FICHA TÉCNICA

Tecnología:	Tanque séptico

1. **Descripción:** El tanque o fosa séptica es uno de los más antiguos dispositivos de tratamiento primario, aplicada en el saneamiento rural (pequeños núcleos de población) o saneamiento individual, no suele superar poblaciones servidas de 200 habitantes o hasta 350 habitantes, que no cuentan con servicio de alcantarillado, generalmente se encuentran retiradas o aisladas. Se construye generalmente en forma enterrada, se encuentra diseñado para mantener las aguas negras a una velocidad muy baja y en condiciones anaerobias por un periodo de 1 a 3 días. Consta habitualmente de dos compartimientos; en el primero se produce la sedimentación, digestión y almacenamiento de los sólidos en suspensión del agua residual; los siguientes compartimientos sirven para mejora de la sedimentación y reserva de los fangos que rebosen la primera cámara. Debido a los largos periodos de retención y a la mezcla con los sólidos en descomposición, las aguas negras salen del tanque en una condición séptica que dificulta el tratamiento secundario. El efluente del tanque puede disponerse al terreno por el método subsuperficial, siempre que se tenga superficie suficiente y las condiciones del terreno lo permitan o disponerse sobre fuentes hídricas superficiales cuando el factor de dilución de ésta sea muy alto. (U.S. PHS, 1958; Collado, 1992; Mara, 1996; DSNY, 1998; Ortega, Ferrer, Salas, Aragón, & Real, 2010).

   Como el efluente de los tanques sépticos es anaerobio y contiene probablemente un elevado número de agentes patógenos, que son una fuente potencial de infección, no debe usarse para regar cultivos, ni descargarse a fuentes superficiales sin el permiso de la autoridad sanitaria (CEPIS, 2005).

   La profundidad útil del tanque séptico, dependiendo del volumen útil debe estar entre valores mínimo de 1.2 m y máximo de 2.8 m (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

   Las principales ventajas de los tanques sépticos radican en:

   - Bajos costos de explotación y mantenimiento; fácil y rápida instalación en el caso de unidades prefabricadas; atenuación de los picos de carga contaminante, simplifican la gestión de los fangos, nulo impacto visual y sonoro (Ortega et al., 2010)
   - Mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento si se cuenta con infraestructura de remoción de lodos (CEPIS, 2005).

   En cuanto a los principales inconvenientes de los tanques sépticos, se identifican:

   - Efluentes sépticos que requieren tratamientos complementarios en la mayoría de las ocasiones e impactos olfativos (Ortega et al., 2010).
   - Uso limitado de población servida, limitaciones frente a la capacidad de infiltración del terreno que permita disponer adecuadamente los efluentes en el suelo, requiere facilidades para la remoción de lodos (bombas, camiones con bombas de vacío, etc.) (CEPIS, 2005)

2. **Eficiencias de remoción:**

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES TANQUE SÉPTICO (%)								
DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	BACTE -RIAS	VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMIN-TOS
30 - 50 C	28 - 56 G	50 - 70 C		15 C	5 - 50 * A	50 * A		
35 - 70 B		48 - 85 G		15 D	**			
17 - 60 G		50 - 60 H	0 - 57 G	0 - 75 G	10 - 90 G			
20 - 30 H	20 - 30 I	50 - 70 I						

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES TANQUE SÉPTICO (%)								
DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	BACTE -RIAS	VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMIN-TOS
60 [I]								
30 - 35 [F]	25 - 35	55 - 65	< 30	< 35	< 1***			

* Efluente del tanque anaerobio, sin considerar infiltración en el suelo

** Según U.S. EPA, (1980), las concentraciones de bacterias en el efluente no cambian significativamente, por lo que los tanques sépticos no pueden ser invocados para eliminar bacterias causantes de enfermedad.

*** FC Log Units

[A]. Feachem et al. (1978) citado por Ortiz (1998). [B].de Lemos (2007). [C]. Romero (2004). [D]. U.S. EPA, (1980). [E]. Centa (2008). [G]. Collado (1994). [H]. Ortega et al. (2010). [I]. Kiefer (2009). [F]. Von Sperling (2007)

3. Características de la tecnología:

3.1. Flexibilidad o Robustez para recibir altas cargas contaminantes: Los tanques sépticos de viviendas unifamiliares manejan flujos muy variables (es decir, aproximadamente el 45% del flujo total del hogar se produce en el pico cuatro horas) (U.S. EPA, 1980). Las fosas sépticas tienen buena capacidad de adaptación ante puntas de contaminación, sobrecargas hidráulicas y orgánicas, debido a los altos tiempos de retención y a las bajas velocidades ascensionales el rendimiento del proceso no se ve afectado significativamente (Ortega et al., 2010).

3.2. Requerimientos de O&M: Una de las principales ventajas de la fosa séptica es que no tiene movimiento de partes, necesitando muy poco mantenimiento de rutina. los tanques sépticos se deben inspeccionar por lo menos anualmente, limpiándolos cuando sea necesario (DSNY, 1998),en intervalos no superiores a 2 años hasta determinar las tasas de escoria y acumulación de lodos. Si los programas de inspección no se llevan a cabo, la frecuencia de la bomba es razonable cada 3 a 5 años, sin embargo, se requiere ajustar ésta frecuencia inspección. El tanque séptico no debe ser desinfectado ni lavado (EPA, 1980).

El desenlode se debe realizar con un intervalo de 1 a 2 años, pero no mayor a 3 años. (Mara, 1996)

En un tanque séptico es simple la explotación y mantenimiento con una baja necesidad de personal, así como, de duración y frecuencia del control (Collado, 1992).

En cuanto a las frecuencias recomendadas para las visitas a las estaciones o sitios de tratamiento, se recomienda 1 vez por semana en poblaciones servidas entre 50 y 200 habitantes. Igualmente, manifiestan que la operación y mantenimiento de los tanques sépticos se limitan a inspecciones rutinarias, limpieza de la reja de desbaste, evacuación de los residuos del pretratamiento, extracción periódica de fangos y flotantes, y al mantenimiento de la obra civil, por lo que carecen de complejidad y pueden ser ejecutadas por personal sin cualificación específica (Ortega et al., 2010)

3.3. Requerimientos de energía eléctrica: Si el agua residual llega hasta la estación de tratamiento por gravedad, las Fosas Sépticas no precisan de ningún consumo energético para su funcionamiento, al carecer de equipos electromecánicos (Ortega et al., 2010). En cuanto al mantenimiento puede requerirse bombeo periódico de sólidos o lodos.

3.4. Aspectos socioambientales: Entre los que se identifican:

- Producción de gases por la digestión anaerobia como metano y sulfuro de hidrógeno (EPA, 1980). Se aclara que en tanques pequeños la producción de éste tipo de gases es baja.
- Problemas frecuentes por generación de olores y altos riesgos para la salud (Collado, 1992).
- Los pozos sépticos enterrados tienen un impacto visual nulo, tampoco registran ningún impacto sonoro al no ser preciso para su operación la utilización de elementos electromagnéticos (Ortega et al., 2010).

- No se identifican molestias por insectos (atípicos) (Collado, 1992)
- En el caso de deficiencias constructivas, o por deterioro de la instalación, se pueden presentar filtraciones en las fosas, que pueden llegar a contaminar aguas subterráneas (Ortega et al., 2010).

3.5. Limitaciones:

- Uso limitado máximo de 350 habitantes (CEPIS, 2005)
- Capacidad de infiltración del suelo para la disposición de efluentes en el suelo (CEPIS, 2005)
- Requiere que el sitio de excavación tenga un nivel freático bajo (Ortega et al., 2010)
- Deben ubicarse aguas abajo de pozos y fuentes de agua potable cercanos y como mínimo a una distancia de 30 m de los mismos (Ortega et al., 2010)
- Cercanía a viviendas por la generación de olores
- Deben conservarse las siguientes distancias mínimas: 1.50 m distantes de construcciones, límites de terrenos, sumideros y campos de infiltración; 3.0 m distantes de arboles y cualquier punto de redes públicas de abastecimiento de agua; 15.0 m distantes de pozos subterráneos y cuerpos de agua de cualquier naturaleza (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)

FICHA TÉCNICA

Tecnología:	Tanque Imhoff

1. **Descripción:** El tanque Imhoff es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos. Estas unidades de asentamiento y de digestión combinados análogas a las fosas sépticas, excepto que están diseñados específicamente para las plantas de tratamiento de aguas residuales en lugar de casas individuales, comunidades de 5000 habitantes o menos. El tanque imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimentos: Cámara de sedimentación. Cámara de digestión de lodos, área de ventilación y acumulación de natas. El contacto entre las aguas negras y los lodos que se digieren anaerobicamente queda eliminado con los taques imhoff, disminuyendo en tiempo de retención con respecto al tanque séptico. Durante la operación, las aguas residuales fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos escurren por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, interfieran en el proceso de la sedimentación. Los gases y partículas ascendentes, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación. Son unidades compactas de tratamiento que requieren poco mantenimiento, lo que es ideal para pequeñas comunidades. Los tanques imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas; sin embargo, para su uso es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y remoción de arena. Aunque su diseño es simple no son fáciles de construir en hormigón, y la estabilidad del suelo es especialmente importante en tanques Imhoff con bastante profundad. (DSNY, 1998; Ministerio de Desarrollo Económico, 2000; Gray, 2004**;** CEPIS, 2005)

   Las principales ventajas de los Tanques Imhoff a modo de dispositivos de tratamiento, radican en:

   - Contribuyen a la digestión del lodo, mejor que un tanque séptico, produciendo un liquido residual con mejores características,
   - Baja septicidad en efluentes tratados,
   - Bajos costos de explotación y mantenimiento,
   - Fácil y rápida instalación en el caso de unidades prefabricadas,
   - Simplifican la gestión de los lodos; no descargan lodos en el líquido efluente,
   - El tiempo de retención es menor comparado con las lagunas,
   - Nulos impactos visuales y sonoros (CEPIS, 2005; Ortega et al., 2010).
   - Baja necesidad de personal, duración y frecuencia del control (Collado, 1992).

   Entre las desventajas de los Tanques Imhoff se identifican:

   - Sus efluentes requieren tratamientos secundarios,
   - Escasa estabilidad frente a sobrecargas hidráulicas,
   - Impactos olfativos y riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en caso de construcción deficiente. (Ortega et al., 2010).
   - La construcción del tanque Imhoff es complicada en lo que tiene que ver con el movimiento de tierras y en la obra civil (Collado, 1992).
   - Son estructuras profundas (> 6 m); deben tomarse precauciones cuando el nivel freático sea alto, para evitar que el tanque pueda flotar o ser desplazado cuando este vacío (CEPIS, 2005).

2. Eficiencias de remoción:

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES TANQUE IMHOFF (%)								
DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	BACTE-RIAS	VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMIN-TOS
25 - 50 [A]	20 - 30 [D]	45 - 70 [A]			25 - 50 [J]			
35 [B]		65 [B]						
25 - 60 [C]		37 - 82 [C]						
20 - 30 [D]		50 - 60 [D]						
35 - 60 [E]		50 - 70 [F]						
30 - 50 [F]		40 - 60 [G]						
25 - 35 [G]		40 - 50 [H]						
25 - 35 [H]								
25 - 50 [I]								

[A]. Romero (2004). [B]. Centa (2008). [C]. Collado, (1992). [D]. Ortega et al. (2010). [E]. Chernicharo (2007). [F]. Gray (2004). [G]. DSNY (1998). [H]. CEPIS (2005). [I]. Sasse (1998). [J]. Feachem et al. (1980).

3. Características de la tecnología:

3.1. Flexibilidad o Robustez para recibir altas cargas contaminantes: Es una tecnología fiable, siempre que haya sido diseñada de acuerdo a los caudales y cargas máximas que realmente recibirá la instalación, aunque ante situaciones de infradimensionamiento presenta poca flexibilidad para adaptarse a las nuevas condiciones. La zona de decantación (bajos tiempos de retención) frente a sobrecargas hidráulicas y orgánicas es muy limitada (Ortega et al., 2010)

3.2. Requerimientos de O&M: No habiendo partes mecánicas en un tanque Imhoff, debe prestarse atención a lo siguiente: eliminar diariamente grasas, natas y sólidos flotantes del compartimiento de sedimentación; raspar semanalmente la ranura, los lados y fondos inclinados; controlar la nata en la cámara de natas; inspeccionar una vez al mes el nivel al que lleguen los lodos; prevenir la formación de espumas (asociada a la acides de los lodos) (DSNY, 1998).

Las labores de operación y mantenimiento carecen de complejidad y pueden ser ejecutadas por personal sin cualificación especifica. Se recomienda que la frecuencia de visita del operario a la estación de tratamiento sea al menos de una vez par semana, en el caso de las depuradoras menores de 200 habitantes equivalentes; y de dos veces por semana en las instalaciones mayores. El ritmo de acumulación de lodos en la zona de digestión de lodos se controlará semestralmente (Ortega et al., 2010)

Por lo menos una vez al año se debe inspeccionar el interior del tanque; dos veces al año se procederá a la limpieza del tanque, extrayendo lodos y flotantes acumulados. Para la extracción se requiere el empleo de camiones cisterna dotados de dispositivos para la extracción de éstos residuos (Ortega et al., 2010).

Para estimar la frecuencia de retiro de lodos, se deberá tener en cuenta el tiempo requerido para la digestión de lodos que varía con la temperatura, en temperaturas de 15°C el tiempo de digestión es 55 días, en 20°C el tiempo de digestión es 40 días (CEPIS, 2005).

3.3. Requerimientos de energía eléctrica: Ésta tecnología no requiere ningún consumo energético para su funcionamiento. En aquellos casos en que se recurra a la implantación de rejas o tamices de limpieza automática, la potencia requerida es muy baja, del orden de 0,5 kW. (Ortega et al., 2010). En cuanto al mantenimiento requiere bombeo periódico de sólidos o lodos.

3.4. Aspectos socioambientales: Estos impactos son similares a los de tanques sépticos, como se aprecia a continuación:

- La degradación de lodos, desprende biogás, mezcla de metano y dióxido de carbono, responsables de los olores desagradables (Ortega et al., 2010)
- Problemas frecuentes por generación de olores, aun cuando su funcionamiento sea correcto y altos riesgos para la salud (CEPIS, 2005; Collado, 1992).
- Los tanques Imhoff enterrados tienen un impacto visual nulo y no registran ningún impacto sonoro (Ortega et al., 2010).
- No se identifican molestias por insectos (atípicos) (Collado, 1992)
- En el caso de deficiencias constructivas, o por deterioro de la instalación, se pueden presentar filtraciones en las fosas, que pueden llegar a contaminar aguas subterráneas (Ortega et al., 2010).

3.5. Limitaciones:

- Se requiere suelos aptos para la construcción en profundidades superiores a 6 m.
- Requiere que el sitio de excavación tenga un nivel freático bajo (Ortega et al., 2010)
- Deben ubicarse aguas abajo de pozos y fuentes de agua potable cercanos y como mínimo a una distancia de 30 m de los mismos (Ortega et al., 2010)
- Cercanía a viviendas por la generación de olores

FICHA TÉCNICA

Tecnología:	Sedimentador Primario

1. **Descripción:** Se denominan tanques primarios de sedimentación aquellos que reciben aguas residuales crudas, generalmente antes del tratamiento biológico secundario. Estos tanques pueden ser rectangulares o circulares. En el sedimentador primario se logran decantar en el fondo los sólidos orgánicos (sólidos sedimentables y flotantes) que pueden asentarse por acción de la gravedad en periodos de retención de dos a tres horas, que son los usuales en el diseño de este tipo de estructuras. De esta manera, puede considerarse que la materia orgánica biodegradable que sale del sedimentador primario con el caudal, estará fundamentalmente en las formas disuelta y coloidal. Los sólidos flotantes están formados por grasas. ceras, ácidos grasos libres, jabones de calcio y magnesia, aceites minerales y otras sustancias finas no grasas. Todo ello recibe el nombre general de grasas. Los sedimentadores primarios o decantadores disponen de una zona para que se acumulan los flotantes, de donde serán retirados por medios mecánicos o manuales. Esta retirada debe hacerse con frecuencia (Catalán, 1997; Ortiz, 1998; Romero, 2004).

   Las principales ventajas de estos sistemas son:

   - Menor el costo de construcción, especialmente para unidades grandes (DSNY, 1998). Fácil y rápida instalación en el caso de unidades prefabricadas (Ortega et al., 2010).
   - Bajos costos de explotación y mantenimiento (Ortega et al., 2010).
   - Escaso impacto visual al disponerse enterrados casi en su totalidad (Ortega et al., 2010).
   - Escaso impacto sonoro dada la escasa potencia de los equipos electromagnéticos que se implantan (Ortega et al., 2010)

   Entre los inconvenientes o problemas que pueden presentarse en el sedimentador primario, se encuentran:

   - Tan solo permiten alcanzar niveles de tratamiento primario, por lo que sus efluentes precisan de tratamientos complementarios (Ortega et al., 2010).
   - Escasa estabilidad frente a sobrecargas hidráulicas.
   - Acumulación de sólidos flotantes, debido al mal funcionamiento de la rasqueta de recogida o trampa de salida de los flotantes. Si la flotación de la grasa es pobre, conviene una pre-aireación del agua residual (Catalán, 1997)
   - Grandes cantidades de lodos flotantes, debido a que el lodo sedimentado no se extrae a intervalos regulares. Los intervalos varían normalmente de 20 minutos a 2 horas y hasta puede llegar a 24 horas (Catalán, 1997)
   - Perdida de sólidos por los vertederos del efluente que va al digestor. Puede ser debida a varias causas: a que no funcione bien la bomba de lodos o el mecanismo de recogida, que las tuberías no estén limpias, que aumente el caudal de entrada, etc. (Catalán, 1997)
   - La aparición de pH bajo y malos olores, debido a una mala gestión de los lodos, que los lodos sedimentados no se extraen con la frecuencia deseada, desarrollándose por tanto condiciones sépticas, produciendo gases y por tanto grandes aglomeraciones flotantes. Este lodo es generalmente maloliente y de bajo pH. Las condiciones sépticas mejoran por recirculación al tanque de sedimentación (Catalán, 1997; Ortega et al., 2010)
   - Estos tanques requieren mayor tiempo y competencia que el tanque Imhoff, debido a que hay que poner más atención en la operación y en el cuidado y mantenimiento de la infraestructura (DSNY, 1998)

2. Eficiencias de remoción:

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES SEDIMENTADOR PRIMARIO (%)																	
DBO (mg/l)		DQO (mg/l)		SS (mg/l)		N (mg/l)		P (mg/l)		BACTE-RIAS		VIRUS		PROTO-ZOARIOS		HELMIN-TOS	
30 - 50	D	25 - 35	E	50 - 70	F	< 30	E	< 35	E	10	F	0 - 30	A	*	B	10 - 50 **	D
30 - 35	E	30 - 40	B	55 - 65	E	10 - 20	B	10 - 20	B	50 - 90	A	24.1 -33.5*-**	F			50***	D
25 - 40	F	30 - 40	H	60 - 65	I	10 - 20	H	10 - 20	H	*	B	56 – 73*-***	F			30 - 50****	D
30 - 35	I			50 - 65	B							57 – 74.7*-****	F			50 - 90*-*	D
30 - 40	B			50 - 70	C							*	B			*	B
35 - 40	C			40 - 60	D												
25 - 35	D			50 - 70	H												
25 - 40	H			50 - 70	J												
25 - 40	J																

* Despreciable
** Porcentaje de remoción de Entamoeba Histolytica
*** Porcentaje de remoción de Huevos de Nemátodos
**** Porcentaje de remoción de Huevos de Ascaris
**-* Porcentaje de remoción de Huevos de Tenia
*-** Eliminación de virus entéricos de acuerdo a la variación estacionaria. Temporada de lluvias (Junio – Julio)
*-*** Eliminación de virus entéricos de acuerdo a la variación estacionaria. Otoño (Septiembre – Noviembre)
*-**** Eliminación de virus entéricos de acuerdo a la variación estacionaria. Verano (Marzo – Junio)
[A]. Feachem et al. (1978) citado por Ortiz (1998). [B]. Ministerio de Desarrollo Económico (2000). [C]. Romero (2004). [D]. (DSNY, 1998). [E]. (Von Sperling, 2007). [F]. (Gray, 2004). [H]. Tchobanoglous, Burton, & Stensel (2002). [I]. Ortega et al. (2010). [J]. Crites & Tchobanoglous (1998).

3. Características de la tecnología:

3.1. Flexibilidad o Robustez para recibir altas cargas contaminantes: Es una tecnología fiable, siempre que haya sido diseñada de acuerdo a los caudales y cargas máximas que realmente recibirá la instalación, aunque ante situaciones de infradimensionamiento presenta poca flexibilidad para adaptarse a las nuevas condiciones. La etapa de decantación requiere un dimensionamiento acorde a los caudales punta diarios que pueda recibir la instalación, porque ante una situación de sobrecarga hidráulica el rendimiento se verá afectado, al producirse el escape de sólidos en los efluentes. Dados los bajos tiempos de retención con los que trabaja, la capacidad de estos elementos para hacer frente a sobrecargas hidráulicas y orgánicas es muy limitada. No se adapta bien a incrementos poblacionales estacionales (Ortega et al., 2010).

3.2. Requerimientos de O&M: Un tanque de desenlode manual debe desocuparse en periodos de flujo mínimo y dejarse fuera de servicio por lo menos una hora antes de su desenlode para permitir la sedimentación del lodo. El sobrenadante se extrae, mediante una válvula telescópica o un brazo flotante de extracción, hasta dejar solo el lodo en el tanque, sin alterarlo. El proceso debe hacerse, por lo menos, una vez a la semana en tanques de sedimentación primaria de limpieza manual. En tanques de limpieza mecánica de lodos el desenlode se hace con frecuencias muy variables, generalmente una· vez al día o cada dos días; sin embargo, en muchos tanques la barredora de lodos funciona en forma continua y se extraen lodos permanentemente (Romero, 2004).

En la mayoría de las plantas los mecanismos colectores se hacen funcionar durante 2 o hasta 8 horas al día, según el tamaño de la planta y la cantidad de lodos que se acumulen. Los lodos deben descargarse del tanque cuando menos una vez al día. Si se mantiene una capa de lodos de 30 a 45 cm, en la tolva de lodos y se bombean cantidades cortas a intervalos frecuentes y a baja velocidad, será más fácil lograr una alta concentración de sólidos en los lodos. La bomba de lodos debe tener un muestreador, para que se tenga una guía de la operación. Las natas y las grasas deben eliminarse diariamente de la superficie del tanque (DSNY, 1998).

El mantenimiento electromecánico requiere un personal con una cierta cualificación técnica. En cuanto a los elementos de limpieza automática de la etapa del retratamiento (desbaste y desarenado), requieren el

mantenimiento de sus mecanismos de accionamiento, siguiendo las pautas y frecuencias recomendadas por los fabricantes de estos equipos. la extracción de los fangos decantados suele hacerse par bombeo (Ortega et al., 2010).

3.3. Requerimientos de energía eléctrica: obedece a elementos electromecánicos para la limpieza del pretratamiento y para la extracción de lodos.

3.4. Aspectos socioambientales:

- 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 (Ortega et al., 2010).
- 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 (Ortega et al., 2010).
- Si no se extraen, con la periodicidad apropiada, los flotantes y los fangos pueden generarse olores desagradables, al comenzar la degradación vía anaeróbica de los mismos (Ortega et al., 2010).
- Como en el resto de los tratamientos, en el coso de deficiencias constructivas se pueden dar filtraciones en los decantadores, que pueden llegar a contaminar a las aguas subterráneas (Ortega et al., 2010).

3.5. Limitaciones:

- Su campo de aplicación se encuentra generalmente por encima de los 500 habitantes equivalentes (Ortega et al., 2010)
- Se reducen los rendimientos de los decantadores primarios para temperaturas por debajo de 20 °C (Ortega et al., 2010)
- Se recomienda un rango de profundidades entre 2 y 5 m para tanques rectangulares, en casos de tanques circulares de 2.5 a 4 m (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)

FICHA TÉCNICA

Tecnología:	Filtro intermitente de arena

1. **Descripción:** Los filtros son unidades de tratamiento físico y biológico que se han utilizado desde hace muchos años en el manejo de aguas residuales. Entre los filtros empleados en el tratamiento de aguas residuales se cuenta con: 1) filtros percoladores convencionales y de tasa alta; 2) filtros de tasa alta con medio granular y poroso, usados en la filtración de efluentes tratados; y 3) filtros de tasa baja con medio granular y poroso. Los filtros de tasa baja son mayormente usados en el tratamiento de aguas residuales provenientes de viviendas aisladas, y de otras instalaciones de pequeños sistemas descentralizados de tratamiento; los filtros de tasa baja de mayor uso son: 1) filtros intermitentes de arena; y 2) filtros de medio granular con recirculación (Crites & Tchobanoglous, 1998).

   Los filtros intermitentes de arena son lechos precisamente de arena poco profundos (de 600 a 760 mm) provistos de un sistema de distribución superficial y un sistema de drenaje inferior; algunos sistemas se diseñan sin drenaje de fondo, por lo que el efluente tratado se infiltra directamente en el suelo ubicado bajo la arena. En un filtro intermitente de arena, el tratamiento del agua residual se produce mediante transformaciones físicas, químicas y biológicas. La eliminación de los sólidos suspendidos se lleva a cabo, principalmente, por arrastre mecánico debido a choques aleatorios, y por sedimentación. Dado que las bacterias forman colonias entre los granos de arena, la auto-filtración provocada por el crecimiento bacteriano favorece aún más la eliminación de sólidos suspendidos. La eliminación de la DBO_5 y la conversión de amoniaco en nitratos (nitrificación) se produce por la acción de los microrganismos presentes en el lecho de arena bajo condiciones aerobias. La conversión de los nitratos en gas nitrógeno (desnitrifación) se produce de forma rutinaria dando lugar a una importante liberación de nitrógeno (hasta el 45%). La desnitrificación se produce por la acción de bacterias anaerobias que coexisten en microambientes anaerobios que se desarrollan dentro del lecho de arena. Ciertos constituyentes específicos se eliminan por sorción (física y química). Rich (1980) manifiesta que el fósforo, es inicialmente removido por el filtro como resultado del intercambio iónico; sin embargo, con el tiempo menos fósforo es removido hasta el punto que la concentración de fósforo en el efluente es casi la misma del afluente (U.S. EPA, 1980; U.S. EPA, 1999; Metcalf & Eddy, 2003).

   Estos filtros pueden ser utilizados en sitios con suelos con inadecuada permeabilidad y nivel freático alto (EPA, 1999). Las principales aplicaciones de estos filtros intermitentes son: tratamiento de efluentes de tanques sépticos, pulimento y nitrificación de efluentes de sistemas secundarios de tratamiento, y tratamiento de efluentes de sistemas con lagunas. El uso de filtros intermitentes de arena como unidades de tratamiento de aguas residuales, que serán utilizadas como agua de riego sin que hayan sido sometidas a desinfección con cloro, es otra de las aplicaciones reportadas en la literatura (Hathaway & Mitchell, 1984; Scherer & Mitchell, 1982; y Mote et al., 1991; todos citados por Crites & Tchobanoglous, 1998).

   Entre las principales ventajas que tienen los filtros intermitentes de arena, podemos encontrar:

   - Bajos requerimientos de O&M,
   - Produce un efluente de alta calidad especialmente en términos de DBO y SST,
   - El nitrógeno puede transformarse completamente a nitrato si se mantienen las condiciones aerobias,
   - No se requiere el empleo de químicos y la capacidad de tratamiento puede expandirse a través de diseños modulares (EPA, 1999; Massoud et al., 2009).

   Entre las desventajas y/o limitaciones que tienen los filtros intermitentes de arena, se encuentran:

   - El requerimiento de terreno se puede constituir en un factor limitante,
   - Potencial colmatación del medio filtrante,
   - Precisa labores regulares de mantenimiento,
   - Requiere energía eléctrica principalmente para el mecanismo de dosificación,

- Puede ser sensible a temperaturas extremadamente frías,
- Los costos pueden incrementar si no se dispone localmente del medio filtrante (EPA, 1999; Massoud et al., 2009).

2. Eficiencias de remoción:

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES FILTRO INTERMITENTE DE ARENA (%)									
DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	BACTERIAS	VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMIN-TOS
80 - 99 G	75 - 90 B	85 - 95 B	65 - 95 B	75 - 99 B	98 - 99,9 G	97,2 - 99,9 K	99 - 100 U	99 - 100 U
90 - 99 Q	70 - 90 G	40 - 99 G	25 - 90 G	20 - 80 G	99,9 K	> 99 R		
> 96 T		68 - 94 T	55 - 77 Q	80 N	99,9 N	100 S		
97 V		88 V	42 V		99.5 V			

B. Ortega de Ferrer et al. (2011); Tchobanoglous et al. (2003); Comas et al. (2004), citados por Molinos-Senante et al. (2012). G. Seoánez (1999). K. Vanlandingham & Gross (1998) citado por Healy et al. (2007). N. US EPA (1999). Q. Crites & Tchobanoglous (1998). R. Cánepa (1998). S. Rivas & Ramírez (2003). T. US EPA (2002). U. Feachem et al. (1983). V. Salvato (1955) citado por Kiefer (2009).

3. Características de la tecnología:

3.1. Flexibilidad o Robustez para recibir altas cargas contaminantes: El desempeño del filtro intermitente depende del control que se realice de la materia orgánica adicionada en cada dosis y el caudal empleado para el diseño, para lo cual se recomienda adoptar un adoptar un aporte percápita basado en el caudal pico (Crites & Tchobanoglous, 1998).

El sistema depende de una adecuada operación y mantenimiento, no deben permitirse estancamientos sobre los lechos, por que con esto se produce una acción séptica, olores molestos y un efluente de baja calidad (DSNY, 1998). Dado que los filtros cuentan con cámaras de dosificación, que permiten su alimentación intermitente, y que el volumen de estas cámaras es del orden de 1,0 - 1,5 veces el caudal diario tratado de aguas residuales, esta tecnología de tratamiento cuenta con cierta capacidad para hacer frente a las oscilaciones de caudal y contaminación propias de las pequeñas aglomeraciones, la que permite una alimentación más uniforme en el tiempo a los filtros. Además, la propia etapa de tratamiento primario, en el caso de las fosas sépticas, también permite una cierta amortiguación de las puntas de contaminación (Ortega et al., 2010).

3.2. Requerimientos de O&M: Un sistema con filtro intermitente de arena requiere algunas labores de operación y mantenimiento, entre las cuales es de rutina la revisión periódica de los diferentes contadores y medidores. La altura de descarga en los orificios se debe evaluar anualmente, y la tubería de distribución se debe lavar también cada año (Crites & Tchobanoglous, 1998). Se requiere la evacuación de los residuos generados en las rejas de desbaste y desarenadores, comprobación del correcto funcionamiento del sifón o bombeo para la alimentación intermitente, control del adecuado reparto de las aguas a tratar sobre el sustrato filtrante, revisión de la recirculación (en su caso), rastrillado de la superficie de los filtros, purga periódica de fangos generados en el tratamiento primario y mantenimiento de la obra civil. La implantación de desbastes automáticos y de bombeos, para lograr la alimentación intermitente y la recirculación, hacen precisa la presencia de un personal de mantenimiento con cierta cualificación técnica. (Ortega et al., 2010).

3.3. Requerimientos de energía eléctrica: generalmente requiere un sistema de dosificación de caudal (Pulsos) para la operación del filtro intermitente. Si la topografía es la adecuada los filtros intermitentes pueden operar sin ningún consumo energético. En caso contrario, será necesario recurrir a alimentación intermitente mediante bombeo, comandado par sondas de nivel o temporización. En esta situación, los

equipos de bombeo serán de reducida potencia (del orden de 1 kW), dado que no se precisa elevar el agua a una gran altura y que los caudales a transportar son pequeños. En el caso de recirculación de aguas tratadas, se precisan bombas de 1 a 2 kW. Para la implantación de rejas de desbaste automáticas, la potencia necesaria para el funcionamiento de los mecanismos de limpieza es del orden de 0,5 kW (Ortega et al., 2010).

3.4. Aspectos socioambientales:

- Al encontrarse asociados a sistemas primarios presenta problemas de olores y altos riesgos para la salud (Collado, 1992)
- Si la intermitencia a la alimentación de los filtros se logra mediante la implantación de sifones, la instalación no precisa de equipos electromecánicos para su operación, por lo que los impactos sonoros son nulos (Ortega et al., 2010).
- Si por la topografía del lugar se requiere bombeo de efluentes del tratamiento primario, o en caso de los filtros con recirculación, dada la escasa potencia del bombeo que se precisa, los impactos sonoros son muy reducidos (Ortega et al., 2010)
- No se identifican molestias por vectores o insectos (atípicos) (Collado, 1992)
- Los impactos visuales son mínimos al construirse generalmente los filtros por excavación en el terreno (Ortega et al., 2010).

3.5. Limitaciones:

- Temperatura del medio filtrante superior a 15 °C (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000), no es recomendable que baje de 5 °C (Ortega et al., 2010)
- Requiere grandes superficies de terreno entre 1 y 9 m^2 / hab, limitantes ante la adquisición de terrenos (Collado, 1992)
- Se requieren terrenos fáciles de excavar, de naturaleza impermeable y con el nivel freático bajo (Collado, 1992)
- Disponibilidad del terreno con pendientes moderadas, para facilitar la implantación de sifones para lograr la alimentación intermitente a los filtros (Collado, 1992).

FICHA TÉCNICA

Tecnología:	Filtro Verde

1. **Descripción:** Filtro Verde es una tecnología de bajo costo y explotación que aprovecha la capacidad física, química y biológica del suelo para depurar las aguas residuales (López & Germán, 1998). Capacidad física – filtración según granulometría: Suelo Arcilloso (diámetro partículas<1/16mm) capacidad lenta y efectiva; Suelo de Grava (tamaño de Grano>2mm) capacidad rápida y poco efectiva; Suelo Franco capacidad intermedia. Capacidad química: asimilación de sustancias químicas como nutrientes, por plantas como chopos, carrizos, juncos... (Collado Lara, 1991). Capacidad biológica: metabolización por microrganismos de la materia orgánica; se admite que los microrganismos del suelo y de las raíces de las plantas pueden llegar a eliminar hasta un 85% de la materia orgánica que aquel reciba; por otra parte, la vegetación clorofílica asimila, siempre que la carga de aguas residuales se mantenga dentro de ciertos límites, los compuestos nitrogenados, fosfóricos y potásicos que contengan (Padró Simarro, 1996).

   Es el tratamiento más antiguo y mayormente usado para tratar las aguas residuales en el suelo. Los nutrientes y el agua residual contribuyen al crecimiento de una amplia variedad de cultivos, igualmente a la conservación de parques, pastizales y bosques. Este tipo de sistemas tiene la posibilidad de producir un efluente percolado de muy buena calidad pero demanda las más grandes extensiones de terreno en comparación con otras tecnologías de tratamiento en suelos (EPA, 2002). El ámbito de aplicación de los filtros verdes, es como soluciones temporales.

   Comprenden una amplia variedad de tratamientos, desde el riego de aguas residuales en laderas hasta el riego de cultivos, y desde el riego de bosques hasta la irrigación de campos de golf. Los objetivos de diseño incluyen el tratamiento de aguas residuales, su reutilización, el reciclaje de nutrientes, la preservación de espacios abiertos y la producción agrícola. Los sistemas de tasa lenta se pueden clasificar en Tipo 1 (infiltración lenta) o Tipo 2 (riego de cultivos) dependiendo del objetivo de diseño. Para sistemas Tipo 1, el área del terreno se calcula con base en el factor limitante de diseño, que bien puede ser la permeabilidad del suelo o bien la carga de nitrógeno máxima permisible. Los sistemas Tipo 2 se diseñan para aplicar la cantidad suficiente de agua que requiere el cultivo; el área de terreno en este tipo de sistemas depende de los requerimientos de agua de la vegetación y no de la permeabilidad del suelo o de las necesidades de tratamiento del agua residual (Crities et al., 2004).

   A continuación se listan algunas de las ventajas que ofrecen los filtros verdes como tecnologías de tratamiento de aguas residuales:

   - Es una tecnología ecológica y económica (López & Germán, 1998; Crites et al, 2004). No obstante, sino se dispone del terreno necesario, el costo de esta tecnología por cuenta de la adquisición de predios puede aumentar ostensiblemente, en cuyo caso pasaría a convertirse en una limitación de la tecnología (Romero, 2004).
   - No requiere personal especializado o con conocimientos técnicos avanzados para el control y la operación (Crites & Tchobanoglous, 1998; López & Germán, 1998; EPA 2002; Crites et al, 2004).
   - Facilita la Repoblación Forestal. Produce rentabilidad maderera. Se puede aprovechar terreno no cultivable (López & Germán, 1998).
   - Mínima o nula producción de fangos y lodos (López & Germán, 1998; EPA, 2002).
   - Tiene la posibilidad de recuperar la inversión realizada y generar ganancias si se mercadean los cultivos o las plantaciones forestales empleadas (EPA, 2002).
   - Permite reciclar efluentes y por ende disminuir los costos de captación y tratamiento de agua de riego (Crites & Tchobanoglous, 1998; EPA, 2002).

   Entre las limitaciones que presentan los filtros verdes se encuentran las siguientes:

- Requieren una investigación exhaustiva de la idoneidad y aptitud del sitio antes de la implementación (Crites & Tchobanoglous, 1998; EPA, 2002; Crites et al, 2004)
- No son adecuados para tratar aguas residuales con contaminantes tóxicos o nocivos (de origen industrial) que afecten negativamente la matriz vegetación-suelo (López & Germán, 1998).
- Existe el riesgo de contaminación de acuíferos (López & Germán, 1998; EPA, 2002).
- Demanda importantes áreas de terreno (López & Germán, 1998; EPA, 2002; Crites et al, 2004).
- Dados los grandes requerimientos de terreno, esta tecnología no es factible de aplicar en áreas urbanas y suburbanas (EPA, 2002).
- Existe la probabilidad de supervivencia y transmisión de patógenos, cuando se utilice vegetación para consumo humano o de ganado (López & Germán, 1998).
- No se pueden emplear si existen en la cercanía pozos de extracción de agua subterránea o captaciones de agua pendiente abajo (López & Germán, 1998).
- No es posible utilizar la tecnología cuando el nivel freático se encuentra a menos de 1,2m de la superficie (López & Germán, 1998).

2. Eficiencias de remoción:

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES
FILTRO VERDE (%)

DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	BACTERIAS	VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMIN-TOS
90 - 99 [A]	75 - 85 [A]	95 - 98 [A]	85 - 90 [A]	90 [A]	90 - 99 [A]	100 [I]		100 [I]
96 [B]	90 - 95 [C]	99 [B]	30 - 50 [B]	99 [B]	99 [D]			
90 - 95 [C]	85 - 95 [G]	95 - 99 [C]	90 - 95 [C]	85 - 90 [C]	99 [F]			
95 [D]		> 93 [G]	67 - 94 [D]	95 - 99	99.99 [H]			
> 98 [E]		90 - 99 [H]	67 - 84 [E]	44 - 99 [E]	99 - 100 [I]			
90 [G]			> 75 [G]	> 85 [G]				
90 - 99 [H]								

[A]. Collado, (1992). [B]. Catalán, (1997). [C]. Centa, (2008). [D]. Water Environment Federation, (2010). [E]. EPA, (1984). [F]. Crites & Tchobanoglous, (1998). [G]. Von Sperling (2007). [H]. Bitton (1994); Brix (1994); US EPA (2002), citados por Massoud et al. (2009). [I]. Feachem et al. (1978) citado por Ortiz (1998).

3. Características de la tecnología:

3.1. Flexibilidad o Robustez para recibir altas cargas contaminantes: Depende de la capacidad asimilativa del suelo, la cual se determina estudiando las reacciones físicas, químicas y biológicas que se realizan en el suelo dentro del conocimiento, fundamentos técnicos de los filtros verdes y de una experiencia de campo. Para determinar la capacidad asimilativa del suelo se deberá conocer, en relación con la zona: Condiciones climáticas, Topografía, Geología, Hidrogeóloga, Condiciones edafológicas y propiedades de los horizontes críticos de los suelos como pH, materia orgánica, capacidad catiónica de cambio, permeabilidad, capacidad de adsorción del fósforo. Vegetación real y potencial; son importantes las condiciones climáticas porque afectan el balance del agua. Una precipitación elevada diluye el vertido y aumenta el volumen de líquido disponible, pudiendo llegar a cantidades que hagan imposible la depuración. Las bajas temperaturas limitan la actividad biológica de los microorganismos que efectúan la depuración, por lo que el sistema no puede operar bien. (Catalán, 1997)

3.2. Requerimientos de O&M: La formación teórica y práctica de operadores es importantísima para tener la seguridad de un correcto funcionamiento de un filtro verde. El control de funcionamiento del sistema de filtros verdes no es tarea fácil, ya que en el mismo se realiza un cambia en el sistema suelo-planta-agua que disminuye la facultad del suelo para actuar como sistema de tratamiento. Para comparar los cambios

químicos que sufre el suelo, se suele seleccionar un área de control, esto es, un terreno en el cual se tiene un suelo con propiedades similares al suelo que recibe las aguas residuales, que no las ha recibido anteriormente. Se deben describir parámetros como: caudal calculado, operaciones realizadas y características de las aguas residuales, así como los parámetros limitantes del suelo (Catalán, 1997).

3.3. Requerimientos de energía eléctrica: Dependiendo de la topografía del terreno, se probable requerir de sistemas de bombeo que permita el riego o dispersión de los efluentes.

3.4. Aspectos socioambientales:

- Defectos en el diseño pueden producir malos olores, acumulación de metales pesados y otros elementos químicos, colmatando el suelo, efectos de la temperatura sobre la flora (Catalán, 1997)
- El destino de las aguas residuales durante el periodo invernal se puede convertir en un problema ambiental si no se maneja de forma adecuada (Catalán, 1997)
- En la operación de los filtros verdes no hay peligro para la salud de los operarios. No obstante, se identifica el peligro sanitario en el consumo en crudo de los productos vegetales obtenidos con el riego por medio de las aguas residuales (Catalán, 1997)
- Cualquier área en la cual la evaporación supera la precipitación pluviométrica, provocará un aumento de salinidad en el suelo, siendo mayor este problema, como es 1ógico, en los suelos de baja permeabilidad, reduciendo e incluso evitando este inconveniente, aplicando un exceso de agua para tratar de lixiviar las sales acumuladas en los horizontes superiores. (Catalán, 1997).
- Riesgo de posible contaminación de las aguas subterráneas y de la disminución de la capacidad de los suelos, en su doble función de infiltración y depuración de las aguas usadas. (Catalán, 1997)

3.5. Limitaciones:

- Requiere grandes superficies de terreno entre 12 y 110 m^2 / hab, limitantes ante la adquisición de terrenos (Collado, 1992)
- Depende de las características químicas (intercambio iónico o cambio de bases, pH, salinidad), físicas del suelo (Estructura del suelo, porosidad de un suelo, conductividad hidráulica o permeabilidad, oxígeno en el suelo, temperatura). El terreno debe ser capaz de recibir, depurar y evacuar las aguas residuales a depurar,
- Se necesita un subsuelo arenoso, con muy poca arcilla en su composición. A una profundidad de 1.10 m a 1.60 m se debe instalar un red de drenaje que permita recoger el agua depurada y airear la parte inferior del terreno (Catalán, 1997).

FICHA TÉCNICA

Tecnología:	Zanjas Filtrantes

1. **Descripción:** Las zanjas filtrantes o de infiltración, consisten en un conjunto de líneas de tubería de 10 cm de diámetro (4") tendidas en tal forma que el efluente de tanque séptico se distribuya con una uniformidad razonable en el suelo natural. Los tubos pueden ser perforados o de junta abierta. De preferencia, las líneas laterales de tubería no deben exceder de 18m de longitud, con una longitud máxima permisible de 30m; la pendiente de las zanjas y de las líneas de distribución se prefieren entre 1,5 y 3%, prácticamente niveladas. La distancia entre las líneas de tubos puede variar entre 1,8 y 2,4m (Romero, 2004).

   Las zanjas de infiltración son por lo general poco profundas, con excavaciones que varían en profundidad de 0.3 a 1.5 m y en ancho de 0.3 a 0.9 m. El fondo de la zanja se llena de rocas lavadas hasta conformar un lecho de 150 mm, como medio de drenaje. A continuación se ubica un tubo de distribución perforado de 100 mm (4”) de diámetro en el centro de la zanja. Rocas de drenaje adicionales se ubican sobre la superficie de la tubería de distribución, seguido de una capa de material de barrera, usualmente papel o geotextil. El propósito de este material de barrera es prevenir la migración de finos, que conforman la cobertura superficial de relleno, hacia el lecho de rocas e impedir, de esta forma, el taponamiento del drenaje por partículas de arcilla o cieno (Crites & Tchobanoglous, 1998).

   Las superficies de infiltración en una zanja de infiltración son el fondo y las paredes laterales. Sin embargo, a medida que se desarrolla una capa gruesa de sólidos biológicos o biopelícula, la infiltración a través del fondo de la zanja disminuye y las paredes laterales se vuelven más eficientes. A largo plazo, el flujo de agua se realiza a través del fondo y las paredes laterales de la zanja.

   Las principales ventajas de las Zanjas Filtrantes radican en:

   - Bajo costo de explotación y mantenimiento,
   - Consumo energético nulo y
   - Ausencia de averías electromecánicas (Hernández, Hernández Lehmann, & Galán, 2004)

   Este tipo de tecnologías presentan las siguientes desventajas:

   - Elevados requisitos de superficie,
   - Su posible aplicación viene condicionada por las características del terreno disponible (principalmente por su capacidad de infiltración y por la posible existencia de acuíferos someros) y por la pluviometría de la zona (Ortega et al., 2010).

2. **Eficiencias de remoción:**

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES ZANJAS FILTRANTES (%)									
DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	BACTERIAS	VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMIN-TOS
90 - 98 A	65 - 90 B	50 - 90 B	10 - 40 A	85 - 95 A	99-99.99 A	100 c		100 c
90 - 98 B			25 - 99 B	80 - 99 B	99 - 100 C			
90 - 98 D			45 - 55 D	85 - 95 D	99-99.99 D			

A. Water Environment Federation (2010). B. Collado (1992). C. Feachem et al. (1978) citado por Ortiz (1998). D.U.S. EPA (1992).

3. Características de la tecnología:

3.1. Flexibilidad o Robustez para recibir altas cargas contaminantes: Si las cargas hidráulicas son mayores que la velocidad a la que el agua puede drenar a través del suelo, el agua puede fluir lateralmente y superar la carga del contorno del lugar que conduce a la filtración de superficie pendiente hacia abajo (inundando los poros del suelo). Esta situación puede crear consecuencias adversas como: el tiempo de retención de las aguas residuales de filtración se reduce, lo cual puede limitar el alcance del tratamiento; reduce el gradiente hidráulico a través de la superficie infiltrante, así como la aireación del suelo, propiciando que materiales de desecho y biomasa se acumulen en el suelo, obstruyendo con ello la superficie de infiltración (Water Environment Federation, 2010).

3.2. Requerimientos de O&M: Estos sistemas bien diseñados o construidos, requieren de una baja operación, limitando ése tipo de actividades a las de vigilancia del sistema. La intervención por parte del operación puede ser según sea requerido, sino solo anual**.** Los niveles de encharcamiento en todas las celdas del sistema y las elevaciones de aguas subterráneas en todos los piezómetros deben registrarse mensual. (Water Environment Federation, 2010)

3.3. Requerimientos de energía eléctrica: Consumo energético nulo (Hernández et al., 2004).

3.4. Aspectos socioambientales:

- Riesgo de posible contaminación de las aguas subterráneas y disminución de la capacidad de los suelos
- Los impactos visuales son mínimos al construirse generalmente los filtros por excavación en el terreno
- No se identifican molestias por vectores, ni olores
- No precisa para su operación equipos electromecánicos por lo que los impactos sonoros son nulos

3.5. Limitaciones:

- Las zanjas no pueden tener una longitud superior a 30 m (Hernández et al., 2004)
- La superficie disponible para la infiltración, características de suelo, zonas de saturación, superficie freática subadyacente y cercanía de pozos de agua potable (Water Environment Federation, 2010).
- Disponibilidad del terreno con pendientes moderadas entre 0 y 25%, evitar áreas con depresiones y laderas cóncavas (U.S. EPA, 1980)
- La presencia de acuíferos someros o la cercanía de zonas vulnerables, nivel freático, puede hacer inviable el empleo de ésta tecnología (Ortega et al., 2010).
- Debe existir una profundidad de 0.61 m a 1.2 m de suelo no saturado entre la parte inferior del sistema y el nivel freático alto o estacional (U.S. EPA, 1980)
- No se recomienda su implementación en suelos arcillosos permeables (U.S. EPA, 1980)

FICHA TÉCNICA

Tecnología:	Lechos Filtrantes

1. **Descripción:** Los sistemas más comunes de disposición in situ de aguas residuales son los lechos de infiltración por gravedad. Este tipo de disposición funciona bien en sitios con suelos profundos y permeabilidad relativa, donde se tienen aguas subterráneas profundas y el terreno es relativamente nivelado. Los lechos de infiltración, también denominados camas de infiltración, consisten en un área excavada o en un lecho provisto con tubos de distribución perforadas que se encuentran separados de 0.9 a 1.8m. La ruta para el paso de agua fuera del lecho es a través del fondo. Los lechos de infiltración se pueden utilizar también como cámaras o pozos de infiltración, que crean cavernas subterráneas sobre la superficie de infiltración del suelo y, por tanto, no necesitan de grava o material de barrera (Crites & Tchobanoglous, 1998).

   Los lechos filtrantes son menos anchos (0.9 – 2.0 m) que las zanjas filtrantes, tienen la ventaja de ocupar menor superficie total. La profundidad del lecho puede estar entre 0.50 y 0.70 m, un ancho del lecho > 0.9 m, un largo del lecho inferior a 30 m y separación del fondo al nivel freático > 0.6 o 1.20 m (Collado, 1992).

2. **Eficiencias de remoción:**

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES LECHOS FILTRANTES (%)								
DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	BACTERIAS	VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMIN-TOS
90 - 98 A	90 - 93 B	50 - 90 B	10 - 40 A	85 - 95 A	99-99.99 A	100 C		100 C
90 - 99 B			10 - 90 B	35 - 55 B	99 - 100 C			

A. (Water Environment Federation, 2010). B. Collado (1992). C. Feachem et al. (1978) citado por Ortiz (1998).

3. **Características de la tecnología:**

   3.1. Flexibilidad o Robustez para recibir altas cargas contaminantes (picos de descarga): Grandes cantidades de sólidos sedimentables, grasas y aceites aceleran la obstrucción del suelo.

   La fuerza orgánica de las aguas residuales no ha sido bien correlacionada con la resistencia de la placa de obstrucción, excepto en suelos granulares no se han encontrado residuos de suavizante de agua que sea nocivo para el sistema incluso cuando grandes cantidades de arcilla están presente. Sin embargo, el uso de ablandadores de agua puede añadir una carga hidráulica significativa al sistema de absorción y debe ser tenido en cuenta. El uso normal de otros productos químicos del hogar y detergentes también se ha demostrado que no tienen efectos nocivos sobre el sistema (U.S. EPA, 1980).

   3.2. Requerimientos de O&M: Una vez instalado, un sistema de absorción del suelo subsuperficial requiere poco o ninguna atención, siempre y cuando las aguas residuales vertidas en él estén libres de sólidos sedimentables, grasas, grasas y aceites. Entre las actividades recomendadas para el mantenimiento se encuentran: dejar fuera de servicio por cierto tiempo (descanso) a fin de restaurar la tasa de infiltración; revisión periódica de tuberías y fugas; no usar aditivo especiales como levaduras, bacterias, productos químicos o enzimas; aplicación periódica de agentes oxidantes como peróxido de hidrógeno para restaurar la capacidad de infiltración, la manipulación de estos agentes es muy peligroso, y por lo tanto debe realizarse por personal capacitado (U.S. EPA, 1980).

   3.3. Requerimientos de energía eléctrica: No se requiere consumo energético para su operación.

3.4. Aspectos socioambientales:

- Riesgo de posible contaminación de las aguas subterráneas y disminución de la capacidad de los suelos
- Los impactos visuales son mínimos al construirse generalmente los filtros por excavación en el terreno
- No se identifican molestias por vectores, ni olores
- No precisa para su operación equipos electromecánicos por lo que los impactos sonoros son nulos

3.5. Limitaciones:

- El agua residual que entra en el surco o cama debe ser prácticamente libre de sólidos sedimentables, grasas y aceites (U.S. EPA, 1980).
- La superficie disponible para la infiltración, características de suelo, zonas de saturación, superficie freática subadyacente y cercanía de pozos de agua potable (Water Environment Federation, 2010).
- Disponibilidad del terreno con pendientes moderadas entre 0 y 25%, evitar áreas con depresiones y laderas cóncavas (U.S. EPA, 1980)
- Mantener distancias entre 15 y 30 m de pozos de suministro de agua potable, fuentes hídricas superficiales, de 1.5 a 3 m de límites de propiedades y de 3 a 6 m de cimientos de edificios (U.S. EPA, 1980)
- No se recomienda su implementación en suelos arcillosos permeables (U.S. EPA, 1980)
- Debe existir una profundidad de 0.61 m a 1.2 m de suelo no saturado entre la parte inferior del sistema y el nivel freático alto o estacional (U.S. EPA, 1980)
- Se reduce el potencial de infiltración en regiones de alta pluviosidad (U.S. EPA, 1980)

FICHA TÉCNICA

Tecnología:	Pozos filtrantes

1. **Descripción:** Las cámaras o pozos de infiltración construidas en concreto, son estructuras abiertas en el fondo que remplazan la tubería perforada y el lecho de grava como elementos de distribución y almacenamiento de agua residual. Las cámaras se interconectan para formar una caverna subterránea sobre el suelo. El agua residual se descarga a través de un vertedero central, canal o salpicadero, permitiendo que fluya sobre la superficie de infiltración en cualquier dirección. En la parte superior de las cámaras, los orificios de acceso permiten realizar labores de inspección y mantenimiento de la superficie a medida que sea necesario (Crites & Tchobanoglous, 1998).

   El pozo de infiltración igualmente se define como un hoyo profundo realizado en la tierra para infiltrar el agua residual sedimentada en el tanque séptico (Cepis, 2003). Por lo general, se le considera como un método de disposición menos deseable que el campo de absorción y, desde luego, nunca se debe usar cuando haya probabilidad de contaminación de las aguas freáticas, ni es recomendable cuando se puede establecer un campo de absorción subsuperficial. Cuando se vayan a usar, en substitución de los campos de infiltración, la perforación del pozo ha de terminar a no menos de 1.20 m sobre el nivel de la napa freática. Cuando las circunstancias lo permiten, los pozos de infiltración pueden ser tanto un suplemento como una alternativa de los campos de absorción más someros; cuando se usan esos pozos, en combinación con los campos de infiltración, se deben distribuir equitativamente las superficies de infiltración o bien su alimentación se basa sobre los promedios pesados de los resultados de las pruebas de absorción (US Department of Health, Education, and Welfare, 1961)

   La capacidad de un pozo de infiltración debe calcularse sobre la base de las pruebas de infiltración que se hagan en cada estrato que se penetre verticalmente, usándose el promedio pesado de los resultados para definir la superficie de diseño; no se han de incluir en la superficie de absorción aquellos estratos en que las velocidades de infiltración sean mayores de 60 minutos por cada 5 cm (US Department of Health, Education, and Welfare, 1961)

   Tiene la ventaja de ocupar menor superficie de terreno que los lechos y zanjas, para igual tasa de aplicación. Como parámetros de diseño generales se mencionan: profundidad del pozo entre 3 y 6 m; diámetro del pozo 1.8 a 3.6 m; separación del fondo al nivel freático > 1.2 m y separación entre ejes de pozos > 4 m de diámetro (Collado, 1992).

2. **Eficiencias de remoción:**

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES POZOS FILTRANTES (%)								
DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	BACTERIAS	VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMIN-TOS
90 - 98 A	85 - 95* C	> 93* C	10 - 40 A	85 - 95 A	99-99.99 A	100 B		100 B
90 - 98* C			> 65* C	> 50* C	99 - 100 B			
					4 - 5 **			

* Precedida de tratamiento primario

** FC Log Units

A. Water Environment Federation (2010). B. Feachem et al. (1978) citado por Ortiz (1998). C. Von Sperling (2007)

3. **Características de la tecnología:**

   3.1. Flexibilidad o Robustez para recibir altas cargas contaminantes: Si las cargas hidráulicas son mayores que la velocidad a la que el agua puede drenar a través del suelo, el agua puede fluir lateralmente y superar

la carga del contorno del lugar que conduce a la filtración de superficie pendiente hacia abajo (inundando los poros del suelo). Esta situación puede crear consecuencias adversas como: el tiempo de retención de las aguas residuales de filtración se reduce, lo cual puede limitar el alcance del tratamiento; reduce el gradiente hidráulico a través de la superficie infiltrante, así como la aireación del suelo, propiciando que materiales de desecho y biomasa se acumulen en el suelo, obstruyendo con ello la superficie de infiltración (Water Environment Federation, 2010).

3.2. Requerimientos de O&M: Un pozo de infiltración bien diseñado y construido no requiere mantenimiento de rutina. Sin embargo, ante fallas ocasionalmente el descanso del sistema es la única técnica razonable de rehabilitación disponible (U.S. EPA, 1980).

3.3. Requerimientos de energía eléctrica: No se requiere consumo energético para su operación.

3.4. Aspectos socioambientales:

- Potencial riesgo de contaminación de las aguas subterráneas (Tchobanoglous et al., 2002)
- Los impactos visuales son mínimos al construirse generalmente los filtros por excavación en el terreno
- No se identifican molestias por vectores, ni olores
- No precisa para su operación equipos electromecánicos por lo que los impactos sonoros son nulos

3.5. Limitaciones:

- Los pozos filtrantes se recomiendan implementar cuando el nivel freático es bajo (> 4 m) , se debe mantener una buena separación entre la parte inferior del sistema y el nivel freático, se recomienda una distancia de 1.2 m (U.S. EPA, 1980; Romero, 2004)
- Disponibilidad de grandes profundidades del suelo y estar a una gran distancia de aguas subterráneas (Tchobanoglous et al., 2002)

FICHA TÉCNICA

Tecnología:	Infiltración Rápida

1. **Descripción:** Los sistemas de infiltración rápida poseen la mayor carga hidráulica posible de cualquier sistema de tratamiento en suelo. La infiltración rápida es un proceso de tratamiento en suelo semejante a la infiltración intermitente en filtros de arena. Después del tratamiento preliminar, el agua residual se aplica sobre campos de distribución a nivel, que contienen tierra permeable. El agua residual se trata mediante mecanismos físicos, químicos y biológicos a medida que percola a través de la capa de suelo. La clave para efectuar el tratamiento de aguas residuales mediante sistemas de infiltración rápida es la aplicación intermitente del agua residual sobre la superficie del lecho. La inundación continúa no solo reduce en gran medida la velocidad de percolación con el tiempo, sino que no permite el tratamiento aerobio que normalmente ocurre en el suelo. Para permitir la rotación de los lechos en operación se utilizan fosas múltiples que viabilizan el tiempo de reposo y secado requerido. (Crites & Tchobanoglous, 1998).

   Al trabajar con cargas hidráulicas elevadas, las perdidas por evaporación tan solo suponen una pequeña fracción del agua aplicada, percollando la mayor parte del agua a través del terreno, lográndose en este tránsito la reducción de los contaminantes presentes en las aguas (Centa, 2008).

2. **Eficiencias de remoción:**

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES INFILTRACIÓN RAPIDA (%)								
DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	BACTERIAS	VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMIN-TOS
90 - 95 A	70- 80 A	90- 95 A	30 - 95 A	25 - 40 A	2 - 6 Log** B	99.9 C		100 E
86 - 98 B			10 – 93* B	29 - 99 B	99.9 C	100 E		
75 – 99.9 C			45 - 93 C	29 - 99 C	90 - 99 D			
					99 - 100 E			

* Dependencia fuerte del nivel de tratamiento previo, de la relación DBO/N, del ciclo húmedo/seco y de la carga hidráulica.

** Eliminación media de coliformes fecales, la eliminación depende de la textura del suelo, la distancia de recorrido en el suelo y el tiempo de descanso

A. Centa (2008). B. Tchobanoglous et al. (2002). C. Crites & Tchobanoglous (1998). D. Bitton (1994); Brix (1994); US EPA (2002), citados por Massoud et al. (2009). E. Feachem et al. (1978) citado por Ortiz (1998).

3. **Características de la tecnología:**

   3.1. Flexibilidad o Robustez para recibir altas cargas contaminantes: El sistema depende de una adecuada operación y mantenimiento, no deben permitirse estancamientos sobre los lechos (DSNY, 1998). La operación del sistema requiere mantener condiciones aerobias.

   3.2. Requerimientos de O&M: Es esencial que los sistemas de infiltracion rápida sean operados disponiendo de periodos de aplicación y secado. El periodo de secado es decisivo para lograr un tratamiento efectivo, para la restauración de las condiciones aerobias y el mantenimiento de las tasas de infiltración. El tiempo requerido para secar el agua visible de cada fosa debe ser registrado y cualquier tendencia a que se incremente, debe ser tenida en cuenta. Un incremento en el tiempo de secado requerido puede ser un indicador de las necesidades de mantenimiento de la superficie de la fosa, el cual puede proveerse mediante arado, raspado (perforación o rompimiento de la superficie) y remoción de los sólidos de la superficie.

   3.3. Requerimientos de energía eléctrica: No se requiere consumo energético para su operación.

   3.4. Aspectos socioambientales:

- La instalación no precisa de equipos electromecánicos para su operación, por lo que los impactos sonoros son nulos.
- No se identifican molestias por vectores.
- Los impactos visuales son mínimos al construirse generalmente los filtros por excavación en el terreno (Ortega et al., 2010).

3.5. Limitaciones:

- Distancia vertical mínima hasta el nivel freático, pendiente del nivel freático, conductividad hidráulica del acuífero, altura y distancia respecto a condiciones del contorno (arroyos, ríos o lagos) (Tchobanoglous et al., 2002)
- Profundidad del suelo > 1.5 metros, profundidad del agua subterránea mínima a 3 m, pendientes menores al 10% para evitar remociones excesivas de terreno,
- Se requiere realizar estudios detallados de suelos (Crites & Tchobanoglous, 1998).

FICHA TÉCNICA

Tecnología:	Escorrentía Superficial

1. **Descripción:** Este proceso de tratamiento de aguas residuales también conocido como filtración en hierba o pasto, es un desarrollo de los sistemas de irrigación con excepción que el suelo subyacente tiene una baja permeabilidad, siendo compuesto por diferentes tipos de arcillas o suelos franco arcillosos (Gray, 2004). Este método se emplea en terrenos con pendiente, capa superficial de suelo poco permeable o con subsuelo impermeable, y requiere cobertura vegetal para controlar la erosión. El agua residual se aplica sobre el área superior de terrenos en declive, generalmente mediante aspersores, y se deja fluir sobre tramos de 30 a 100 m con vegetación, en pendientes del 1 al 12%, hasta unas zanjas de recolección de la escorrentía superficial.

   A medida que el agua fluye sobre el suelo, una porción se infiltra, otra se evapora y el resto fluye hacia los canales de recolección. El flujo a través del pasto permite filtrar los sólidos suspendidos y oxidar la materia orgánica por las bacterias. Este sistema es viable, de costo bajo, eficiente para tratamiento de aguas residuales con materia orgánica degradable y puede diseñarse para tratar efluentes primarios. Se ha usado en los Estados Unidos de América para tratar aguas residuales de concentración alta, y en Australia para tratamiento de aguas residuales municipales. El proceso de flujo sobre el suelo puede diseñarse para tratar aguas residuales municipales con tratamiento primario, cribado mas sedimentación, para proveer un efluente con DBO/SST de 10/10 mg/litro y obtener remociones del 70% de nitrógeno (Romero, 2004).

   En comparación con los sistemas convencionales, la aplicación superficial al terreno presenta algunas ventajas e inconvenientes como son (Collado, 1992):

   - Menor costo
   - Gran ocupación de terreno.
   - Es apropiado para el tratamiento de las aguas residuales de las comunidades rurales y de las industrias estacionales que generan aguas residuales orgánicas
   - Proporciona un tratamiento secundario avanzado, con una simple y barata operación. Presenta la mínima restricción con respecto a las características de la tierra, lo que requiere de suelos impermeables para su instalación y una pendiente adecuada (de Lemos, 2007)

   Las desventajas son (Collado, 1992; (de Lemos, 2007):

   - Riesgos sanitarios: aerosoles, consumo de productos vegetales en crudo.
   - Contaminación de acuíferos.
   - Escorrentía superficial incontrolada.
   - Usos del suelo.
   - Olores, estética, vectores (moscas)
   - El método está limitado por el clima, la tolerancia de cultivo en relación con el agua y la pendiente de la tierra
   - La aplicación puede ser limitado durante el tiempo húmedo
   - Las tasas de carga pueden ser restringidos por el patrón de crecimiento del cultivo
   - Terrenos planos o muy empinados no son adecuados para este tipo de tratamiento

2. Eficiencias de remoción:

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES ESCORRENTIA SUPERFICIAL (%)									
DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	BACTERIAS	VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMIN-TOS
90 - 95 A	60 - 80 A	70 - 80 A	45 - 50 A	20 - 30 A	99.5 B	85 F		
92 - 96 B	75 - 85 C	95 B	45 B	30 B	2 – 3 Log C	99 G		
80 - 90 C	48 - 52* D	80 - 93 C	< 65 C	< 35 C	90 D			
48 - 52* D		58 - 96 E	20 - 30 D	20 - 60 D	99 G			
46 - 98 E			60 - 90 E	40 - 60 F	90 - 100 H			
			75 - 90 G	50 - 70 G				

* Efluentes provenientes de tratamientos anaerobios.

A. Centa (2008). B. Collado (1992). C. Von Sperling (2007). D. (de Lemos, 2007). E. ASCE & WEF (2010). F. Crites, Reed, & Bastian (2000). G. (U.S. EPA, 1981). H Bitton (1994); Brix (1994); US EPA (2002), citados por Massoud et al. (2009).

3. Características de la tecnología:

3.1. Flexibilidad o Robustez para recibir altas cargas contaminantes: se encuentra ligado al tipo de cultivo o vegetación, en el caso de pastos recomendado para tecnologías de escorrentía superficial, éste proporciona un medio de soporte para los microorganismos, minimiza la erosión y elimina el nitrógeno (Vesilind, 2003).

3.2. Requerimientos de O&M: La operación es intermitente, con un período de alimentación entre 8 y 12 horas/día, seguido de un período seco entre 16 y 24 horas/día. Ciclos operacionales con 4 días de alimentación y 2 días de descanso (en seco) evitan la propagación de insectos. Consideraciones de operación y mantenimiento incluyen la regulación de la aplicación del ciclo, vegetación, y el mantenimiento de la pendiente y de los canales de escorrentía (Crites & Tchobanoglous, 1998).

3.6. Requerimientos de energía eléctrica: No se requiere consumo energético para su operación.

3.3. Aspectos socioambientales:

- Puede presentarse reproducción de vectores como mosquitos.
- No se identifican impactos sonoros, ni visuales por la implementación de ésta tecnología
- El destino de las aguas residuales durante el periodo invernal se puede convertir en un problema ambiental si no se maneja de forma adecuada (Catalán, 1997)
- En la operación de los filtros verdes no hay peligro para la salud de los operarios. No obstante, se identifica el peligro sanitario en el consumo en crudo de los productos vegetales obtenidos con el riego por medio de las aguas residuales (Catalán, 1997)
- Riesgo de posible contaminación de las aguas subterráneas y de la disminución de la capacidad de los suelos, en su doble función de infiltración y depuración de las aguas usadas. (Catalán, 1997)

3.1. Limitaciones:

- Depende del tipo de suelo (arcillosos, impermeables)
- Disponibilidad de superficie del suelo de 45 a 60 m de longitud y pendientes entre 2 y 12% (de Lemos, 2007)
- El flujo, los tipos aplicados, el período y la frecuencia de las aguas residuales de carga, y la calidad del influente y el efluente deben ser monitoreados constantemente. (de Lemos, 2007).
- Se debe contar con otra alternativa de disposición en épocas húmedas.

FICHA TÉCNICA

Tecnología:	Filtro Anaerobio

1. **Descripción:** El filtro anaerobio es una columna rellena de diversos tipos de medios sólidos que se utilizan para el tratamiento de la materia orgánica carbonosa contenida en el agua residual. El agua a tratar fluye en sentido ascendente, entrando en contacto con el medio sobre el que se desarrollan y fijan las bacterias anaerobias. Dado que las bacterias están, adheridas al medio y no son arrastradas por el efluente, se pueden obtener tiempos medios de retención celular del orden de los cien días. De este modo, el filtro anaerobio se puede emplear para el tratamiento de residuos de baja concentración a temperatura ambiente (Tchobanoglous et al., 2002).

   El proceso no utiliza recirculación ni calentamiento y produce una cantidad mínima de lodo; las pérdidas de energía a través del lecho son mínimas, menores de 7,5 cm en unidades de laboratorio de 15 cm de diámetro y 1,8 m de altura. El filtro anaerobio usa como medio de soporte de crecimiento piedras, anillos de plástico o bioanillos plásticos, colocados al azar. La mayor parte de la biomasa se acumula en los vacíos intersticiales existentes entre el medio. La acumulación de biomasa y de sólidos inertes puede causar canalización y cortocircuito. El medio permanece sumergido en el agua residual, permitiendo una concentración de biomasa alta y un efluente clarificado; el proceso se ha usado a bajas temperaturas, pero preferiblemente la temperatura debe ser mayor de 25°C (Romero, 2004).

   El arranque de un proceso de crecimiento adherido puede ser más lento que el de un proceso de crecimiento suspendido, puede demorar unos seis meses en aguas residuales de baja concentración y de temperatura baja.

   En los filtros de flujo ascendente, el lecho de empaquetadura está necesariamente sumergido. Los filtros de flujo descendente pueden trabajar ya sea sumergida o no sumergida. Por lo general están cubiertos, pero se pueden implementar sin tapar, cuando no hay preocupación con la posible liberación de malos olores (de Lemos, 2007)

   Las principales limitaciones de los filtros anaerobios resultan del riesgo de obstrucción de la cama (obstrucción de los intersticios) y desde el volumen relativamente grande, debido al espacio ocupado por el material de relleno inerte.

   En gran escala, los filtros anaerobios suelen construirse ya sea una forma cilíndrica o una forma rectangular. Los diámetros (o anchura) de los tanques varían de 6 a 26 m, y su altura de 3 a aproximadamente 13 m. El área de superficie específica de estos materiales de plástico por lo general oscila de 100 a 200 m^2/m^3. El uso de filtros anaeróbicos llenos de una cama de piedra para el pulido de efluentes fosas sépticas y los reactores UASB, se recomienda para la mayoría de las aplicaciones alturas de lecho relleno entre 0,8 y 3,0 m.

   Los filtros anaeróbicos se han aplicado principalmente para el tratamiento de las aguas residuales desde pequeñas poblaciones (con frecuencia por debajo de 500 habitantes) (de Lemos, 2007).

2. **Eficiencias de remoción:**

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES FILTRO ANAEROBIO (%)										
DBO (mg/l)		DQO (mg/l)		SS (mg/l)		N (mg/l)		P (mg/l)		BACTERIAS		VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMINTOS
65	A	61 - 90	C	80 - 90****	G	< 60****	G	< 35****	G	1 - 2 **** Y *-*	G			
80 *	B	88 **	B	80 - 90*-**	G	< 60*-**	G	< 35*-**	G	1 - 2 *-** Y *-*	G			

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES FILTRO ANAEROBIO (%)								
DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	BACTERIAS	VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMINTOS
70 *** [B]	80 - 95 [D]							
55 - 85 [E]	68 - 79 [E]							
80 - 85**** [G]	70 - 80 [F]							
75 - 87*-** [G]	70 - 80**** [G]							
	70 - 80*-** [G]							

* Con lechos de piedra de 4 a 7 mm y altura de 1.2 m

** En estudios con residuales de DQO igual a 12.000 mg/L, carga orgánica volumétrica menor de 4 kg DQO/ m^3 d, tiempo de retención hidráulica de un día, edad de lodos de 56 d y temperaturas de 20 a 25°C

*** Para aguas residuales domesticas sedimentadas, Mara y la EAAB recomiendan, para un 70% de reducción de DBO, un volumen de filtro anaerobio de 0,05 m^3/ cd, con un lecho de por lo menos 50 m de altura, para operación satisfactoria, sin mantenimiento, durante 18 a 24 meses.

**** Precedida por Tanque Séptico

- FC Log Units

*-** Precedida por un UASB y Filtro Anaerobio.

[A]. Sasse (1998). [B]. Romero (2004). [C]. Young & Yang (1989) citado por (Romero, 2004). [D]. Tchobanoglous & Schroeder (1985) citados por (Romero, 2004). [E]. de Lemos (2007). [F]. Gray (2004). [G]. Von Sperling (2007)

3. Características de la tecnología:

3.1. Flexibilidad o Robustez para recibir altas cargas contaminantes: El filtro anaerobio es poco sensible a variaciones de carga hidráulica y a la operación discontinua pues el medio retiene los sólidos y la biomasa formada en él. La concentración del efluente no afecta el rendimiento del proceso excepto en aguas con menos de 2.000 mg/L de DQO; se de ben usar por lo menos 2 m de altura de medio de soporte de crecimiento y preferiblemente medio de flujo cruzado de área superficial específica igual a 100 m^2/m^3 (Romero, 2004).

Debido a que puede retener una alta concentración de biomasa activa dentro del sistema durante un período de tiempo prolongado, el filtro anaerobio puede adaptarse fácilmente a las condiciones de funcionamiento variados (por ejemplo, sin cambios significativos en la calidad del efluente y la producción de gas debido a las fluctuaciones en los parámetros tales como el pH, la temperatura, la velocidad de carga, y composición del afluente) (Liu & Liptak 1999)

3.2. Requerimientos de O&M: Aunque la simplicidad operativa de los sistemas de tratamiento anaerobios es uno de sus puntos clave, la presencia de personal de operación y mantenimiento es una condición necesaria para asegurar el funcionamiento adecuado. El sistema de tres actividades de control son: operación, mantenimiento e información (de Lemos, 2007).

El filtro anaerobio minimiza preocupaciones operacionales de emaciación lodos y la eliminación porque la tasa de síntesis de exceso de biomasa en condiciones anaeróbicas es baja (Young y McCarty 1968 citado por Liu & Liptak 1999). Requiere lavado periódico del filtro.

3.3. Requerimientos de energía eléctrica: no precisan de ningún consumo energético para su funcionamiento.

3.4. Aspectos socioambientales:

- Producción de gases, problemas frecuentes por generación de olores
- Filtro anaerobios tienen un impacto visual bajo
- No se identifican molestias por insectos (atípicos)
- No registra ningún impacto sonoro al no ser preciso para su operación la utilización de elementos electromagnéticos

3.5. Limitaciones:

- Los filtros anaerobios funcionan satisfactoriamente a temperaturas que van desde 25 a 38 °C. No obstante, se han observado resultados satisfactorios incluso en temperaturas inferiores a 20 °C. Por lo general, la degradación de las aguas residuales, cuya primera etapa del proceso de fermentación es la hidrólisis, requiere temperaturas superiores a 25°C. De lo contrario, la hidrólisis puede llegar a ser la etapa limitante del proceso.

FICHA TÉCNICA

Tratamiento primario	
Tecnología:	Filtro Percolador o biofiltro

1. **Descripción:** Se basa en una filtración biológica aerobia sobre soporte granular fino, no es un proceso diseñado para ejercer una verdadera acción de tamizado o filtración del agua residual sino para poner en contacto aguas residuales con biomasa adherida a un media de soporte fijo, constituyendo un *lecho de oxidación biológica*. El lecho está formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual percola el agua residual, fenómeno del que recibe el nombre el proceso. Se emplea preferentemente para poblaciones inferiores a 1000 habitantes equivalentes (Tchobanoglous, Burton, & Stensel, 2002; Romero (2004) y Ortega et al., 2010).

   Este sistema de tratamiento se fundamenta en dos mecanismos básicos:

   - La filtración superficial: quedando retenida en la superficie del lecho filtrante la mayor parte de la materia en suspensión de las aguas a tratar y, por tanto, una parte importante de la contaminación de naturaleza orgánica,
   - La oxidación biológica: el media granular del media filtrante sirve de soporte para la fijación de una biomasa bacteriana aerobia, responsable de la oxidación de las compuestos contaminantes que se presentan en forma disuelta o coloidal (Ortega et al., 2010).

   La profundidad del lecho en piedra varía en cada diseño particular, pero suele situarse entre 0,9 y 2,5 metros, con una profundidad media de 1,8 metros. Los filtros de piedra suelen ser circulares, y el agua. residual se distribuye por la parte superior del filtro mediante un distribuidor rotatorio. Los filtros percoladores que emplean lechos de material plástico pueden tener otras formas diversas (Filtros circulares, cuadrados y otras), con profundidades entre 4 y 12 metros. Se suelen emplear tres tipos de medios filtrantes plásticos: a) relleno de flujo vertical; b) relleno de flujo transversal, y c) otras distribuciones de rellenos a granel (Tchobanoglous et al., 2002).

   Bajo esta modalidad de infiltración-percolación, las aguas residuales pretratadas se aplican intermitentemente al terreno, generalmente mediante balsas de infiltración de poca profundidad. La alternancia de las balsas en operación permite mantener en condiciones de aerobiosis las primeras capas del sustrato filtrante. Al trabajar con cargas hidráulicas elevadas, las perdidas por evaporación tan solo suponen una pequeña fracción del agua aplicada, percolando la mayor parte del agua a través del terreno, lográndose en este transito la reducción de los contaminantes presentes en las aguas. En esta modalidad de lnfiltración-Percolación no se recuperan las aguas tratadas mediante sistemas de drenaje, sino que fluyen a través del terreno hasta llegar al freático (Ortega et al., 2010).

   Otra modalidad de la tecnología de lnfiltración-Percolación, denominada en ocasiones infiltración-Percolación modificada (Salgot et al., 2000), opera con recintos de infiltración impermeabilizados, y cuenta con un sistema de drenaje inferior para la recolección de los efluentes filtrados (Ortega et al., 2010).

   Los filtros cuentan con un sistema de aireación pasiva, que permite la entrada de aire desde la superficie del filtro hacia el interior del mismo, a una profundidad de 0,90 m (Ortega et al., 2010).

   Las principales ventajas del empleo de los sistemas de infiltración-percolación, se describen a continuación:

   - Sencillez operativa, costos moderados de implantación, así como de explotación y mantenimiento.
   - Consumo energético nulo si las aguas residuales circulan por gravedad,
   - Mínima producción de olores, concentrados en los tratamientos previos a los filtros,
   - Pueden alcanzar elevados rendimientos de eliminación de materia en suspensión y materia orgánica,

- Elevados niveles de eliminación de organismos patógenos cuando se trabaja con espesores de filtros mayores de 3 m,
- Se alcanzan elevados niveles de nitrificación (Ortega et al., 2010).

Entre las desventajas y/o limitaciones que tienen los filtros intermitentes de arena, se encuentran:

- Requiere extensas superficies de terreno para su implantación, dependiendo del caso con incremento en los costos por posible adquisición de predios
- Presentan riesgo de colmatación del sustrato si este no se elige convenientemente, no funcionan correctamente las etapas de pretratamiento y tratamiento primario, o si la instalación recibe vertidos anómalos con elevadas concentraciones de sólidos en suspensión y/o grasas, y éstas no quedan retenidos en las etapas previas a los filtros,
- Poca flexibilidad debido a que existen pocos factores de control regulables durante la operación, por lo que es muy importante que los sistemas de lnfiltración-Percolación estén bien concebidos, dimensionados y construidos,
- Necesidad de alternar periodos de operación y de reposo (Ortega et al., 2010).
- Tratamiento sensible a heladas. Cuando la temperatura del agua y del aire son similares se produce una disminución de la eficiencia, tanto si existe recirculación como si no (Polo & Torrecillas, 2008, Ortega et al., 2010)

2. Eficiencias de remoción:

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES
FILTRO PERCOLADOR (%)

DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	BACTERIAS	VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMIN-TOS
65 - 80* A	60 - 80* A	60 - 85* A	15 - 50* A	8 - 12* A	90 - 95 *-* E	90 - 95 *-* E	82 - 100 F	50 - 100 ** E
65 - 85** A	65 - 85** A	65 - 85** A	15 - 50** A	8 - 12** A	60 - 90 G			
85 - 95*** C	80 - 90*** C	85 - 95*** C	20 - 35*** C	10 - 35*** C				
65 - 90 H	75 - 90 B	50 - 90 B	35 - 50 B	35 - 55 B				
65 - 85 *-* I	86.9 J	98.7 J	30 - 40 G	30 - 45 G				
80 - 90*-** 50 - 70*-*** 65 - 85* 65 - 80** L	80 - 85*-** 50 - 70*-*** 40 - 80* 65 - 85** K		0 - 35 D	10 - 15 D				

* Filtros percoladores, Alta Carga - Medio Pétreo
** Filtros percoladores, Carga Muy Alta - Medio Sintético
*** Según como se diseñe el proceso se alcanza uno u otro nivel de tratamiento
- Sed 1a + Filtro Percolador + Sed 2a + Digestión de Lodos + Desecación de Lodos.
*-** Filtro percolador de baja carga
*-*** Filtro percolador de carga intermedia
A. Metcalf & Eddy (1995). B. Ortega de Ferrer et al. (2011); Tchobanoglous et al. (2003); Comas et al. (2004), citados por Molinos-Senante et al. (2012). C. Ortega et al. (2010). D. Bitton (1994); Brix (1994); US EPA (2002), citados por Massoud et al. (2009). E. Feachem et al. (1983) citado por Ortiz (1998). F. Feachem et al. (1983). G. Von Sperling & Marcos (1996) citados por Kivaisi (2001). H. Crites & Tchobanoglous. (1998). I. Ministerio de Desarrollo Económico (2000). J. Ortega et al. (2010). K. Polo & Torrecillas (2008). L. (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

3. Características de la tecnología:

3.1. Flexibilidad o Robustez para recibir altas cargas contaminantes: Dado que los sistemas de lnfiltración-Percolación cuentan con cámaras de dosificación, que permiten su alimentación intermitente, y que el volumen de estas cámaras es del orden de una vez el caudal diario tratado de aguas residuales, esta tecnología de tratamiento cuenta con cierta capacidad para hacer frente a las oscilaciones de caudal y contaminación propias de las pequeñas aglomeraciones, la que permite una alimentación más uniforme en

el tiempo a los filtros. Además, la propia etapa de tratamiento primario, en el caso de las fosas sépticas, también permite una cierta amortiguación de las puntas de contaminación. Dado el corto espacio de tiempo que tardan las aguas en atravesar el sustrato filtrante, su capacidad de adaptación a sobrecargas hidráulicas es muy limitada (Ortega et al., 2010).

3.2. Requerimientos de O&M: Las operaciones de explotación y mantenimiento de los sistemas de lnfiltración-Percolación son simples, limitándose a inspecciones rutinarias, evacuación de los residuos generados en las rejas de desbaste y desarenadores, comprobación del correcto funcionamiento del sifón o bombeo para la alimentación intermitente, control del adecuado reparto de las aguas a tratar sobre el sustrato filtrante, rastrillado de la superficie de los filtros, purga periódica de fangos generados en el tratamiento primario y mantenimiento de la obra civil. La implantación de desbastes automáticos y de bombeos, para lograr la alimentación intermitente, hace preciso la presencia de un personal de mantenimiento con cierta cualificación técnica (Ortega et al., 2010).

3.3. Requerimientos de energía eléctrica: Si la topografía es la adecuada los filtros intermitentes pueden operar sin ningún consumo energético. En caso contrario, será necesario recurrir a alimentación intermitente mediante bombeo, comandado par sondas de nivel o temporización. En esta situación, los equipos de bombeo serán de reducida potencia (del orden de 1 kW), dado que no se precisa elevar el agua a una gran altura y que los caudales a transportar son pequeños. En el caso de recirculación de aguas tratadas, se precisan bombas de 1 a 2 kW. Para la implantación de rejas de desbaste automáticas, la potencia necesaria para el funcionamiento de los mecanismos de limpieza es del orden de 0,5 kW (Ortega et al., 2010)

3.4. Aspectos socioambientales:

- Impactos olfativos en inmediaciones de tratamientos primarios como tanques sépticos o Imhoff, o pueden ser generados por sobrecargas orgánicas (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).
- Si la intermitencia a la alimentación de los filtros se logra mediante la implantación de sifones, la instalación no precisa de equipos electromecánicos para su operación, por lo que los impactos sonoras son nulos. Si por la topografía es necesario recurrir al bombeo de los efluentes del tratamiento primario, dada la escasa potencia de bombeo que se precise, los impactos sonoras son muy reducidos,
- Los impactos visuales son mínimos al construirse, generalmente, los filtros por excavación en el terreno (Ortega et al., 2010)

3.5. Limitaciones:

- Los filtros percoladores pueden ser utilizados en casos donde no se necesite una eficiencia muy alta en la remoción de DBO (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000)
- Se recomienda que la temperatura del sustrato filtrante no baje de 5 °C (Ortega et al., 2010).
- Se requieren terrenos fáciles de excavar, de naturaleza impermeable y con el nivel freático bajo (Collado, 1992)
- Disponibilidad del terreno con pendientes moderadas, para facilitar la implantación de sifones para lograr la alimentación intermitente a los filtros (Collado, 1992).
- Requieren de una mayor superficie de terreno para su implantación que las tecnologías intensivas, reduciendo su aplicación a las pequeñas aglomeraciones y repercutiendo notablemente en la inversión cuando se hace necesaria la adquisición de los terrenos. Se recomienda ésta tecnología para poblaciones entre 50 y 950 habitantes equivalentes (Ortega et al., 2010).
- Debido a la mayor profundidad de filtros de alta carga, éstos necesitan un caudal mínimo para que produzca el desarrollo de la capa biológica a lo largo de toda la profundidad. Este caudal mínimo oscila entre 0.3 y 0.7 $L/m^2/s$ dependiendo de la configuración geométrica del medio (Polo & Torrecillas, 2008).

FICHA TÉCNICA

Tecnología:	Humedal construido de flujo subsuperficial

1. **Descripción:** Los humedales de este tipo, son reactores naturales empleados para el tratamiento de aguas residuales de diversa índole (preferiblemente aguas residuales con bajos contenidos de sólidos suspendidos con el objeto de evitar la colmatación o el taponamiento de los intersticios del medio de soporte granular). Consisten en camas (lechos) de grava o suelo, plantadas con vegetación de humedal; estos humedales generalmente están diseñados para tratar efluentes primarios antes de su descarga o disposición sobre cuerpos de agua superficiales o sobre el suelo. El agua residual dentro del humedal, permanece bajo la superficie del medio de soporte y fluye a través de él y por entre los rizomas y raíces de la vegetación que han penetrado sobre el este medio. Dado que el agua residual no está expuesta durante el proceso de tratamiento, el riesgo asociado con la exposición de patógenos al hombre o a la vida salvaje, es mínimo. Humedales HSSF correctamente operados, son hábitats poco apropiados para la proliferación de mosquitos (Kadlec & Knight, 1996).

   La colmatación o taponamiento del medio de soporte, es un factor desventajoso que merece el mayor cuidado, esencialmente mediante el control de la carga de sólidos afluente al sistema; el taponamiento del medio es algo que ocurre inevitablemente cuando se tratan aguas residuales, el hecho radica en controlar la velocidad de dicha colmatación en función de los objetivos del proyecto y su vida útil prevista (Kadlec & Knight, 1996; Kadlec & Wallace, 2009). Los humedales HSSF son muy efectivos en la remoción de la DBO, la DQO, los SST, metales y algunos compuestos orgánicos refractarios de las aguas residuales domésticas; la remoción de nitrógeno y fósforo a bajos niveles es también posible pero se requieren tiempos de retención mayores. Teniendo como referencia los humedales FWS, la U.S. EPA (1993) apunta que la configuración de los del tipo HSSF, proporciona una mayor protección térmica del proceso biológico en los climas fríos.

   Dado que el medio de soporte puede colmatarse rápidamente con residuos, arenas y sólidos del agua residual cruda, es necesario disponer de una etapa previa que remueva tales componentes del agua. Por lo menos se debe proveer un tratamiento primario para remover sustancias flotantes y sólidos sedimentables (Wallace & Knight, 2006). Un pretratamiento es requerido para evitar el taponamiento del medio de soporte, y por ende mantener el régimen hidráulico de flujo subsuperficial del sistema. En este sentido, tecnologías primarias con sedimentadores, tanques sépticos, lagunas anaerobias u otras es preciso construir para brindar un tratamiento previo al agua residual antes de su entrada al humedal HSSF (Kadlec & Wallace, 2009).

2. **Eficiencias de remoción:**

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES
HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (%)

DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	BACTE-RIAS	VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMIN-TOS
60 - 98 E	55 - 80 A	60 - 98 A	30 - 70 A	20 - 60 A	90,1 - 92,4 B	90 - 99,9 D	87,8 - 64,2 C	39 - 100 D
50 - 95 N	55 - 80 E	60 - 98 E	30 - 70 E	20 - 60 E	90 - 99,9 D	90 - 99 H	58 - 73 I	70 - 95 K
> 98 O		51 - 98 N	20 - 97 N	30 - 90 N	99 - 99,9 E			
66 - 90 P		75 - 93 P	28 P	26 P	95 – 99.99% P			

A. Ortega de Ferrer et al. (2011); Tchobanoglous et al. (2003); Comas et al. (2004), citados por Molinos-Senante et al. (2012). B. Vymazal & Kröpfelová. (2008). C. Thurston et al. (2001) citado por Vymazal & Kröpfelová. (2008). D. Kadlec & Wallace. (2009). E. Seoánez (1999). H. Gersberg et al. (1987); Vinluan (1996), citados por Vidales et al. (2004). I. Karpiscak et al. (1996) citado por García et al. (2010). K. Mandi et al. (1996) citado por García et al. (2010). M. Mara (2004). N. Water Environment Federation (1990). O. Bitton (1994); Brix (1994); US EPA (2002), citados por Massoud et al. (2009). P. Kadlec, Axler, McCarthy, & Henneck (2003).

FICHA TÉCNICA

Tecnología:	Humedal construido de flujo libre

1. **Descripción:** Este tipo de humedales generalmente están compuestos por canales, cuencas o estanques con algún tipo de barrera o impermeabilización que evite la infiltración; también están compuestos por un suelo que suministra el soporte para las raíces de la vegetación emergente; y evidentemente agua a un nivel relativamente superficial fluyendo a través del sistema. La superficie del agua está expuesta a la atmósfera y el patrón de flujo a través del sistema es horizontal (U.S. EPA, 1993).

   Los humedales FWS consisten de una cuenca construida con suelo natural u otro tipo de medio para brindar soporte a las raíces de la vegetación, y una estructura para controlar el nivel del agua al interior del humedal y de esta forma mantener un lámina de agua poco profunda (Kadlec et al. (2000). Estos humedales se caracterizan por contener agua en contacto libre con la atmósfera y por poseer vegetación flotante y emergente, vegetación esta que se desarrolla por efecto directo del diseño del sistema, así como por consecuencias inevitables derivadas del mismo. Dependiendo de las regulaciones locales, al igual que de las condiciones del suelo, bermas, diques e impermeabilización, el control del caudal y la infiltración son variables que pueden integrarse al diseño de este tipo de humedales (Kadlec & Wallace, 2009). Los campos de acción o líneas de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico, que precisan los humedales son los siguientes (Kadlec et al., 2000)

   - Para el tratamiento secundario del agua residual: Kadlec et al. (2000) agregan que aun cuando los humedales FWS no son habitualmente empleados para realizar este tipo de tratamiento, existen varias experiencias en las cuales los humedales FWS han suplido las deficiencias de tratamiento de otras tecnologías secundarias, e incluso, permiten solucionar de una mejor forma los problemas típicos que se presentan con la operación de lagunas facultativas de nivel secundario; por ejemplo, ante elevadas temperaturas la población algal presente en este tipo de lagunas, crece de tal forma que incrementa la concentración de SST, situación que en el caso de los humedales FWS no ocurre dado que estos sistemas remueven esa fracción adicional de SST generada por las algas.
   - Para el tratamiento terciario o avanzado de aguas residuales: Kadlec et al. (2000) anotan que los humedales FWS tienen un buen desempeño en el tratamiento de contaminantes no removidos o mínimamente estabilizados en las etapas secundarias, este es el caso de los nutrientes, nitrógeno y fósforo.

   Por su parte, Kadlec & Wallace (2009) señalan que este tipo de humedales es adecuado para todos los climas, sin embargo, en climas muy frío en donde existe la posibilidad de formación de hielo, la hidráulica operacional del sistema cesa durante los periodos invernales del año, y la tasas de remoción de los procesos de tratamiento son lentas a causa de las bajas temperaturas, particularmente los procesos de conversión del nitrógeno

2. **Eficiencias de remoción:**

   El desempeño de los humedales FWS en la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales se compila en el siguiente cuadro:

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES
HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO LIBRE (%)

DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	BACTE-RIAS	VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMIN-TOS
80 - 90 [A]	75 - 85 [A]	87 - 93 [A]	< 60 [A]	< 35 [A]	3 – 4 Logs * [A]			
90 - 95 [B]		90 - 95 [B]	90 - 95 [B]		99.99 [B]			

* FC Log Units
[A]. Von Sperling (2007). [B]. Kadlec & Wallace (2009).

FICHA TÉCNICA

Tecnología:	Humedal construido de flujo vertical

1. **Descripción:** Los humedales construidos de flujo vertical (VF) proceden originalmente del proceso MPIP (Max Planck Institute Process) desarrollado por Seidel (1961, 1965, 1966, 1976) para varias fuentes de aguas residuales, que incluían residuos líquidos fenólicos, aguas residuales lácteas y de ganadería. Como parte del proceso MPIP, los humedales VF se empleaban como camas de filtración en la primera etapa del proceso de tratamiento con humedales (Kadlec & Wallace, 2009).

   Estos humedales de flujo vertical son tecnologías naturales de tratamiento, en las que el agua es distribuida sobre la superficie de una cama de arena o de grava que se encuentra plantada con vegetación de humedal; la alimentación de agua es intermitente, en batch o tandas, aquí, el agua es tratada conforme ésta percola a través de la zona de raíces de las plantas; en estas condiciones la dirección del flujo es vertical descendente aunque también existe la variante de flujo vertical ascendente, siendo esta última un intento por bloquear la trasferencia de oxígeno en el sistema y promover condiciones anaerobias en el fondo (Kadlec & Wallace, 2009). Este tipo de humedales opera con largas tandas, durante la cual el agua residual aplicada percola a través del medio de soporte; la nueva tanda de agua residual es aplicada solo después que toda el agua residual ha percolado y la cama se encuentra libre de agua. Este tipo de operación es la que hace posible la difusión de oxígeno desde el aire a la cama del humedal; estas condiciones aerobias son las que hacen posible que los humedales de flujo vertical sean apropiados para la nitrificación de aguas residuales (los humedales del tipo VF no proveen desnitrificación) (Vymazal, 2010).

   Los humedales del tipo VF son prácticamente filtros de arena o grava que han sido sembrados con plantas acuáticas; y en este sentido, su adecuado funcionamiento está en función de operarlos como filtros, esto es, aplicando el agua residual por dosis, tandas o ciclos de drenaje y previendo un adecuado pretratamiento que evite la colmatación del medio por sólidos. Esta forma de operación que en esencia es una variación de concepto de los filtros intermitentes de arena, es la que de acuerdo a lo descrito por Cooper et al. (1996) citados por Kadlec et al. (2000), permite que los humedales tipo VF sean sistemas altamente aerobios capaces de alcanzar tasas grandes de nitrificación (U.S. EPA, 2000).

   Entre las principales ventajas de los humedales construidos de flujo vertical, se señalan las siguientes (Arias & Brix, 2007):

   - Son sistemas con altas tasas de nitrificación (mayores capacidades de nitrificar que otros sistemas de humedales construidos). Por ende incrementan la eliminación de nitrógeno total.
   - Tienen una mayor capacidad relativa de manejo de carga orgánica.
   - Demandan menores áreas superficiales.
   - Son relativamente menos costosos de construir que otros sistemas de humedales.
   - Tienen mayor facilidad para tratar efluentes procedentes de recirculación.
   - Los humedales del tipo VF tienen capacidades de tratamiento (remoción de DBO y SST) similares a los humedales tipo HSSF, pero adicionalmente tiene la capacidad de nitrificar.

   La última generación de los denominados “humedales construidos” corresponde a los sistemas de humedales de flujo vertical con carga (operación) intermitente. Entre las principales ventajas que tiene este tipo de humedal, se encuentran las siguientes (UN-HABITAT, 2008):

   - Tienen una mayor capacidad de transferencia de oxígeno que otros tipos de humedales (FWS, HSSF), conllevando a la obtención de mayores tasas de nitrificación.
   - Son considerablemente más pequeños (en términos de área superficial requerida) que los humedales del tipo FWS y HSSF.
   - Pueden remover eficientemente DBO_5, COT y organismos patógenos.

Las desventajas de este tipo humedales, son las siguientes (SSWW, 2013):

- La etapa de arranque del sistema es mayor que en otros tipos de humedal.
- Dificultades en la adquisición de materiales granulares de alta calidad y con las especificaciones establecidas en el diseño.
- El sistema tipo *batch* o *por pulsos* de alimentación del agua residual, requiere una ingeniería más compleja que en el caso de otros tipos de humedal.
- La tolerancia a climas fríos es menor que en el caso de los sistemas HSSF.

2. **Eficiencias de remoción:** La información sobre el desempeño de este tipo de humedales, es limitada respecto a las recomendaciones y lineamientos. No obstante, en el siguiente cuadro se presentan eficiencias típicas de humedales VF construidos bajo los lineamientos Daneses (Brix & Arias, 2005).

EFICIENCIAS TEORICAS Y EMPIRICAS DE REMOCION DE CONTAMINANTES
HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO VERTICAL (%)

DBO (mg/l)	DQO (mg/l)	SS (mg/l)	N (mg/l)	P (mg/l)	BACTERIAS	VIRUS	PROTO-ZOARIOS	HELMIN-TOS
90 [A]		89 [A]	43 - 63 [B]	2 - 64 [B]	2 Logs [D]			
92 - 99 [B]		91 - 97 [B]	< 30 [C]	< 30 [C]	2.63 Logs [E]			
		87 [E]						

* FC Log Units

[A]. Vymazal (2010). [B]. Brix & Arias (2005). [C]. Arias & Brix (2007). [D]. Arias et al. (2003b) citados por Arias & Brix (2007). [E]. Kadlec & Wallace (2009).