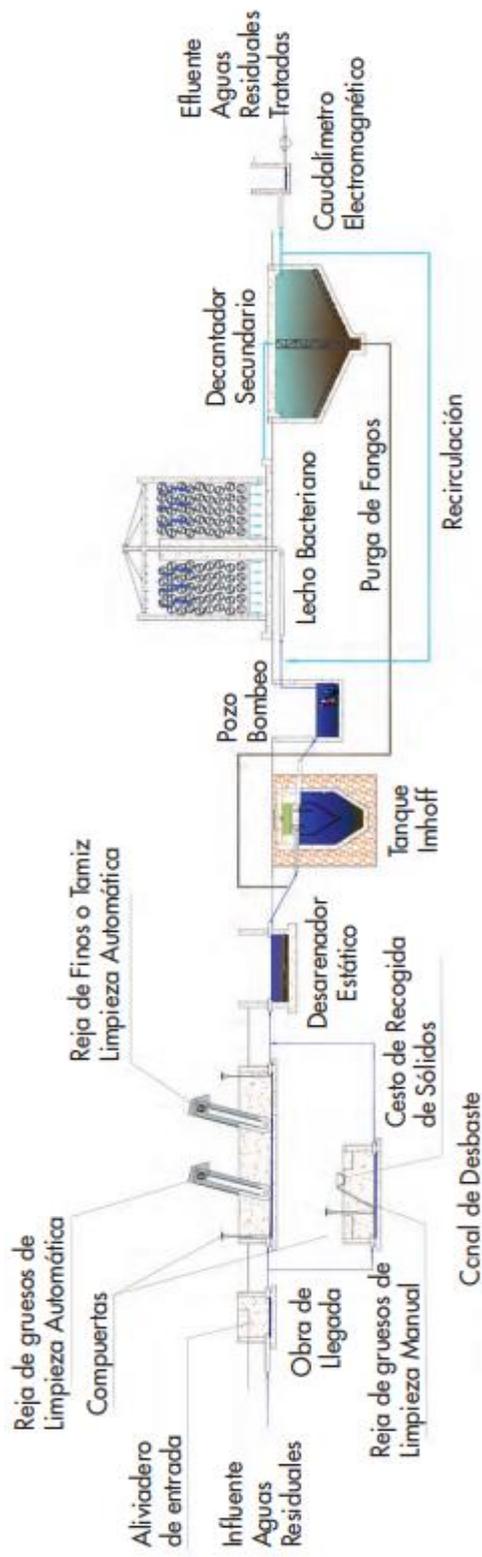


Diagrama de flujo de una instalación de Lecho Bacteriano (1,000-2.000 h-e)

