



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Química

**Análisis de alternativas de gestión de
residuos y aguas residuales en
campamentos de verano y diseño de una
instalación de tratamiento**

Autor:

Muñiz Gallego, Laura

Tutores:

**García Encina, Pedro Antonio
García Depraect, Octavio
Ingeniería Química y Tecnología del
Medio Ambiente**

Valladolid, Julio 2022.

Resumen

El elevado número de campamentos que se desarrollan en la actualidad suponen un gran impacto ambiental en zonas naturales ya que no disponen de una infraestructura adecuada para la gestión de aguas residuales.

En este Trabajo de Fin de Grado se han estudiado de forma teórica las diferentes opciones que existen actualmente para la gestión de aguas residuales y que se podrían utilizar en los campamentos de verano, para finalmente, seleccionar la mejor opción para construir una planta piloto portátil del proceso de tratamiento de aguas residuales fecales generadas en campamentos de verano cuyo objetivo es minimizar el impacto ambiental de esta actividad recreativa.

El proceso de depuración que se propone se basa en una digestión anaerobia de heces y orines a temperatura ambiente, acoplada a una separación sólido-líquido por sedimentación seguida de una etapa de biofiltración aerobia y de una etapa de desinfección solar con el objetivo de eliminar la totalidad de la materia orgánica, patógenos y nitrógeno amoniacal de las aguas residuales fecales. Se trata de un proceso sostenible y de bajo consumo energético, basado en la acción biocatalítica de microorganismos, en la sedimentación por gravedad y en el potencial de desinfección de luz solar, En el proceso también se produciría biogás que por su alto poder calorífico podría emplearse como combustible para cocinar en los campamentos.

Palabras clave: digestión anaerobia, biofiltración anaerobia, gestión de aguas residuales, campamentos de verano.

Abstract

The high number of camps that are currently being developed have a great environmental impact on natural areas because they do not have adequate infrastructure for wastewater management.

In this Final Degree Project we have studied theoretically the different options that currently exist for wastewater management and that could be used in summer camps, to finally select the best option to build a portable pilot plant for the treatment process of fecal wastewater generated in summer camps with the objective of minimizing the environmental impact of this recreational activity.

The proposed purification process is based on an anaerobic digestion of feces and urine at ambient temperature, coupled with a solid-liquid separation by sedimentation followed by an aerobic biofiltration stage and a solar disinfection stage with the objective of eliminating all organic matter, pathogens and ammonia nitrogen from the fecal wastewater. This is a sustainable process with low energy consumption, based on the biocatalytic action of microorganisms, gravity sedimentation and the disinfection potential

of sunlight. The process would also produce biogas which, due to its high calorific value, could be used as fuel for cooking in the camps.

Keywords: anaerobic digestion, anaerobic biofiltration, wastewater management, summer camps.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
2. OBJETIVO GENERAL	7
3. CONSIDERACIONES PARA LA ADECUADA DISPOSICIÓN DE LAS EXCRETAS 8	
4. DISPOSICIÓN DE EXCRETAS SIN ACARREO DE AGUA.....	10
4.1. Letrina de hoyo o excusado de hoyo	10
4.1.1. Localización de las letrinas.....	12
4.2. Excusado de tanque	12
4.3. Letrina abonera seca familiar	12
4.4. Retrete químico.....	14
5. DISPOSICIÓN DE EXCRETAS CON ACARREO DE AGUA	15
5.1. Tanque séptico.....	15
5.1.1. Ventajas y desventajas	17
5.1.2. Localización de tanques sépticos	17
5.1.3. Etapas.....	18
5.1.4. Consideraciones de diseño de tanques sépticos.....	18
5.1.5. Mantenimiento de tanques sépticos	21
5.1.6. Trampas de grasa, sumideros, zanjas de absorción y zanjas filtrantes.....	22
5.2. Tanque Imhoff.....	24
5.2.1. Ventajas y desventajas	25
5.2.2. Componentes del tanque Imhoff.....	26
5.3. Lagunas de estabilización.....	29
5.3.1. Ventajas y desventajas	31
5.3.2. Proceso aerobio.....	31
5.3.3. Proceso anaerobio.....	32
5.3.4. Procesos en lagunas facultativas.....	32
5.3.5. Diseño de una laguna facultativa.....	32
6. Filtro percolador	34
6.1. Ventajas y desventajas.....	35
6.2. Consideraciones de diseño	35

6.3. Mantenimiento	38
7. Fotorreactor.....	40
7.1. Disposición del catalizador	40
7.2. Concentración e iluminación del catalizador	41
7.3. Tiempo de residencia	42
8. Caso concreto	43
9. Conclusión.....	47
10. Referencias bibliográficas	48

1. INTRODUCCIÓN

Los campamentos de verano son una actividad recreativa realizada en espacios naturales para niños y adolescentes de ciudades. Esta actividad implica un alto impacto ambiental debido por la generación de altos flujos de residuos sólidos y aguas residuales fecales, y la falta de infraestructura para su gestión. Los residuos sólidos (envases, restos de comida, etc) pueden ser transportados a la localidad más cercana periódicamente para su adecuada gestión, en cambio, con las aguas residuales fecales no ocurre así. Estas acarrear problemas de deterioro de la calidad de las aguas por acumulación de materia orgánica, nitrógeno amoniacal y patógenos.

En el trabajo se presenta un análisis de las diferentes alternativas que existen en la gestión de residuos y aguas residuales en los campamentos de verano. Se estudian desde las opciones más básicas que no necesitan acarreo de agua hasta sistemas en los que se necesita disponer de abastecimiento de agua para el transporte de excretas como el tanque séptico, el tanque Imhoff y la laguna de estabilización.

Se analizan las ventajas y desventajas de cada sistema, así como las necesidades de mantenimiento, la localización o consideraciones de diseño, entre otras características, para finalmente elegir el sistema de gestión de aguas residuales más óptimo para una planta portátil de tratamiento de las aguas residuales fecales generadas en campamentos de verano para minimizar el impacto ambiental de esta actividad.

Finalmente, se desarrolla un proceso para sustituir los fosos sépticos convencionales a los que se suministra productos tóxicos con la finalidad de evitar malos olores ya que, actualmente, no existen soluciones comerciales en el mercado para tratar estos efluentes y la alta popularidad que están adquiriendo los últimos años los campamentos de verano hacen urgente el desarrollo de tecnologías sostenibles, sencillas y con bajo coste de operación.

2. OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de este TFG es un estudio de las tecnologías emergentes y maduras que existen para el tratamiento de excretas para así poder elegir la más óptima para la planta portátil de tratamiento de aguas residuales fecales, que se integrará en los inodoros portátiles de los campamentos de verano minimizando el consumo de agua (y por tanto la generación de agua residual fecal). Esta planta portátil de tratamiento de aguas residuales debe estar pensada para un tamaño medio de 50 a 150 personas y tratarse de un proceso sostenible y de bajo consumo energético.

3. CONSIDERACIONES PARA LA ADECUADA DISPOSICIÓN DE LAS EXCRETAS

Consideramos como excretas al conjunto de deposiciones orgánicas de humanos y animales. La disposición inadecuada de estas puede producir enfermedades parasitarias e infecciosas intestinales donde los grupos que se ven especialmente afectados son la población infantil y las comunidades que se sitúan en zonas marginales urbanas y en zonas rurales ya que no se dispone de instalaciones para la depuración del agua ni para su adecuado abastecimiento.

Las enfermedades más comunes relacionadas con la disposición inadecuada de excretas son la diarrea disintérica, la diarrea aguda, entrecolitis, fiebre tifoidea, cólera y parasitosis.(Martín, Suárez *et al.*, 2006)

El objetivo de una adecuada disposición de las excretas es evitar la contaminación del agua, de los alimentos, del suelo y del medio ambiente en general. Para ello:

- Debe producirse la disposición de excretas de forma que no exista contacto con personas o animales domésticos para proteger la salud de las personas.
- Se deben proteger las fuentes de abastecimiento superficiales y subterráneas evitando la descarga de aguas negras en ellas.
- Las excretas deben tener una protección que evite el contacto con elementos que actúen como transmisores de enfermedades, para proteger la calidad del suelo y el aire que respiramos.
- Debe evitarse que la descarga de excretas en sitios lúdicos como ríos, playas o lagunas ya que existe la posibilidad de contacto con personas.
- También debe evitarse la descarga en sitios de criaderos de peces para el consumo humano.
- Deben respetarse las normativas relacionadas con la disposición de residuos sólidos y efluentes.(Marquez, 2016)

Si la eliminación de las excretas es inadecuada o antihigiénica se produce la contaminación de las fuentes de agua y del suelo. Normalmente da lugar a criaderos de mosquitos y moscas que se alimentan de ello y transmiten infecciones.

Se puede producir un arrastre de las excretas debido a la lluvia, contaminando cultivos y corrientes de agua, existiendo el riesgo de contraer enfermedades al tomar alimentos, aguas o algún elemento contaminado por las excretas. (Metcalf and Eddy, 1995)

Aparte de la contaminación del suelo, agua, aire y poner en riesgo la salud, las excretas pueden atraer a roedores y animales domésticos que transportan con ellos posibles enfermedades, esta situación llega a crear molestias para el olfato e incluso deteriorar el paisaje. (Fondo para el logro de los ODM, 2010)

4. DISPOSICIÓN DE EXCRETAS SIN ACARREO DE AGUA

Se aplican en zonas rurales donde no se dispone de abastecimiento de agua para el transporte de excretas y se deben emplear otras alternativas:

4.1. Letrina de hoyo o excusado de hoyo

Se trata de la más común. Las letrinas se basan en el empleo de un hoyo en el suelo para depositar los desechos, donde los líquidos se filtran en el suelo circundante y el material orgánico que hay en él se descompone y producen gases, como el metano y el anhídrido carbónico que se dispersan en el suelo o se escapan a la atmosfera, líquidos que se filtran entorno al pozo y un compuesto compactado. Allí se almacenan y se aíslan los desechos utilizándose como dispositivo para controlar la propagación de las bacterias patógenas y causantes de las enfermedades relacionadas con un saneamiento deficiente, proteger la salud de la población y evitar contaminación del aire, suelo y agua. (Hernandez, 2002)

Está cubierto y dispone de una casera para permitir la privacidad. Esta caseta debe quedar elevada sobre el terreno circundante como mínimo en 15 centímetros y estar rodeada por un terraplén cuya pendiente sea hacia fuera para evitar la entrada del agua de lluvia. La caseta debe tener una altura superior a 1,90 metros y una puerta con un ancho superior a 60 centímetros con cerrojo en el interior. El techo debe tener una inclinación de al menos el 10% (inclinación hacia la parte trasera) y disponer de un borde libre de 10 centímetros. Tiene una ventana en la parte superior, con altura menor a 15 centímetros, para ventilar y que disponga de luz. La ventana está protegida por una malla para impedir que entren insectos como moscas. La letrina tiene un asiento con tapa hermética para impedir que entren roedores u otros animales. El interior de la caseta debe tener un área de mínimo un metro cuadrado.

El hoyo, si es cuadrado, debe tener mínimo 0,90 metros por cada lado, en caso de ser circular debe ser de 3 metros de diámetro y 3 metros de profundidad. En el interior de hoyo se depositan la orina, las excretas y el material de limpieza utilizado. El volumen de desechos que se depositan en el hoyo depende del material que se utilice para la limpieza, en caso de utilizar papel higiénico será de 0,04-0,05 m³/habitante/año. (Marquez, 2016)

El hoyo debe tener un volumen igual a este valor por el número de usuarios, dejándose un espacio libre de 50 centímetros para que una vez que el hoyo esté lleno, sellarlo, cubriéndolo con tierra y construyendo uno nuevo. Esto es una solución provisional por lo que la vida útil no debe ser mayor a cuatro años.

La letrina de hoyo tiene también una losa que es una estructura de un material resistente que soporta al usuario y está un poco elevada para evitar que las aguas superficiales lleguen al pozo. En general se sitúa sobre el suelo, pero si

es muy inestable o delgado se utiliza un brocal, que es un anillo que sirve para distribuir el peso, impedir la entrada del agua de lluvia y sostener la losa. Alrededor de la losa se coloca el terraplén para protegerla. (Fondo para el logro de los ODM, 2010)

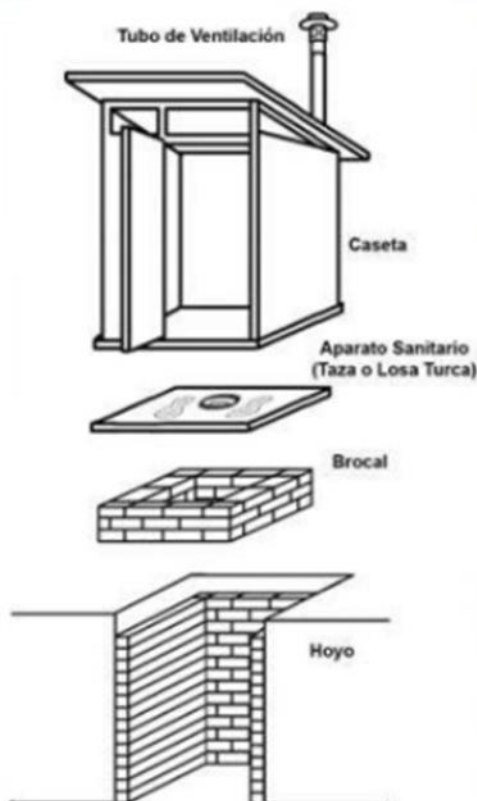


Figura 1: Elementos de una letrina de hoyo

Se puede tener asiento tipo turco (sin taza) o asiento tipo taza que puede ser de granito, madera o cerámica.

En terrenos quebradizos o inestables se deben recubrir las paredes con ladrillos, bloques, madera revestida de cemento u otro material para protegerlo, evitar el derrumbamiento de las paredes y la caída de la caseta sobre el pozo.

Las letrinas de hoyo tradicionalmente presentan fundamentalmente dos problemas, un muy mal olor y la presencia de moscas y otros vectores que propagan enfermedades, por lo que se le añade un tubo de ventilación que utiliza la acción del viento para provocar la circulación de aire desde el exterior de la letrina al hoyo a través de él. Por lo que cualquier olor es extraído por el tubo de ventilación y no por la caseta y así mantener la letrina sin mal olor. Aumenta la corriente de aire si la entrada se sitúa por el lado que sopla normalmente el viento. La puerta debe mantenerse cerrada para mantener el

interior oscuro. Este tubo debe sobresalir como mínimo medio metro por encima de la caseta.

Las ventajas de las letrinas de hoyo es que no necesita agua para su uso, el material de limpieza se puede desechar directamente en el hoyo, son fáciles de construir y las desventajas son que cuando se llena hay que trasladar toda la caseta y construir un nuevo pozo; los niños pueden tener problemas por el tamaño del hoyo, por tener que permanecer oscuro y además hay que tener en cuenta que si el nivel freático es alto no se puede hacer un hoyo hondo y es necesario sobre elevar la caseta y el pozo. (Hernandez, 2002)

4.1.1. Localización de las letrinas

La ubicación de las letrinas debe estar a una distancia entre 5 y 10 metros de la vivienda y siempre en el exterior. La distancia en línea recta de la letrina a una fuente de abastecimiento de agua será de 30 metros y siempre si existe pendiente debe estar con mayor elevación que dicha fuente de agua. En cuanto a las aguas subterráneas, la distancia entre el nivel máximo y el fondo de un foso debe ser mínimo de 1,5 metros.

Se debe respetar una distancia de al menos 2 metros con parcelas y tendrá que tenerse en cuenta la dirección del viento para evitar que se extiendan malos olores e insectos.

Su localización debe ser en zonas libres de inundaciones y en terrenos secos. En caso de que el terreno tenga pendiente, se localiza en las zonas bajas. Se debe evitar las zonas donde la capa freática es poco profunda y los terrenos impermeables y pedregosos. (Marquez, 2016)

4.2. Excusado de tanque

En el caso que se disponga de un terreno rocoso o con un nivel freático a poca profundidad no se puede excavar y construir el hoyo de la letrina. Lo más aconsejable es construir el excusado de tanque que es igual que la letrina de hoyo, pero en este caso el hoyo está cubierto por un material impermeable para impedir la filtración del contenido. Para la limpieza se deja una puerta de acceso fácil que normalmente bombeará el contenido del tanque hasta una cisterna y trasladando el contenido al sitio de disposición final. (Marquez, 2016)

4.3. Letrina abonera seca familiar

Es una alternativa de saneamiento a la letrina de hoyo, compuesta por dos cámaras que se usan de forma alternativa, también tiene un sentadero que separa la orina. Cuando se llenan tres cuartas partes de una de las cámaras o está muy cerca de llenarse, se nivela el contenido con un palo, se rellena usando tierra y se cierra mediante la losa. Entonces, se utiliza la segunda

cámara mientras el contenido de la primera sufre una descomposición anaeróbica. Al llenarse el segundo depósito, el primero se vacía mediante una compuerta que se encuentra al fondo y se puede volver a utilizar. Este contenido se puede utilizar como abono del suelo. Cada cámara debe tener un tamaño que permita acumular los desechos durante al menos un año para que la mayoría de los organismos patógenos, antes de que se obtenga el abono, se hayan muerto.

Las dos cámaras son independientes y se encuentran por encima del nivel del terreno. Están construidas sobre una base de cemento de 5 centímetros de espesor, para aislarla totalmente del terreno tiene una malla de hierro. Las cámaras se encuentran impermeabilizadas en el interior. Se utiliza una losa de cemento para sellar la parte superior de las cámaras que consta de un orificio para comunicar ambas cámaras donde se sitúan las tazas especiales.

Encima de las cámaras se construye la caseta con un orificio encima de cada una de ellas, donde el orificio que corresponde a la cámara que no se está utilizando tendrá la cubierta cerrada. Este tipo de letrina dispone de un tubo de ventilación para evitar los malos olores.

Para que funcione la letrina correctamente es necesario controlar la humedad. Se recoge la orina por separado y puede filtrarse directamente al suelo después de recogerla, dejarla en reposo y diluirla en agua ya se puede utilizar como fertilizante. Para controlar mejor la humedad, evitar el mal olor y mejorar el abono se echa en las cámaras paja, cal, arena ceniza u otras materias orgánicas después de cada uso, además el proceso de degradación biológica en seco es favorecido. Al utilizar este tipo de letrina se obtiene un abono orgánico relativamente inocuo.

Las ventajas de esta letrina son que se produce la degradación de las excretas produciendo abonos seguros, tienen una construcción económica y adaptable a las condiciones que se tienen en una vivienda rural. Otra ventaja es que se consigue eliminar los microorganismos patógenos para así evitar la transmisión de enfermedades, la contaminación del agua y el suelo generando un ambiente más sano y a la vez es fácil de mantener. Puede situarse cerca de la vivienda o incluso dentro de ella puesto que ocupa muy poco espacio, no produce olores evitando la proliferación de moscas. Para utilizarla no se necesita agua y se trata de una inversión recuperables ya que se producen beneficios que consisten en que con este tipo de letrina se produce un compost que se puede utilizar como fertilizante lo que produce que la inversión se recupere con facilidad. También se reincorpora al suelo la ceniza neutralizada.

En cambio, sus desventajas son que el coste de utilizar este tipo de letrina es mayor en comparación con los otros tipos, hay que manipular las excretas y controlar la humedad y, por último, que los niños puedan tener dificultad al

usarlo ya que no cuenta con un accesorio para sus menores dimensiones corporales. (Hernandez, 2002)

4.4. Retrete químico

Los retretes químicos constan de un tanque de acero inoxidable donde coloca, para minimizar los olores y descomponer los desechos, una sustancia química. Para ello, por ejemplo, se puede utilizar hidróxido de sodio que provoca que los desechos emulsionen, provocando su licuefacción. También se puede usar formaldehído y bromo, pero disueltos previamente con agua.

Para evitar los malos olores es necesario un vaciado regular de los desechos. No debe descargar este líquido a la red de cloacas que incluya un proceso de tratamiento de efluentes ya que los productos químicos adicionales influirían en la descomposición bacteriana. Tampoco puede incorporarse a río ni terrenos donde lleguen a las aguas subterráneas mediante la filtración.

El retrete químico se utiliza en barcos, aviones y vehículos de recreo. (Marquez, 2016)

5. DISPOSICIÓN DE EXCRETAS CON ACARREO DE AGUA

En los casos que no exista una cloaca o red cloacal cercana se puede utilizar un sistema de disposición de excretas privado como los que se exponen a continuación:

5.1. Tanque séptico

Los tanques sépticos se utilizan para tratar las aguas residuales de lugares que no tienen sistema de alcantarillado o resulta muy costosa la conexión con servicios de alcantarillado por encontrarse lejos. Las aguas residuales que llegan al tanque pueden proceder solo de letrinas con arrastre hidráulico o recibir también aguas grises domésticas (procedentes de duchas, cocina...).

El tanque séptico consiste en un sistema de eliminación de efluentes (mediante filtración) y aunque es más costoso que muchos de los sistemas de saneamiento in situ presenta la mayoría de las ventajas del alcantarillado. Es un sistema que necesita la cantidad de agua suficiente para arrastrar los desechos por los desagües hasta llegar al tanque. (OPS/CEPIS, 2005b)

Es un tanque impermeable y herméticamente cerrado donde se descargan los desechos de las letrinas, baños y cocinas, a través de desagües y se someten a un tratamiento parcial. Tras un tiempo, normalmente de 1 a 3 días, el líquido que ha sido parcialmente tratado se elimina a través del suelo utilizando zanjas de filtración o pozos de percolación. La mayoría de los problemas de los tanques sépticos tienen que ver con que no se tiene lo suficientemente en cuenta la eliminación de este efluente que procede del tanque. Este efluente es anaeróbico por lo que lo más probable es que contenga un gran número de agentes patógenos y sea una fuente de infección. No debe descargarse en canales ni en fuentes de agua y tampoco usarse para regar cultivos. (OPS/CEPIS, 2005a)

Uno de los objetivos a la hora de diseñar un tanque séptico es conseguir una estabilidad hidráulica y esto se consigue mediante la sedimentación por gravedad. En este proceso, los sólidos más pesados que el agua sedimentan en el fondo donde las bacterias anaeróbicas y anaeróbicas facultativas, que se encuentran en las aguas negras que llegan al tanque, inician un proceso de descomposición conocido como digestión. Mediante este proceso de descomposición gran parte de la materia orgánica se convierte en agua y gases, produciéndose una compactación de los lodos (debido al peso de los sólidos y líquidos que soportan) disminuyéndose notablemente el volumen respecto a los sólidos que aún no han sido tratados y convirtiéndose en materia estable. Esta capa de lodo debe extraerse. La eficiencia que presenta este método de eliminación de sólidos por sedimentación, puede llegar a ser muy elevada. Esto depende de los dispositivos de entrada y salida, el tiempo de retención y frecuencia de la extracción de lodos (limpieza del tanque séptico). En caso de

que de repente llegue al tanque una gran cantidad de líquido, los sólidos en suspensión pueden sufrir un aumento por la agitación de los sólidos que ya han sedimentado. (Rosales, 2003)

Por otro lado, los sólidos menos pesados que el agua, como las grasas, en la parte superior forman una capa de nata que se endurece y ocupa una parte importante del tanque. El líquido atraviesa el tanque entre la capa de espuma y la de lodos. Como sucedía con los lodos, la espuma también es descompuesta por las bacterias anaeróbicas y gran parte se convierte en agua y gases. Las burbujas de los gases que se producen en la digestión de lodos y espumas suben a la superficie creando perturbación a la corriente de líquido. (OPS/CEPIS, 2005b)

La velocidad de la digestión aumenta al aumentar la temperatura (el máximo se alcanza a unos 35°C). La construcción del pozo séptico depende del número de personas que lo utilicen. Hasta 25 personas el pozo se construirá de una cámara, si es para una mayor capacidad se construyen dos cámaras que son dos tanques sépticos con una pared separándolos. Si se utilizan desinfectantes en grandes cantidades las bacterias mueren y no se produce la digestión. (Marquez, 2016)

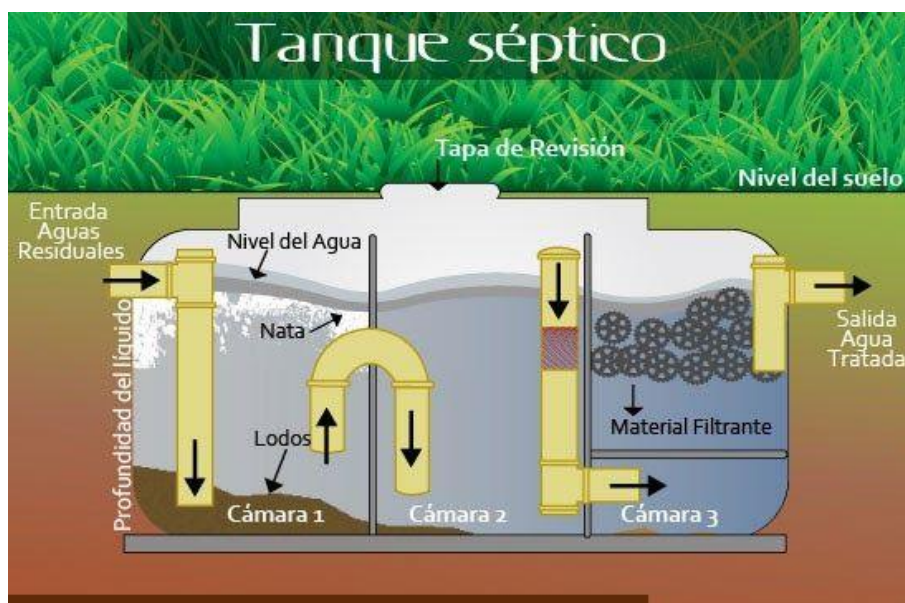


Figura 2: Tanque séptico

En la figura 2 se puede observar un tanque séptico. Las aguas residuales entran a la cámara donde los sólidos pesados se asientan en el fondo donde forman una capa de lodo, en cambio, los sólidos más ligeros como aceites y grasas flotan en la superficie creando una capa llamada nata. Entre ambas capas se encuentran las aguas residuales.

En el tanque séptico el agua clarificada pasa de un compartimento a otro a través del orificio situado en un punto intermedio entre las capas de lodos y flotante para evitar arrastres. En la segunda capa se vuelve a separar las materias sedimentables y las flotantes, pero en menor cantidad.

Dentro del tanque séptico, los microorganismos anaerobios y facultativos se alimentan de sólidos dentro del lodo y de las aguas residuales reduciendo su volumen. Finalmente, en la tercera cámara, el fluido atraviesa un material filtrante obteniéndose el agua tratada.

5.1.1. Ventajas y desventajas

Las ventajas que presenta un tanque séptico son que no es necesaria una limpieza frecuente, que es apropiado tanto para el medio rural como edificaciones, tiene un bajo coste de construcción y operación y otra ventaja que tiene es que su mantenimiento y operación son sencillas si se tiene una infraestructura de remoción de lodos.

Las desventajas de este tipo de tanque es que su uso está limitado a 350 personas, se necesita una infraestructura de remoción de lodos (como por ejemplo bombas) y la desventaja de que su uso es limitado dependiendo de la capacidad de filtración del suelo. (OPS/CEPIS, 2005b)

Debido a la acumulación de materia orgánica se produce una gran cantidad de gases en la fosa séptica como monóxido de carbono, metano y dióxido de carbono, y también escasez de oxígeno provocando problemas de mal olor.

5.1.2. Localización de tanques sépticos

Un tanque séptico debe situarse donde no haya riesgo de contaminar las fuentes de abastecimiento de agua destinadas al consumo humano. Se debe tener una pendiente aceptable que permita la instalación de cloacas y los demás elementos necesarios. También debe ser posible la disposición final del agua tratado y respetándose las distancias mínimas.

Estas distancias mínimas requeridas que hay que cumplir son que la distancia a una fuente de abastecimiento de agua y construcciones, tanto existentes como futuras, debe ser de 2 metros y que haya una distancia de 10 metros a los tanques subterráneos de agua. (OPS/CEPIS, 2005a) También debe existir dos metros de distancia con el sistema de disposición final y a las viviendas. Se debe situar aguas abajo de cualquier fuente de agua para el consumo humano.

Los tanques son sistemas de filtración por lo que se debe tener un área suficiente para poder disponer de todos los procesos del tratamiento. No se pueden poner en paralelo los tanques sépticos. (Marquez, 2016)

5.1.3. Etapas

En este sistema de tanque séptico para el tratamiento de aguas residuales, podemos considerar que existen tres etapas.

La primera tiene lugar en el tanque, que actúa como sedimentador. Como se ha mencionado anteriormente, los sólidos más pesados van al fondo y las partículas menos densas, como las grasas, se depositan en la parte superior. En esta etapa tiene lugar esta acumulación de partículas y después la descomposición de la materia orgánica por la acción de las bacterias anaerobias, produciéndose una biodigestión.

Luego hay una segunda etapa, la etapa de drenaje. Se produce la biodegradación de la materia orgánica disuelta en el efluente. En este proceso es importante la capacidad que tenga el terreno de absorción.

La tercera y última etapa, se trata de la remoción, tratamiento y disposición de los lodos. En esta etapa se trata la capa de lodo, que es una masa acuosa, que tiene una mayor concentración de materia que las aguas residuales iniciales. Los lodos residuales tienen una alta concentración de virus, bacterias y parásitos por lo que su utilización directa como abono puede producir problemas en el ambiente y en la salud humana. Por lo cual, en esta etapa los lodos son removidos en intervalos similares al periodo de limpieza. Antes de realizarse la remoción la cubierta del tanque debe permanecer abierta un mínimo de 15 minutos para la remoción de gases tóxicos o explosivos y en ningún caso se pueden arrojar a cuerpos de agua estos lodos removidos. El tratamiento de los lodos consiste en reducir la materia orgánica ya sea con un proceso de digestión anaerobia (los microorganismos transforman esta materia en gases, que reducen el peso y volumen del lodo) o mediante deshidratación de lodos, lecho de secado de lodos... Donde el uso final de lodo normalmente es abono para la tierra. (Rosales Escalante, 2005)

5.1.4. Consideraciones de diseño de tanques sépticos

Hay que tener en cuenta que para el correcto funcionamiento del tanque séptico es primordial la capacidad de filtración del terreno y no únicamente las dimensiones del tanque.

La capacidad mínima de un tanque séptico debe ser 3 m³ y no se debe diseñar un tanque para un caudal mayor a 20 m³/d. Si el tanque es de gran tamaño es necesario reforzar el fondo.

Los tanques se diseñan teniendo en cuenta la capacidad de la cámara, si el volumen es mayor a 5m³ está dividido en varias cámaras separadas por tabiques. No puede haber más de cuatro cámaras y cada una debe tener un largo de como mínimo 0,60 metros. (Marquez, 2016)

Cuando se tienen dos o más cámaras, la primera de ellas es la mayor teniendo un volumen del 50 al 60% de la sedimentación, las siguientes cámaras entre el 40-50% de la sedimentación. Esto es porque en la primera cámara tienen lugar la mayoría de los procesos de digestión y sedimentación por lo que a las siguientes cámaras solo llegan algunos materiales en suspensión. De esta forma si llega de repente una gran cantidad de aguas y la eficiencia de sedimentación se reduce, en la segunda cámara los efectos son menores. (Rosales, 2003)

A la hora de diseñar el tanque se debe tener en cuenta que tenga la capacidad de poder alojar la espuma y los lodos, para ello el largo de la cámara debe ser entre 2 y 3 veces mayor que el ancho y la altura del fondo hasta el nivel del líquido estar entre 1,20 y 1,60 metros.

Los tabiques disponen de aberturas por debajo de la espuma y sobre el nivel del lodo. Deben ser mínimo dos para que la distribución se mantenga uniforme en el tanque séptico. (OPS/CEPIS, 2005b)

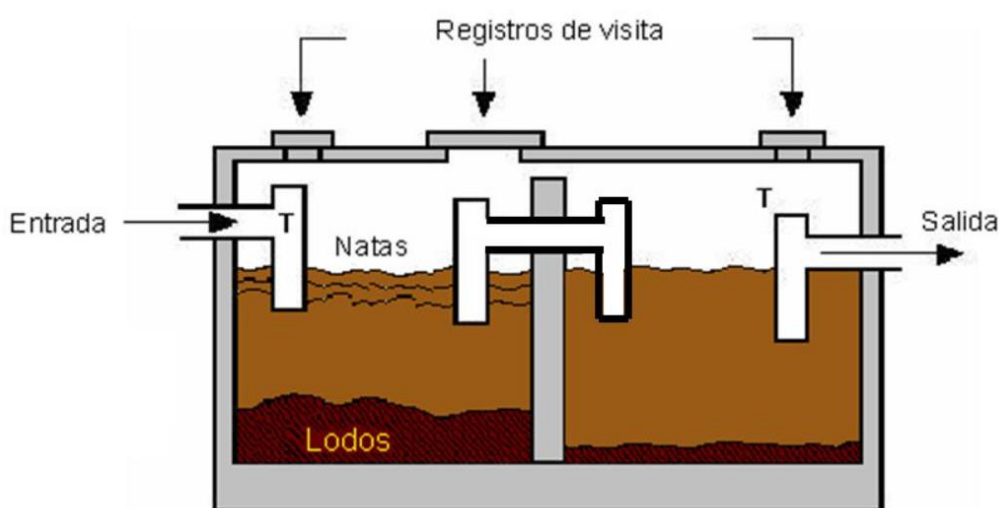


Figura 3: Dispositivos de entrada y salida en un tanque séptico

Los dispositivos de entrada y salida son tubos en forma de T. El de entrada se sitúa por debajo del nivel de espuma, a 0,3 metros, un diámetro como mínimo de 100 milímetros, y su pendiente será inferior al 1,5%. El punto más bajo de la T de entrada debe estar en la zona del efluente, pero sobre la zona de lodos. La entrada debe tener una tapa removible de mínimo 0,60x0,60 metros. La salida también debe tener una tapa removible del mismo tamaño para poder eliminar las obstrucciones. La tubería de salida tiene también un diámetro mínimo de 100 milímetros. La profundidad de la T debe ser de mínimo de 0,40 metros y se debe comprobar que exista como mínimo 0,10 metros entre la parte inferior del dispositivo de salida y la parte inferior de las espumas. Se coloca un deflector entre los lodos y la parte inferior de la salida para evitar que

salgan con el efluente. Los gases salen por la parte superior de la T de entrada y salida (como se observa en la figura 3) y se evacuan por las tuberías de ventilación.

Entre las dos cámaras debe existir comunicación, esta comunicación se basa en orificios que se sitúan por debajo del nivel del líquido del tanque, a 0,40 metros, con un tamaño de 0,30 metros de ancho y 0,10 de altura uniformemente repartidos a lo largo del tabique de separación. Este tabique debe tener una separación, como mínimo, de 5 centímetros con la cara inferior de la losa del tanque séptico. Las bocas de limpieza se ubican en la losa del tanque de manera que se pueda limpiar las dos cámaras, las T de entrada y de la salida del efluente y deben tener un tamaño de 0,60x0,60 metros.

La entrada del líquido debe ser un flujo horizontal, lento y con un tiempo de retención en el tanque de 24 horas para lograr que los lodos sedimenten y que los líquidos que salen por el otro extremo del tanque se estabilicen. La entrada y salida, como se ha comentado con anterioridad debe tener un diámetro mínimo de 100 milímetros esto se necesita para que se minimice la alteración del líquido a la entrada y salida. (OPS/CEPIS, 2005a)

El tanque debe tener un espacio libre que forma una cámara de aire entre la tapa del tanque y el líquido, lo que facilita la limpieza en el fondo del tanque de los lodos sedimentados. El fondo tiene una pendiente que envía los lodos hacia la abertura de 0,60x0,60 metros donde se extraen coincidiendo con la tapa del tanque.

Si tenemos unas condiciones en el fondo que son desfavorables o un tanque de gran tamaño es necesario reforzar el fondo. Las paredes del tanque deben ser impermeabilizadas y el techo está formado por una o más losas con resistencia para soportar las cargas. Estas losas son removibles y mayores de 0,60 x 0,60 metros. (Marquez, 2016)

Los lodos deberán ser drenados a lechos de secado, que son el método más utilizado cuando se quiere deshidratar el lodo digerido. Las ventajas que presentan son su bajo coste, el alto contenido en sólidos que presentan al final del tratamiento y el escaso mantenimiento que necesitan. En caso de tener que tratar lodos procedentes de instalaciones grandes (20000 habitantes) este método no es recomendado puesto que los costes de remoción de lodo, la inversión inicial y la reposición de arena son muy elevados, además también se necesitaría una gran superficie de terreno.

Existen cuatro tipos de lechos, los convencionales de arena, los pavimentados, de medio artificial y de vacío. El funcionamiento del lecho de secado convencional de arena consiste en extender el lodo formando una capa de 200 a 300 milímetros de espesor y dejar secar. El lodo se deshidrata a través de la

masa de arena y lodo por drenaje y por evaporación de la superficie expuesta al aire. Es fundamental tener un sistema de drenaje adecuado puesto que la mayor parte de agua se extrae así.

Si un tanque tiene más de 1,2 metros de ancho se necesita un vertedero igual de ancho que el tanque para que se reparta por igual toda la corriente en el tanque séptico y se añade un deflector para que no salgan las espumas con el efluente.

Se debe poner una tubería de ventilación con una malla para proteger de insectos o roedores.

El fondo del tanque debe ser inclinado (2% hacia el ingreso). Cuando sea posible por el terreno se coloca una tubería para drenar los lodos en la parte profunda que tendrá válvulas de limpieza. Si tiene varias cámaras, en la segunda el fondo es horizontal y la primera tiene inclinación hacia la entrada. Cuando se calcula la capacidad se toma el suelo horizontal en el punto más alto, así se consigue aumentar el volumen con la inclinación. (OPS/CEPIS, 2005b)

5.1.5. Mantenimiento de tanques sépticos

Si el pozo séptico se ha construido respetando las condiciones de diseño no necesita de limpieza hasta el segundo o tercer año, pero debe controlarse cada año (en caso de tratarse de instalaciones como colegios o comercios sería cada seis meses). (Marquez, 2016)

Para realizar estas inspecciones que nos permiten saber cuándo hacer la limpieza del pozo se realizan varias mediciones, una de ellas es medir el espesor de la capa de las natas flotantes. Para esta medición se puede utilizar un listón de madera graduado en centímetros y con una base de madera en el extremo (en forma de L) para atravesar el fondo de la capa de nata. Para ello se introduce la varilla por la T de salida y se mide la profundidad que hay entre la parte inferior de las natas y la boca inferior de la T. Esa distancia debe ser mayor a 8 centímetros, sino se necesita una limpieza. Otra forma diferente cuando no se puede realizar la anterior que ayuda a determinar si es necesaria una limpieza es medir la distancia entre la boca inferior de la T de salida y la capa de lodos y que esa distancia sea mayor a 30 centímetros. (OPS/CEPIS, 2005b)

Como parte del mantenimiento del tanque séptico se debe verificar el nivel de lodo en el fondo del tanque para ello se necesita otra varilla que en el extremo tiene un trapo blanco atado a un metro, así por impregnación se mide la cantidad de lodos que hay en el fondo acumulados. El proceso consiste en introducir por la T de entrada y salida (para que no se produzca contaminación

con las grasas) la varilla y por las partículas adheridas al trapo se conoce la profundidad del líquido y del sólido. (Rosales, 2003)

Se debe realizar la remoción del contenido del pozo ya que por su contenido en bacterias no se puede desechar en cuerpos de agua ni en la tierra. Una vez desalojado el contenido, del pozo séptico no debe desinfectarse ni lavarse ya que el remanente del fondo es lo que permite que las bacterias anaeróbicas continúen el proceso de descomposición de la materia orgánica. (Marquez, 2016)

Las limpiezas se deben hacer en periodos secos porque al trasladar los lodos para su estabilización, se pretende eliminar su contenido de agua y para ello la época seca es más propicia. A la hora de extraer los lodos, se extraen tanto los lodos que más tiempo llevan en el tanque, que ya están estabilizados, como los lodos frescos por lo que se realizan más pasos del tratamiento (como la eliminación de agua y otra etapa de biodegradación). Para llevar a cabo la limpieza, primero se extrae la capa de natas y después revolver todo el contenido, de esta manera se puede extraer los lodos que llevan más tiempo y el lodo fresco de manera simultánea. De esta mezcla, se debe dejar una pequeña cantidad (el 20%) en el tanque para que cuente con bacterias activas para continuar con el tratamiento. (Rosales Escalante, 2005)

5.1.6. Trampas de grasa, sumideros, zanjas de absorción y zanjas filtrantes

En un pozo séptico debe haber ciertos elementos para que se realice el proceso, uno de ellos es las trampas de grasa. En algunos casos donde se utiliza un pozo séptico porque no se dispone de redes cloacales, pero se tienen grandes cantidades de grasa se necesita un dispositivo que retenga esa grasa e impedir que llegue al pozo séptico, este elemento es una trampa de grasa que se coloca antes de que el efluente entre al pozo séptico.

Una trampa de grasa consiste en un dispositivo de acero inoxidable que se utiliza para separar los residuos de grasa. Si no se dispone de este dispositivo las tuberías se obstruirían de grasa. Se debe limpiar regularmente. El funcionamiento consiste en la sedimentación de los sólidos en suspensión y por flotación del material graso ya que la grasa se separa al ser más liviana. También dispone de un drenaje.

Otro elemento necesario cuando se tiene un pozo séptico son los sumideros. Se trata de un hoyo en la tierra donde se filtran los efluentes que vienen del pozo séptico y cubierto con una losa de 30 centímetros que se encuentra por debajo del terreno. Este hoyo se cubre con bloques de arcilla o ladrillos, con anillos espaciados cada metro y el fondo del sumidero se rellena con una capa de mínimo 20 centímetros de gravilla.

El efluente que proviene del pozo séptico debe disponerse de manera que pueda descargarse en el sumidero, en las zanjas de absorción y en las zanjas filtrantes.

El sumidero tiene que tener una capacidad que garantice que el efluente se va a filtrar por completo en 24 horas. Normalmente son de 1 metro de diámetro y 1,50 metros de profundidad, pero puede llegar a ser de 3 metros de diámetro y 6 de profundidad estimando un promedio de 250 litros/persona/día.

Al igual que sucedía con el pozo séptico, los sumideros deben situarse cumpliendo unas distancias mínimas, en el caso de la distancia al pozo séptico debe ser de mínimo 2 metros, a las fuentes de abastecimiento son 30 metros y 20 metros a los tanques de almacenamiento de aguas. La distancia mínima a los linderos del terreno son 5 metros y en caso de necesitar dos sumideros, entre sus bordes exteriores la distancia mínima debe ser de 3 veces la del diámetro mayor.

En caso de que no se pueda utilizar un sumidero para la disposición de los efluentes del pozo séptico como método final se utilizan las zanjas de absorción que consiste en un conjunto de tuberías que están enterradas a poca profundidad con un poco de pendiente y manteniendo, sin utilizar pegamento, las uniones entre las tuberías para que el efluente escape y se filtre en el terreno. Los tubos deben estar cubiertos con piedra picada o grava y las juntas se protegen por la parte superior para evitar que pase la grava o la piedra picada hacia el interior de la tubería y se tapone.

Debe cumplir las mismas normas de distancias mínimas que los sumideros en cuanto a la disposición final: 2 metros de distancia al tanque séptico, 30 metros a las fuentes de abastecimiento de agua, 15 metros a las fuentes de almacenamiento de agua y 3 metros a cualquier construcción o lindero.

En cuanto al tamaño de las zanjas, tienen una profundidad de 65 centímetros y una longitud máxima de 30 metros. Si se tiene una pendiente uniforme de 0,25% la zanja debe estar como mínimo a 60 centímetros del nivel freático para evitar que se contaminen las aguas subterráneas y que el terreno se sature excesivamente.

Las tuberías pueden ser de cualquier material, pero deben tener los extremos lisos y con un diámetro de 10 centímetros como mínimo. Los extremos deben ir sin campana puesto que se van a colocar separadas 1 centímetro y las juntas abiertas para permitir la filtración del efluente. Se debe proteger la parte superior del tubo para que no entre el material de relleno en la tubería.

Si se tiene un terreno impermeable, cuya filtración es lenta, con percolaciones superiores a 60 minutos/2,5 centímetros es necesario utilizar zanjas filtrantes para el efluente que proviene del sumidero. Las zanjas filtrantes consisten en

dos líneas de tuberías situadas una encima de otra, separadas por un material filtrante entre ellas. El efluente circula por la tubería superior filtrándose hacia la tubería inferior que conduce a una taquilla recolectora.

Las zanjas filtrantes deben cumplir una serie de normas: la distancia entre los bordes deben ser 3 metros como mínimo, la pendiente de las tuberías debe estar entre 0,25-0,50%. Las tuberías de distribución deben tener un diámetro de 10 centímetros como mínimo y 1 metro de largo. Se recomienda que las zanjas filtrantes sean rectangulares y que tengan un ancho de 0,75 a 1,50 metros y una profundidad de 1,30 a 1,50 metros. (Marquez, 2016)

5.2. Tanque Imhoff

El tanque Imhoff tiene como finalidad la remoción de los sólidos suspendidos de las aguas residuales. Ofrecen ventajas en el tratamiento de aguas residuales porque integran la digestión de los lodos sedimentados y la sedimentación del agua en una misma unidad, también son conocidos como tanques de doble cámara. Es un proceso muy simple que no tiene parte mecánica, pero para usarlo se necesita un proceso preliminar de remoción y cribado de arena. Se coloca un sistema de cribado y un desarenador para mover las partículas o cualquier material que pueda alterar el proceso por su gran tamaño o dañar la estructura. Los tanques Imhoff se colocan y construyen alejado de la población ya que produce malos olores. (OPS/CEPIS, 2005b)

Normalmente es rectangular y está formado por una cámara de digestión de lodos, una cámara de sedimentación y el área de ventilación y acumulación de natas.

En el proceso, las aguas residuales circulan por la cámara de sedimentación donde se remueve la mayoría de los sólidos sedimentables que se deslizan por las paredes, que están inclinadas, hacia el fondo de esta cámara pasando por la cámara de digestión a través de una ranura con traslape que está en el fondo del sedimentador. La función del traslape es imposibilitar que las partículas suspendidas en los sólidos o los gases, que son producto de la digestión, obstaculicen el proceso de sedimentación. Se separan las partículas ascendentes y los gases que se producen en la digestión y se envían a la cámara de ventilación y acumulación de natas.

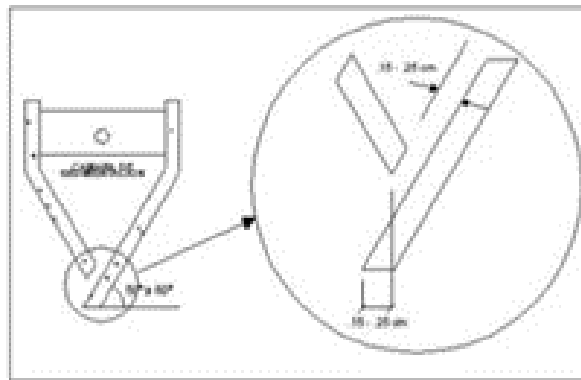


Figura 4: Ranura con traslape en la cámara de sedimentación

En este proceso se producen lodos que quedan acumulados en el digestor, Estos lodos se extraen y se llevan a los lechos de secados donde se reduce por filtración el contenido en humedad. Después de esto, se retiran y se utilizan para mejorar los suelos o simplemente se entierran. (CENTA, 2009)

5.2.1. Ventajas y desventajas

Las ventajas que presenta el tanque Imhoff es que produce un líquido residual con mejores características que el tanque séptico debido a que contribuye mejor a la digestión del lodo. Salvo en excepciones, no descarga nada de lodo en el líquido efluente. Este lodo se evacua con mayor facilidad ya que se seca (contiene entre un 90-95% de humedad). También es una ventaja que presentan menor tiempo de retención y necesitan menos terreno para su construcción en comparación con las lagunas y tienen un coste bajo de construcción y operación. (OPS/CEPIS, 2005b)

Salvo el hecho de que necesitan una criba gruesa y la separación de arenillas no necesitan que las aguas que se introducen en los tanques Imhoff sufran ningún tratamiento preliminar. Por último, son adecuados para poca población donde no sea necesaria una atención cuidadosa y constante y para evitar la contaminación de las corrientes con un efluente que cumple ciertos requisitos.

Por lo que este tipo de tanque es adecuado cuando no se tenga una gran área de terreno para construir un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Las desventajas de los tanques Imhoff son que su estructura es profunda (mayor de 6 metros) y su construcción en roca o arena fluida es complicada por lo que se debe tener precaución cuando el nivel freático es alto para evitar que sea desplazado cuando esté vacío o que el tanque flote. También hay que tener en cuenta que el efluente que sale tiene mala calidad microbiológica y orgánica y que puede producir malos olores a pesar de que funcione correctamente. (CENTA, 2009)

Con un tanque Imhoff se elimina entre el 40-50% de los sólidos suspendidos y se puede reducir la DBO entre un 25-35%. Debido a que el valor que se reduce la DBO y coliformes es bajo, el efluente se puede enviar a una laguna para que se produzca una buena remoción de los microorganismos del efluente. (OPS/CEPIS, 2005b)

5.2.2. Componentes del tanque Imhoff

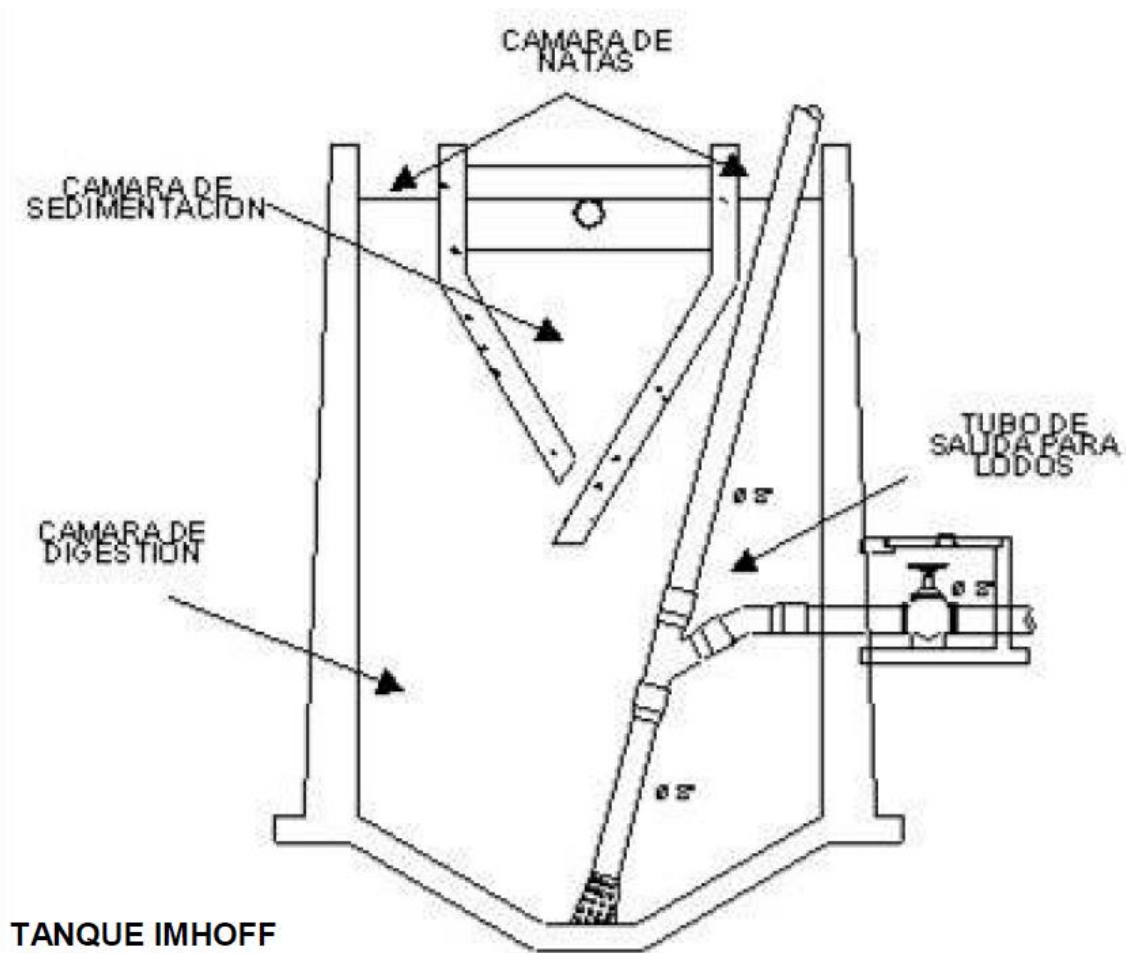


Figura 5: Tanque imhoff

a) Cámara de sedimentación

Las paredes y el fondo de esta cámara se deben construir con un material lo más liso posible para que el lodo no se quede en la cámara de sedimentación. El fondo de esta cámara es de sección transversal con forma de V y una pendiente de los lados entre 50-60° con la horizontal. La apertura debe tener entre los dos bordes una distancia de 15 a 20 centímetros. Uno de estos lados se prolonga para que los gases no pasen al sedimentador. (OPS/CEPIS, 2005a)

Debajo de la abertura puede utilizarse una viga triangular como deflector esta viga otorga una ventaja y es que reduce la profundidad que necesita el tanque

para la acumulación de lodos. Las dimensiones recomendables de este dispositivo son 3 metros de profundidad, una relación largo-ancho de 4 y la relación de largo profundidad entre 5 y 30. Hay que tener en cuenta que la longitud no debe ser superior a 30 metros para tener una buena distribución del lodo, el ancho debe evitar que se formen corrientes transversales y para la profundidad la dificultad de la excavación.

Las aguas que han sido tratadas en la cámara de sedimentación deben salir sobre un vertedero que sea largo para así reducir lo máximo posible las fluctuaciones que se producen en el nivel de las aguas en el tanque. (OPS/CEPIS, 2005b)

A la entrada y salida se colocan unos deflectores colgantes y sumergidos, también se colocan deflectores intermedios para evitar el paso de las espumas con el líquido saliente y el movimiento de las espumas. También se necesita situar a la entrada del tanque una pantalla con orificios para distribuir el caudal de manera uniforme en el sedimentador.

A la salida el dispositivo debe situarse de tal manera que el escurrimiento en el tanque se distribuya de manera uniforme en las tolvas de la cámara donde tiene lugar la digestión el lodo acumulado. (CENTA, 2009)

b) Cámara de digestión

La cámara de digestión debe tener una superficie lisa y el nivel de los lodos debe estar a 0,5 metros por debajo, como mínimo, del fondo del sedimentador. El fondo debe tener forma de pirámide invertida, llamada tolva de lodos, para facilitar el retiro del lodo digerido. Las paredes de esta tolva presentan una inclinación de 15-30°. Si se utiliza más de una tolva se ponen conexiones debajo de la superficie que alcancen el lodo para que se distribuya uniformemente en todas las tolvas sin que ninguna se sobrecargue. (OPS/CEPIS, 2005a)

Para evitar que el tanque cuando se encuentra vacío se desplace si hay elevación de las aguas residuales, el tanque imhoff debe construirse macizo y con un techo pesado, con válvulas que se abran hacia el interior cuando las aguas subterráneas tengan un nivel más alto que las aguas del tanque o con un drenaje inferior en la cimentación. El techo también sirve para evitar la formación de malos olores, para estimular la actividad bacteriana y proteger las aguas del tanque, pero el tanque debe tener un fácil acceso para limpiarlo y repararlo y tener ventilación. (OPS/CEPIS, 2005b)

El tiempo que se necesita para la digestión de los lodos depende de la temperatura:

Temperatura (°C)	Tiempo de digestión (días)
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

Tabla 1: Variación del tiempo de digestión con la temperatura en un tanque Imhoff (CENTA, 2009)

c) Extracción de lodos

La frecuencia con la que se deben extraer los lodos se calcula a partir de estos tiempos de referencia, teniendo en cuenta que se tiene una mezcla de lodos digeridos y de lodos frescos, estando los digeridos al fondo del digestor. Por lo que, para la primera extracción se debe esperar el doble del tiempo y en las extracciones sucesivas de lodos se espera al menos el tiempo de digestión.

Se coloca un tubo de 200 milímetros de diámetro, de hierro fundido (tiene que ser de un material no corrosivo) para quitar los lodos (al menos que el lodo se extraiga por bombeo, que puede ser entonces de 150 milímetros) y evitar la acumulación de gases. Este tubo debe estar en posición casi vertical con el extremo inferior, a unos 15 centímetros encima del fondo del tanque y con su extremo abierto. Para este proceso la carga hidráulica mínima requerida será de 1,80 metros sobre la tubería de extracción. Se pone una válvula en el tramo horizontal, al estar abierta el lodo fluye. (OPS/CEPIS, 2005a)

En los canales y tuberías para el lodo deben ponerse el mínimo número de cambios de dirección que se pueda e instalar un dispositivo de limpieza en cada uno de estos cambios. Se debe inyectar agua a presión para conducir el lodo. Esta tubería lleva el lodo al lecho de secado. (CENTA, 2009)

d) Cámara de ventilación y cámara de natas

El volumen de esta cámara ocupará aproximadamente la mitad que la cámara de digestión. El área que ocupa esta cámara debe estar expuesta al aire y la superficie libre total tiene que ser como mínimo el 30% de la superficie del tanque. (OPS/CEPIS, 2005b)

El espacio libre debe ser de 1 metro como mínimo (espacio desde la parte interior del digestor hasta la parte exterior del sedimentador). El borde libre tiene que tener mínimo 30 centímetros.

Debe ser accesible la parte superior del tanque para poder extraer o destruir las espumas o los objetos flotantes, por lo que el área de ventilación debe tener un tamaño suficiente para que una persona pueda entrar en la cámara de lodo cuando este vacío el tanque. (CENTA, 2009)

e) Lecho de secado de lodos

Es el método más económico y simple para deshidratar los lodos digeridos, lo que resulta perfecto para pequeñas poblaciones. Los lechos de secado deben tener una profundidad útil entre 50-60 centímetros. El ancho suele estar entre 3 y 6 metros, pero si se tiene una instalación grande puede pasar los 10 metros. Debe haber al menos 2 lechos de secado. (OPS/CEPIS, 2005b)

f) Drenaje

El medio de drenaje normalmente son 0,30 metros de espesor y tiene los siguientes componentes: un medio de soporte formado por una capa de 15 centímetros de ladrillos situada sobre el medio filtrante separado con arena, de 2 a 3 centímetros. La arena actúa como medio filtrante, con un tamaño entre 0,3-1,3 milímetros, y entre 2 y 5 de coeficiente de uniformidad. Por último, debajo de la arena se sitúa un estrato de entre 1,6-51 milímetros de grava con 0,20 metros de espesor.

Los tubos del drenaje tienen un diámetro de 100 milímetros, de hierro fundido y están instalados debajo de la grava. En caso de tener cambios de dirección hay que incluir válvulas de limpieza. Los muros son impermeables. Para cada lecho debe haber una tubería de descarga con una válvula de compuerta y una losa en el fondo para que no se destruya el lecho. (OPS/CEPIS, 2005a)

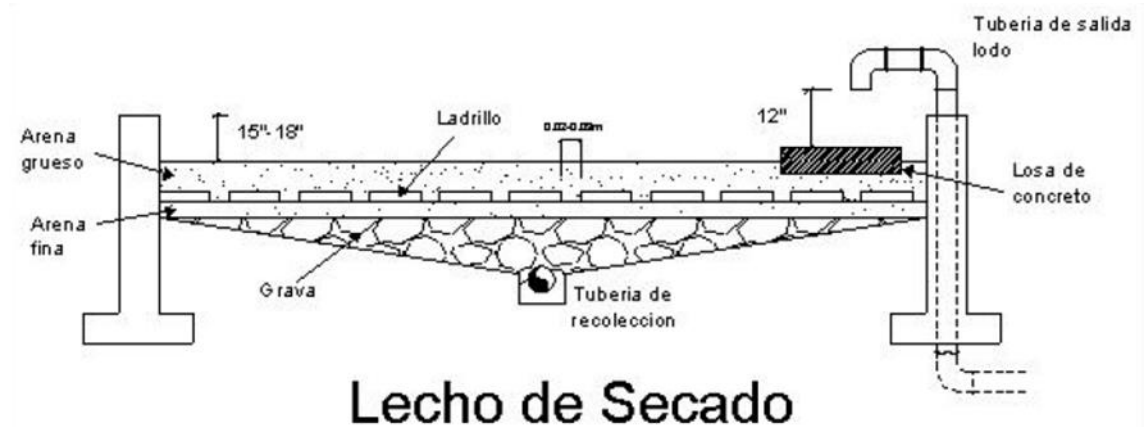


Figura 6: Drenaje

5.3. Lagunas de estabilización

Las lagunas de estabilización consisten en una estructura simple que sirve para embalsar aguas residuales y mejorar sus características sanitarias. Una laguna de estabilización tiene periodos de retención grandes (de varios días) y se construyen con poca profundidad (de 2-4 metros).

Al descargar las aguas residuales en las lagunas de estabilización se produce un proceso denominado autodepuración o estabilización natural, que tiene

lugar en todas las aguas estancadas que tienen un alto contenido en materia orgánica biodegradable, y tienen lugar procesos químicos, físicos, biológicos y bioquímicos.

Para valorar el comportamiento de una laguna de estabilización y la calidad de sus efluentes se tienen en cuenta dos parámetros, la DBO que es la demanda bioquímica de oxígeno que se caracteriza por la carga orgánica y el NMP que es el número más probable de coliformes fecales que caracteriza la contaminación microbiológica. Aparte de estos dos parámetros, también tienen importancia los sólidos en suspensión, los sedimentables y disueltos.

También hay que tener en cuenta que a mayor temperatura se obtiene un crecimiento de microorganismos mayor y viceversa. En un pH ácido los microorganismos no sobreviven. Los principales nutrientes en el tratamiento biológico son el fósforo y el nitrógeno, pero si se tienen en exceso se produce la eutrofización. Si se tienen metales pesados o pesticidas producen el decrecimiento de las bacterias y un exceso de DQO produce que funcione mal la laguna. (OPS/CEPIS, 2005b)

Dependiendo del efluente que reciba la laguna de estabilización se denomina diferente. Si recibe el agua residencial cruda se tiene lagunas primarias, las que reciben el efluente de la laguna primaria se llama secundaria y así de manera sucesiva teniendo lagunas terciarias, cuaternarias, quinquenarias... Cuando la laguna es de un grado superior al segundo también se las conoce como lagunas de acabado, pulimento o maduración.

A la hora de diseñar una laguna se deben construir al menos dos lagunas en paralelo para que se pueda operar en una de las unidades mientras en la otra se hace la limpieza de lodos. La unidad de tratamiento de la laguna de estabilización puede ser como laguna única (cuando hay climas fríos) o seguida de lagunas secundarias y terciarias.

El diseño está sujeto a dos variables, la mortalidad de las bacterias y a las temperaturas. En el caso de la temperatura, el diseño se hará con la temperatura promedio del mes más frío (temperatura del agua). Esto es debido a que la depuración es más lenta en los meses de invierno por la menor temperatura del agua, por lo que hay que diseñar en función de estos datos para evitar las sobrecargas y el mal funcionamiento en épocas frías. (OPS/CEPIS, 2005a)

Si el proceso se produce en una laguna facultativa es diferente del proceso que sucede en una laguna anaerobia. De todas formas, ambos son efectivos y útiles para estabilizar la materia orgánica y reducir de las aguas residuales los organismos patógenos que están presentes. Para estabilizar la materia orgánica se realiza un proceso aerobio con un suministro de oxígeno gaseoso.

Los organismos aerobios aprovechan el oxígeno presente en las moléculas de materia orgánica que degradan. Hay organismos que tienen la capacidad de adaptarse a los dos ambientes, anaerobio y aerobio, y se denominan facultativos. Dependiendo si hay oxígeno o no presente la estabilización de la materia orgánica que hay presente en las aguas residuales se realiza de forma anaeróbica o aeróbica. (OPS/CEPIS, 2005b)

5.3.1. Ventajas y desventajas

La ventaja que presentan las lagunas de estabilización frente a los otros tratamientos es que tiene la capacidad de recibir y retener agua residual en grandes cantidades, además soportan sobrecargas orgánicas e hidráulicas con mayor flexibilidad. También se puede obtener una biomasa más variada y efectiva.

También presenta la ventaja de que no necesita instalaciones para producir oxígeno, se produce de forma natural, no se necesita desinfectar puesto que la desinfección es natural, no se necesita personal cualificado y el mantenimiento es mínimo.

Son sistemas muy eficientes a la hora de eliminar virus, bacterias y parásitos debido a sus mecanismos y a que tiene tiempos de retención altos.

Las desventajas de este proceso es que se necesita un área grande de terreno, produce vectores (mosquitos, caracoles, etc.) que propagan enfermedades, depende de las condiciones climáticas y no permite modificar el proceso. (OPS/CEPIS, 2005b)

5.3.2. Proceso aerobio

Se trata de un proceso que se caracteriza por la presencia de oxígeno. Este oxígeno se encuentra disuelto en una masa de agua donde se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica. Se obtienen compuestos inorgánicos, que usan como nutrientes para las algas, mediante la acción de bacterias aerobias o facultativas. Así las algas producen más oxígeno ayudando a la actividad de las bacterias aerobias, existiendo una simbiosis entre las algas y bacterias que ayuda a la estabilización aerobia de materia orgánica.

Con la acción de las enzimas que producen las bacterias por medio de sus procesos vitales se produce la descomposición de la materia orgánica. Mediante estos procesos bioquímicos, las bacterias consumen oxígeno para lograr esta descomposición, este oxígeno forma parte de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). (OPS/CEPIS, 2005a)

En el proceso inverso, las algas mediante la presencia de luz solar, sintetizan la materia orgánica, utilizando los compuestos inorgánicos, para incorporarla a

su protoplasma. Este proceso se conoce como fotosíntesis y mediante él las algas generan una gran cantidad de oxígeno que se encuentra disuelto.

El resultado final a esta simbiosis entre la bacteria y las algas en el proceso aerobio en una laguna facultativa se llega a la estabilización de la materia orgánica putrescible que inicialmente se encuentra en las aguas residuales convirtiéndose en materia orgánica viva que se incorpora al protoplasma de las algas. En una laguna de estabilización no se clarifica el agua residual tanto como en una planta convencional de tratamiento. (OPS/CEPIS, 2005b)

5.3.3. *Proceso anaerobio*

Es un proceso más lento que el anterior y los productos pueden ocasionar malos olores. Se considera que el proceso es anaerobio cuando el consumo del oxígeno que está disuelto es mayor que el oxígeno que se incorpora a la masa de agua por el proceso de la fotosíntesis de las algas, el que se transfiere del aire y el oxígeno que ya hay disuelto lo que produce que la laguna tome un color gris oscuro.

En este caso la descomposición de la materia orgánica se produce de manera más lenta y el mal olor que se genera es debido a la producción de sulfuro de hidrógeno, procedente de esa transformación de la materia orgánica. (OPS/CEPIS, 2005b)

5.3.4. *Procesos en lagunas facultativas*

La fase aerobia y anaerobia de una laguna facultativa no son constantes, interactúan entre ellas y depende también de la radiación solar. La capa aerobia predomina durante el día, mientras que por la noche es la capa anaerobia la que prevalece.

El papel de las algas en las lagunas de estabilización es muy importante en el proceso biológico ya que es el organismo responsable de producir oxígeno molecular que es un elemento necesario para que las bacterias participen en la oxidación bioquímica de la materia orgánica. Por lo que la presencia, en niveles adecuados, de las algas asegura el correcto funcionamiento de la capa aerobia de la laguna de estabilización. Si se pierde el equilibrio ecológico puede producirse que predomine la fase anaerobia frente la aerobia y como consecuencia se produzca una reducción de la eficiencia que tiene el sistema. (OPS/CEPIS, 2005a)

5.3.5. *Diseño de una laguna facultativa*

Para diseñar una laguna facultativa se deben tener en cuenta ciertas consideraciones, como que la profundidad debe ser entre 1,5 y 2,5 metros en caso de tratarse de una laguna primaria y además se debe tener en cuenta la acumulación de lodos con una limpieza cada 5-10 años, por lo que habrá que

añadir una profundidad adicional. Esta acumulación de lodo de lugar a un 80% en remoción de sólidos en suspensión del efluente y sufre una reducción del 50% de los sólidos volátiles por la digestión anaerobia. (OPS/CEPIS, 2005a)

El periodo de retención para obtener una remoción de parásitos en la laguna que sea adecuada es de mínimo 10 días en una de las unidades, en este caso se obtiene un 99,99 % de remoción de parásitos. Para saber si se necesita tratar el efluente en otra laguna, se debe calcular el valor de remoción de los coliformes fecales y de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y compararlo con la ley de aguas sobre la calidad del agua en la salida del efluente de una planta de tratamiento de aguas residuales.

Esta nueva laguna porque no se cumplen las normas estipuladas se tiene que seguir otro método diferente. Esta laguna se conoce como laguna de maduración y tiene 1 metro de profundidad. Se debe intentar que los valores de la DBO y de los coliformes de encuentren cercanos a los límites máximos que se permiten puesto que cuanto más alejados estén mayor será el tamaño con el que hay que construir la laguna, aumentando su coste.

El revestimiento de la laguna aumenta bastante el coste por lo que solo se debe realizar cuando no pueda evitarse. Para ello se debe impermeabilizar el fondo cuando se trate de una tierra porosa poniendo una capa compacta. También se pueden usar geomembranas pero eso aumentaría aún más su coste. El revestimiento de los taludes no es necesario cuando la pendiente es 1:3, 1:4 y 1:6 debido a que las olas originadas por la fricción del viento revientan contra el talud. Si la pendiente es mayor es obligatorio el revestimiento. Se recomienda que este revestimiento sea de piedra colocando una parte por debajo y otra por encima del nivel del agua.

Para conseguir una distribución proporcional entre el caudal que entra y el que sale por los vertederos se utilizan vertederos rectangulares en vez de los triangulares. La entrada debe ser simple y cercana al borde de los taludes. En la salida se debe instalar un dispositivo para medir el caudal para comprobar el funcionamiento de la unidad, ya que se determina el nivel de agua dentro de la laguna a partir de la salida. (OPS/CEPIS, 2005b)

En la laguna de estabilización el borde libre debe ser de 0,5 metros, en caso de que se pueda haber oleaje por el viento el borde libre debe ser mayor y además construir una protección para evitar la erosión de los diques. (OPS/CEPIS, 2005a)

6. Filtro percolador

A la hora de valorar las alternativas para la gestión de aguas residuales hay que tener en cuenta los filtros percoladores, que son filtros biológicos con la misma función que los anteriores equipos y que se utilizan para complementarlos, eliminar la materia orgánica presente en las aguas residuales. Este tipo de filtros utiliza microorganismos que están adheridos a un medio para mediante un tratamiento aeróbico eliminar la materia orgánica presente en el agua residual. El filtro percolador está presente, por ejemplo, en reactores de lecho compacto (biotolvas). Este tipo de sistemas se llaman procesos de crecimiento adherido mientras que cuando los microorganismos se conservan en el líquido se llaman procesos de crecimiento en suspensión. (Daigger and Boltz, 2012)

Un filtro percolador funciona de tal manera que los microorganismos (bacterias anaerobias, aerobias y facultativas; algas, hongos y protozoos) que están adheridos al medio formando una capa de limo o película biológica (entre 0,1 y 0,2 milímetros de espesor) absorben la materia orgánica que hay en las aguas residuales. Según van fluyendo las aguas por el medio, los microorganismos presentes en el agua se adhieren a superficie de plástico o la roca formando una película. Es entonces cuando la materia orgánica es degradada por microorganismos aeróbicos presentes en la parte exterior de la película biológica. Mientras va aumentando la capa por el crecimiento microbiano se va reduciendo la cantidad de oxígeno ya que no puede introducirse en la cara del medio por lo que se forman los organismos anaeróbicos. La película biológica continúa aumentando su tamaño y los microorganismos que se encuentran cerca de la superficie van perdiendo la capacidad de adherirse al medio, esto produce que una parte de la película biológica se desprenda del filtro. A este proceso se le llama desprendimiento y se recogen los sólidos desprendidos mediante un sistema de drenaje inferior y después son transportador a un clarificador para eliminarlos de las aguas residuales. (EPA, 2000)

En el lecho filtrante, la biopelícula y el aire están en contacto con las aguas residuales. El oxígeno presente en el aire se disuelve y se transfiere mediante difusión por la biopelícula (estando el aire en contacto directo con la biopelícula porque el lecho no está inundado) con los nutrientes que hay en las aguas residuales. Para que la biopelícula funcione correctamente se tiene que suministrar un aporte de aire ya que es un proceso biológico aerobio. Si con la ventilación natural no se consigue se puede recurrir a la aireación forzada.

Para que no se obstruyan los poros del lecho el agua residual, al entrar, debe estar libre de sólidos gruesos. Por lo que deben pasar por un pretratamiento y también por un tratamiento primario.

Para asegurarse la hidratación del lecho y que la capacidad del tratamiento sea óptima se recircula el efluente. Además, utilizar esta técnica, garantiza que a

la entrada la concentración de DBO es inferior. También previene olores y la proliferación de moscas. (Burgos, López and Rodríguez, 2015)

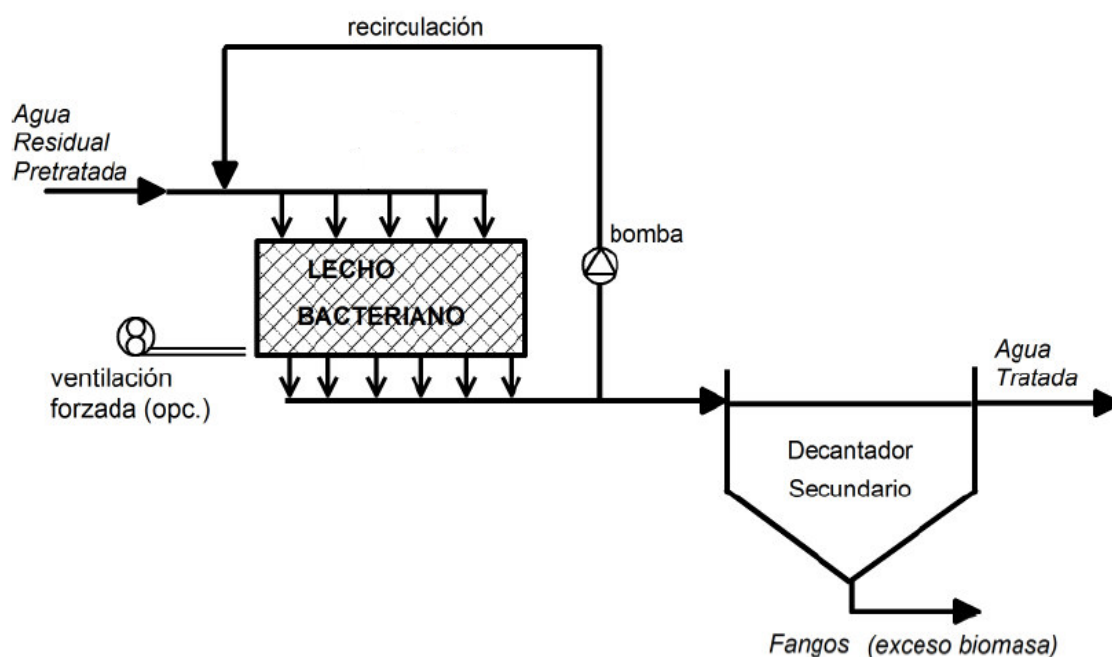


Figura 7: Sistema de filtro percolador (Burgos, López and Rodríguez, 2015)

6.1. Ventajas y desventajas

Este proceso biológico es fiable, sencillo y puede cumplir las leyes de vertido secundario. Es adecuado cuando no se tiene una gran extensión de terreno para un sistema de tratamiento intensivo. Se trata de un tratamiento que según el medio que se utilice, es eficaz para tratar altas concentraciones de materia orgánica. Reduce rápidamente la DBO de las aguas residuales. Otra de sus ventajas es que tiene bajo requerimiento de energía y los elementos del proceso son duraderos. Las unidades de nitrificación son eficientes y no se necesita un nivel de experiencia avanzado para gestionar el sistema.

Por el contrario, para cumplir las normas más estrictas de vertido, puede ser necesario un tratamiento posterior. Necesita una atención regular, requiere cargas bajas, hay una incidencia alta de atascos y la flexibilidad y control pueden ser limitados si se comparan con los lodos activos. Existen problemas de vectores y olores y aumenta la presencia de caracoles. Por último, se puede acumular biomasa en exceso que la condición aerobia no puede retener y esto perjudica el rendimiento del filtro percolador. (EPA, 2000)

6.2. Consideraciones de diseño

Un filtro percolador está formado por un lecho de plástico o roca sobre el que se reparten las aguas residuales.

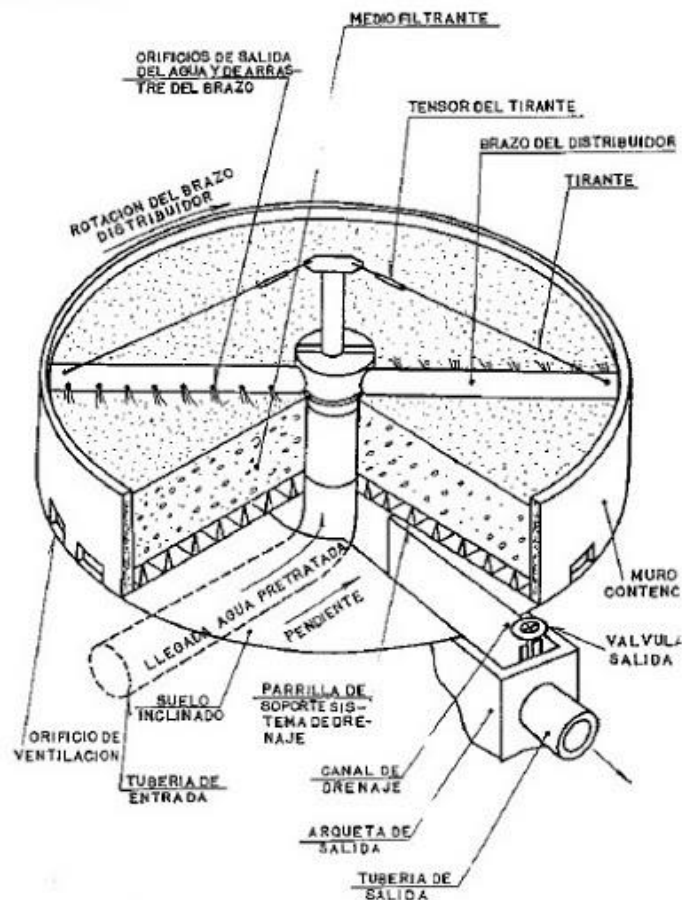


Figura 8: Filtro percolador (EPA, 2000)

El lecho de roca puede tener un diámetro de hasta 60,96 metros y una profundidad entre 0,9 y 2,4 metros. Aproximadamente, los medios rocosos proporcionan una superficie de unos $149 \text{ m}^2/\text{m}^3$ de área superficial y al menos el 40% del espacio vacío. Los filtros de plástico (bitorres), en cambio, el diámetro es menor, entre 6 y 12 metros y una profundidad entre 4,3 y 12,2 metros, pareciéndose más a torres. Este medio se puede encontrar con configuraciones diferentes como con flujo vertical o cruzado. En el caso del flujo cruzado, en especial cuando se tiene una carga orgánica baja, ofrece una mejor distribución del flujo. Si se compara estas dos configuraciones, el flujo cruzado a 60 grados y el flujo vertical, se observa que el flujo vertical tiene una distribución equitativa del agua residual y minimiza los atascos de las cargas orgánicas mejor que el flujo cruzado. Si se tiene un medio de plástico se necesita añadir disposiciones como aditivos en la capa superior del filtro de protección ultravioleta, además de un mayor espesor en la pared de plástico en la sección inferior ya que las cargas aumentan. (Daigger and Boltz, 2012)

El diseño debe incluir también un sistema de distribución hidráulica rotativa. Para este proceso suele ser estándar, pero se utilizan también distribuidores de boquilla fija para reactores rectangulares o cuadrados. Normalmente, estos

distribuidores de boquilla fija se usan solo en instalaciones pequeñas. En la actualidad, algunos distribuidores están equipados con unidades motorizadas lo que permite controlar la velocidad. Pueden configurarse para que se accionen en condiciones de parada o en todo momento.

El filtro percolador dispone de un sistema de drenaje inferior para recoger el sólido y los filtrados. También se usa este sistema para dar aire a los microorganismos del filtro. El efluente se dirige a un tanque de decantación donde se separan los sólidos del agua residual tratada. Generalmente una parte del líquido de esta cámara se recircula lo que mejora el lavado del medio filtrante, la humectación, optimiza el proceso y aumenta la tasa de eliminación. Es necesario que haya suficiente aire disponible. Si se tienen orificios de ventilación en la parte inferior del filtro y se dispone de un área vacía en el medio suele ser suficiente con las fuerzas del viento. (EPA, 2000)

Existen cuatro tipos de filtros en función de la carga orgánica e hidráulica:

- Filtros de tasa baja: se utilizan cuando se tiene una carga inferior a 0,40 kg diarios de demanda bioquímica de oxígeno (DBO)/ m³ / d. Este tipo de filtro tiene menos problemas en relación a olores o taponamiento ya que tiene una tasa de carga menor. Suelen ser circulares y tienen un distribuidor rotativo (aunque algunos pueden ser rectangulares). Suelen tener bombas periódicas o sifones de dosificación por lo que tienen una alta tasa de humectación en intervalos cortos y así evitar que el medio filtrante de plástico se seque. En caso de ser de roca no están limitados hidráulicamente. Los sólidos desprendidos en este filtro están bien digeridos por lo que producen menor cantidad de sólidos. La calidad del efluente se alcanza con facilidad si incorpora medios filtrantes que tengan capacidad de biofloculación
- Filtros de tasa media: pueden cargarse hasta con 0,64 kg de DBO/ m³/ d. El efluente del filtro percolador se debe recircular para tener mezcla completa y tener una buena distribución. Los sólidos biológicos no se digieren tan bien como los anteriores.
- Filtros de tasa alta: se cargan con la máxima capacidad del filtro y reciben una carga entre 0,64 y 1,60 kg de DBO/ m³/ d. Para lograr una calidad aceptable del efluente en este tipo de filtro se suele necesitar una segunda etapa por lo que normalmente estos filtros se utilizan como procesos combinados.
- Filtros de desbaste: tiene capacidad para que una cantidad significativa de DBO se depure a través del filtro percolador. Suele variar la carga entre 1,60 y 4,80 kg/ m³/ d. (Burgos, López and Rodríguez, 2015)

Tipo de filtro	Tasa baja	Tasa media	Tasa alta	Filtro de desbaste
Eliminación DBO (%)	80-90	50-70	65-85	40-65
Medio	Roca	Roca	Roca	Plástico/roca
Recirculación	No existe o mínimo	Normalmente	Siempre	No requerido
Desprendimiento	Intermitente	Varía	Continuo	Continuo
Calidad del efluente	Bien nitrificado	Algunos nitrificación	Limitado nitrificación	Sin nitrificación
Profundidad (m)	1,8-2,4	1,8-2,4	0,9-2,4	0,9-6
Carga orgánica (kg DBO/m ³ /día)	0,4	0,4-0,64	0,64-1,6	1,6-4,8
Carga hidráulica (m ³ /m ² /día)	0,04-0,15	0,15-0,4	0,4-1,5	2,5-7,0

Tabla 2: Resumen tipos de filtros (Fondo para el logro de los ODM, 2010)

6.3. Mantenimiento

Uno de los problemas de los filtros percoladores son los olores desagradables. Esto puede deberse a dos causas, una es que haya una excesiva carga de materia orgánica produciéndose una descomposición anaeróbica en el filtro. Las posibles soluciones a esto son reducir la carga, aumentar la eliminación de DBO que se produce en los tanques de sedimentación primarios, reciclar el efluente de la planta, depurar los gases, utilizar en vez de roca medios de plástico, aumentar el aire en las cámaras o mejorando las condiciones aeróbicas que hay en las unidades de tratamiento con oxidantes químicos. La otra causa de este problema es que haya una ventilación inadecuada, los remedios para esto son lavar el exceso de crecimiento biológico aumentando la carga hidráulica, desatascar las tuberías de ventilación, instalar ventiladores para inducir corrientes de aire por el filtro, comprobar si el filtro está obstruido por la descomposición del medio, si los drenajes inferiores están inundados reducir la carga hidráulica o eliminar, del drenaje y de la parte superior del medio, los desechos de los canales.(EPA, 2000)

Otro problema que puede surgir es la estanqueidad del medio filtrante, esto se puede deber a la presencia de materias extrañas en el filtro o a un crecimiento biológico excesivo. Esto se puede remediar aumentando la carga hidráulica para que así aumente el desprendimiento, reduciendo la carga orgánica, cubriendo la superficie del filtro con un chorro de agua a alta presión, inundando el filtro 24 horas, manteniendo un residuo de cloro en el filtro unas

horas, sustituyendo el medio filtrante, apagando el filtro y que se pueda secar el medio filtrante o retirando los residuos. (Daigger and Boltz, 2012)

También puede darse que haya moscas en el filtro, esto puede ser porque haya una humedad inadecuada en el medio filtrante para ello se puede desconectar las boquillas u orificios de aspersión, aumentar la carga hidráulica, inundando el filtro durante unas horas una vez a la semana durante la temporada de moscas, rociar las paredes del filtro o utilizar cloro residual durante varias horas en el filtro. También por unas malas prácticas de limpieza y esto se soluciona eliminando los arbustos y la maleta que rodea al filtro. (Burgos, López and Rodríguez, 2015)

Se puede producir hielo por tener el agua residual una temperatura baja. Esto se puede solucionar reduciendo la recirculación, eliminando el hielo de las boquillas, orificios y distribuidores con un chorro de agua a presión, reduciendo el número de filtros, pero siempre cumpliendo los límites para el efluente, utilizando tiempos de retención menores en el tratamiento primario y pretratamiento o construyendo cubiertas.

Y, por último, puede que el filtro se detenga o ralentice. Esto puede ser por un flujo insuficiente que impide girar el distribuidor por lo que hay que aumentar la carga hidráulica o solucionarlo cerrando los chorros de inversión. Puede ser debido a que los orificios y distribuidores estén obstruidos por lo que hay que limpiarlos o eliminar los sólidos del agua residual. También debido a que el distribuidor no está nivelado por lo que hay que ajustarlo y por último debido a que las varillas que tiene el distribuidor pueden golpear el material por lo que hay que nivelarlo o eliminar una parte del material. (EPA, 2000)

7. Fotorreactor

El fotorreactor consiste en un proceso para eliminar los compuestos orgánicos volátiles donde se absorben en la superficie del material. El fotocatalizador se activa en la presencia de la luz ultravioleta del sol y la humedad presente en el ambiente. Se generan en este proceso radicales libres oxidantes que destruyen los agentes contaminantes (virus, bacterias y compuestos orgánicos volátiles) liberándose las moléculas oxidadas que regresan al ambiente. Así se consigue la destrucción que los compuestos orgánicos volátiles en su totalidad eliminando así sus olores característicos. (Tirado and Gómez-, 2016)

Este tipo de reactor necesita un buen contacto entre reactivos y catalizador (esto se consigue con una elevada área superficial del catalizador por unidad de volumen de reactor) y una exposición eficiente de la luz útil en el proceso con el catalizador (se necesita una distribución óptima dentro del reactor de la luz).

También hay que considerar parámetros tales como el mezclado, la interacción entre reactivos y catalizador, distribución de flujo. También hay que tener en cuenta las diferentes opciones de fotorreactores que hay, con el catalizador en suspensión o en algún soporte cuando son procesos en agua (como es el caso que aquí se trata) o con catalizador monolítico si son procesos en fase gaseosa. (Gálvez *et al.*, no date)

7.1. Disposición del catalizador

Independientemente de la aplicación del fotorreactor (tratamiento de aguas contaminadas o el de gases) el diseño de un fotorreactor eficiente los factores principales que se deben optimizar son la disposición del catalizador y el aprovechamiento energético. (Tirado and Gómez-, 2016)

En el caso del rendimiento energético, se sitúa en el centro del reactor la fuente de energía (normalmente una lámpara UV) y son los que dan mejores resultados. La disposición del catalizador en el reactor y el tipo de soporte que se utiliza (si no se trabaja con suspensiones) tiene diferentes propuestas. Se puede utilizar vidrio, cerámicos o polímeros y los soportes pueden ser con forma de malla, reticulares...

Las ventajas de un catalizador inmovilizado en vez de uno en suspensión es que se evita la posterior separación al tratamiento, la recuperación en condiciones óptimas para su reutilización y como paso previo la resuspensión del sólido.

En cuanto a las desventajas es que disminuye la superficie activada del catalizador disminuye en comparación si estuviera en suspensión. La transferencia de materia se limita a bajos caudales, esto es más intenso al aumentar la potencia de iluminación ya que no se aprovecha una gran parte de

ella y cuando esto sucede al aumentar el flujo de protones no aumenta la velocidad de reacción. También existe dificultad para tener una correcta iluminación al tener la fuente de fotones en el exterior del reactor, esto es un problema cuando se trabaja con radiación solar. Se produce un aumento en la pérdida de carga del reactor, la consecuencia de esto es que incrementa los costes de capital y energéticos ya que deben tener sistemas de bombeo con mayor potencia. (Gálvez *et al.*, no date)

7.2. Concentración e iluminación del catalizador

La forma en la que incide la radiación sobre el reactor y la longitud que tiene el camino óptico de la radiación en el interior del reactor son necesarios para poder determinar la concentración de catalizador óptima. (Tirado and Gómez-, 2016)

Si la lámpara se encuentra en el interior del reactor, la concentración del catalizador es muy alta (del orden de gramos por litro) para obtener un rendimiento alto se necesita un camino óptico corto (varios milímetros), pero si la concentración de catalizador es baja (cientos de miligramos por litro) para obtener el rendimiento alto el camino óptico tiene que ser de varios centímetros.

Si la lámpara está situada en el exterior y el camino óptico es corto (entre 1 o 2 centímetros) el rendimiento máximo se obtiene con 1 o 2 gramos por litro de catalizador. En cambio, si el camino óptico es de varios centímetros (similar al caso de un reactor que es iluminado por radiación solar) la concentración necesaria en este caso para obtener el rendimiento máximo es de cientos de miligramos por litro. (Gálvez *et al.*, no date)

En estos casos se produce un efecto llamado apantallamiento y consiste en que, al tener una concentración de catalizador muy alta, disminuye la velocidad de reacción debido a la opacidad de la disolución impidiendo que el catalizador situado en la parte más interna se pueda iluminar. (Malato Rodríguez and Blanco Gálvez, no date)

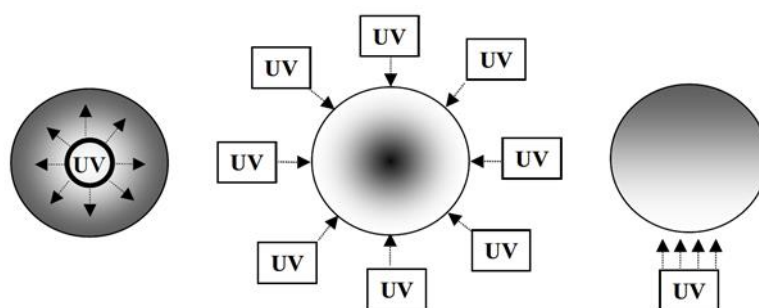


Figura 10: Efecto apantallamiento en reactores fotocatalíticos para tratamiento de agua en función de la fuente de alimentación

La relación entre la concentración de catalizador y la velocidad de reacción depende de la intensidad de la iluminación. A mayor intensidad, la concentración del catalizador puede ser mayor.

También están relacionadas las dimensiones del reactor con la concentración de catalizador ya que en un proceso fotocatalítico se debe garantizar que el reactor utiliza el máximo número de fotones útiles que llegan a dicho reactor, Hay que evitar estos fotones salgan del reactor sin interceptar alguna partícula objeto de la absorción de radiación. (Gálvez *et al.*, no date)

7.3. Tiempo de residencia

El tiempo de residencia es un parámetro muy importante tanto en procesos en fase gaseosa como acuosa. El tiempo de residencia es el tiempo que cada unidad de fluido está expuesto a la radiación al pasar por el reactor. En el caso de haber recirculación no es tan importante puesto que el tiempo que se necesita para llegar a la degradación excede el tiempo de residencia y es necesaria esta recirculación. En procesos que solo tienen un paso por el reactor hay que conseguir igualar el tiempo requerido en el proceso fotocatalítico al tiempo de residencia. El tiempo de residencia se modifica con el caudal másico del proceso. En caso de utilizarse luz solar, se suele usar recirculación pues to que la fuente de luz no es controlable. (Gálvez *et al.*, no date)

8. Caso concreto

Se trata de plantear una planta portátil de tratamiento de aguas residuales fecales generadas en campamentos de verano que minimice el impacto ambiental. El tamaño medio de un campamento de verano suele ser entre 50 y 150 personas. La planta debe ser portátil puesto que los campamentos duran entre 15 y 30 días y luego cambian de ubicación, también hay que tener en cuenta, que en esta situación se dispone de poca cantidad de agua para el transporte de los residuos.

Para definir la planta, hay que tener en cuenta el caudal que tendría. Cada niño produce 1 L/d, tomando este valor y considerando que el tamaño de un campamento es de entre 50 y 150 personas la planta debe tratar un caudal de entre 50 L/d para campamentos pequeños y 150 L/d en el caso de un campamento con mayor afluencia.

Teniendo en cuenta estas condiciones, la planta portátil estará compuesta por un digester anaerobio, un biofiltro aerobio, un sedimentador y un fotoreactor.

La digestión anaerobia consiste en un proceso biológico donde la materia orgánica mediante la acción de bacterias y ausencia de oxígeno se transforma en biogás (CH_4 , H_2S , H_2 , etc) y en un digestato mezcla de (N, K, P, etc). El biogás obtenido tiene un alto porcentaje de metano (50-70%) por lo que es apto para aprovecharlo. Se ha elegido esta opción ya que la digestión anaerobia es uno de los procesos más idóneos para tratar aguas residuales que tienen una carga alta de materia orgánica, reducir de manera significativa los malos olores, reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y en el aprovechamiento energético de la materia orgánica.

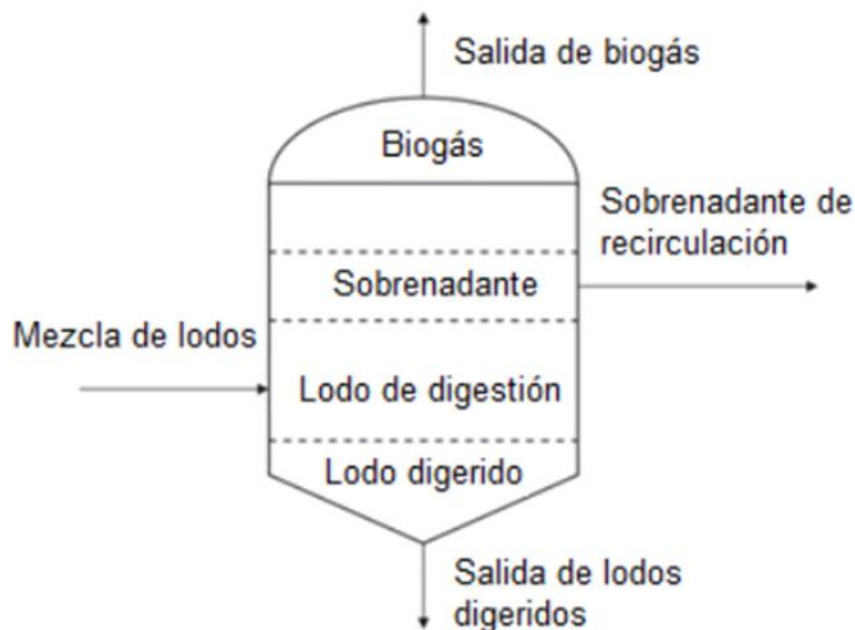


Figura 11: Digestor anaerobio

Para diseñar la planta se tiene que tener en cuenta que es una planta portátil y que el tiempo de retención depende de la duración del campamento. El tiempo de retención se define como el cociente del volumen del reactor y el caudal a tratar, es decir, es el tiempo medio de permanencia que tiene el influente en el reactor. En la figura 12 se presenta la tendencia de la eliminación de materia orgánica (en forma de sólidos volátiles) y la producción de biogás en función del tiempo de retención. Teniendo en cuenta que la duración de los campamentos de verano es alrededor de verano es entre 15 y 30 días se considera el digestor anaerobio una opción adecuada.

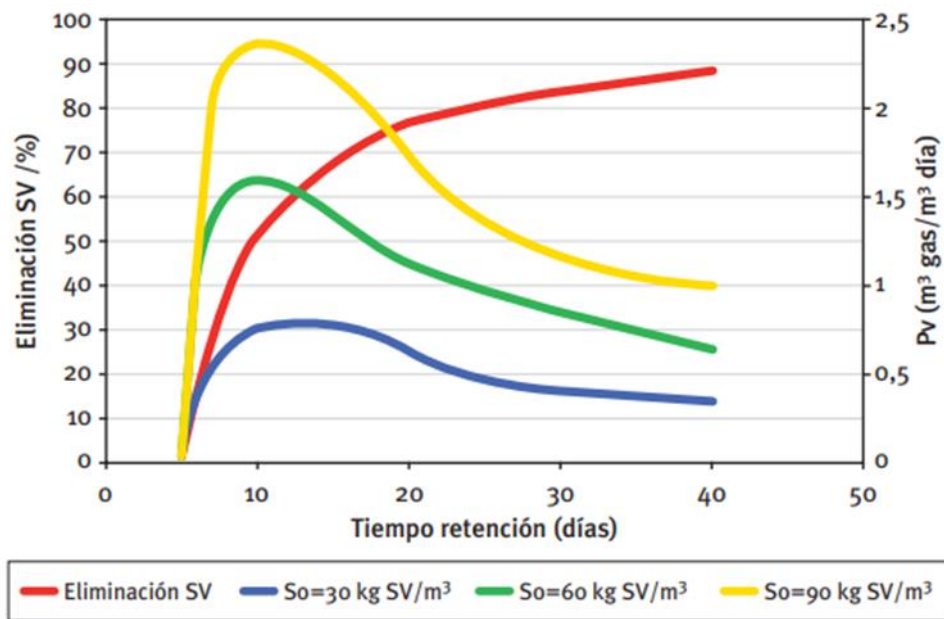


Figura 12: Eliminación de sólidos volátiles y producción de biogás para un reactor anaerobio continuo y mezcla completa en función del tiempo de retención (IDAE, 2007)

El porcentaje de biodegradabilidad de estas aguas residuales, para calcular el biogás que se puede producir en esta planta, es de 350 mL metano/g DQO eliminada. La carga de DQO presente en las excretas humanas es de 140 g DQO/persona/d, por lo que:

$$DQO = 140 \frac{g DQO}{persona \times d} \times 50 personas = 7000 \frac{g DQO}{d}$$

$$DQO = 140 \frac{g DQO}{persona \times d} \times 150 personas = 21000 \frac{g DQO}{d}$$

Por lo que, el caudal tiene una DQO de entre 7000 y 21000 dependiendo del tamaño del campamento, vamos a suponer que el rendimiento del reactor es

del 50%, es decir se elimina el 50% de la DQO que entra, por lo que, para cada caso el metano que se produce es:

$$\begin{aligned} \text{Metano} &= 7000 \frac{\text{g DQO}}{d} \times 350 \frac{\text{mL metano}}{\text{g DQO}} \times 0,5 \frac{\text{g DQO eliminados}}{\text{g DQO}} \\ &= 1225 \frac{\text{L metano}}{d} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Metano} &= 21000 \frac{\text{g DQO}}{d} \times 350 \frac{\text{mL metano}}{\text{g DQO}} \times 0,5 \frac{\text{g DQO eliminados}}{\text{g DQO}} \\ &= 3675 \frac{\text{L metano}}{d} \end{aligned}$$

Como hemos comentado que el porcentaje de metano en el biogás es de entre el 50 y 70 %, si suponemos una concentración aproximada del 60 %:

$$\text{Biogas} = 1225 \frac{\text{L metano}}{d} \times \frac{1 \text{ L biogas}}{0,6 \text{ L metano}} = 2041,67 \frac{\text{L biogas}}{d}$$

$$\text{Biogas} = 3675 \frac{\text{L metano}}{d} \times \frac{1 \text{ L biogas}}{0,6 \text{ L metano}} = 6125 \frac{\text{L biogas}}{d}$$

Por lo que, en un campamento utilizando un digestor anaerobio se pueden producir hasta 6125 L biogás/d si se tiene un campamento de 150 niños.

El volumen del digestor anaerobio, para un campamento de 150 niños y una duración de 30 días, sería:

$$V = tr \times Q$$

Siendo V el volumen del digestor, tr el tiempo de residencia y Q el caudal que llega al digestor. Por lo que queda un volumen de 4,5 m³.

Después, se ha elegido un biofiltro aerobio. Su funcionamiento, como se ha explicado anteriormente, consiste en rociar el agua de desecho y decantarla sobre el filtro. Al pasar el agua por los poros que tiene el filtro, la materia orgánica se va degradando por la acción de la biomasa que cubre el filtro. Este método se ha elegido por su bajo costo y eficiencia. Además, como se ha mencionado con anterioridad, en la elección de los equipos para esta planta un factor muy importante a tener en cuenta es que se trata de una planta móvil y que los tiempos de residencia deben ser bajos, por lo que el filtro aerobio es apto ya que presenta tiempo de residencia de horas para ser eficaz.

Consisten en estanques rellenos de un medio sólido que tienen un área superficial considerable, parecidas a piedras (suele ser arena o grava) entre 2,5 y 10 centímetros de diámetro.

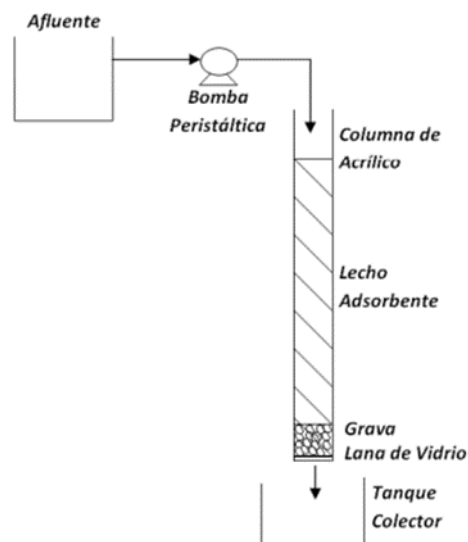


Figura 13: Esquema de un biofiltro aerobio (Torres Andrade, 2014)

El siguiente equipo es un sedimentador, cuya función principal es facilitar la sedimentación puesto que reduce la turbulencia de las aguas residuales. Por último, se tiene el fotoreactor, donde se utiliza la energía solar con la ayuda de un catalizador para degradar los contaminantes que aún permanezcan en el agua.

El proceso que seguirían las aguas residuales consiste en que la mezcla de excretas es arrastrada por el agua hasta un digester anaerobio con agitación que trata las aguas negras, donde tiene lugar la hidrólisis (solubilización) y la degradación de la materia orgánica. En el digester la materia orgánica sufre una biotransformación en biogás por la acción de los microorganismos anaerobios. El efluente que sale del tanque anaerobio tiene baja concentración en materia orgánica y patógenos pero una alta concentración en nitrógeno. Esta corriente fluye por gravedad a un biofiltro percolador aerobio (cuya función es separar líquido y sólido) consistente en un lecho empacado con microorganismos aerobios nitrificantes que oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrato y la materia orgánica residual más recalcitrante. El efluente del biofiltro fluye por gravedad a un sedimentador que eliminará los sólidos en suspensión. El sobrenadante, libre de sólidos y materia orgánica se desinfectará en un fotorreactor por efecto de la radiación solar y el aumento de temperatura.

Este proceso se realiza sin la necesidad de bombeo, todo es por gravedad, sumado a la agitación manual del digester anaerobio y que la desinfección es solar provoca que el consumo de energía sea nulo consiguiendo el objetivo de eliminar la materia orgánica, nitrógeno amoniacal y los patógenos y además se obtiene biogás a partir de la materia orgánica.

9. Conclusión

Después del estudio de estas alternativas de gestión de residuos y aguas residuales se ha llegado a la conclusión de que la planta más óptima para este proceso es un sistema formado por una digestión anaerobia de las excretas a temperatura ambiente, seguida de una etapa de biofiltración aerobia, acoplada a una separación sólido-líquido por sedimentación y una de desinfección solar con el objetivo de eliminar la totalidad de la materia orgánica, patógenos y nitrógeno amoniacal de las aguas residuales fecales.

El prototipo de depuración de aguas residuales fecales de campamentos de verano está integrado por una configuración novedosa de tecnologías biológicas (digestor anaerobio a temperatura ambiente y biofiltro percolador aerobio) y físico-químicas (sedimentador y fotorreactor de desinfección). El proceso permite una eliminación de materia orgánica, patógenos y nitrógeno amoniacal a temperatura ambiente, con mayores eficiencias que las letrinas convencionales y sin la utilización de productos químicos. El empleo de agitación manual del digestor anaerobio, el flujo del agua residual por gravedad entre sus componentes y la desinfección solar conllevan un consumo energético nulo del proceso de depuración de aguas fecales. Su carácter modular y móvil (transportable) le confieren la versatilidad necesaria para su implantación en cualquier campamento. La tecnología anaerobia empleada para la estabilización de las heces permitiría la generación de un biocombustible gaseoso (unos 6125 L metano/d para un campamento de 150 niños) que podría emplearse posteriormente en el campamento.

Con esto se cumple la optimización hidrodinámica de un sistema que permite un flujo efluente por gravedad en todos sus componentes, la evaluación de la biodegradación de la materia orgánica, nitrógeno amoniacal y patógenos del agua residual, además de producir biogás a partir de la materia orgánica.

10. Referencias bibliográficas

Burgos, A. J., López, J. S. and Rodríguez, P. U. (2015) 'Trickling Filters (Fs-Bio-003)', *Technology fact sheets for effluent treatment plants of textile industry trickling*, (September). Available at: <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558166/Trickling+filters.pdf/1c2ef2b5-6f3b-326a-c33b-bea411572184>.

CENTA (2009) 'Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades', *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades*, pp. 46–65. Available at: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19117/capitulo4.pdf>.

Daigger, G. T. and Boltz, J. P. (2012) 'Trickling Filter and Trickling Filter–Suspended Growth Process Design and Operation: A State–of–the–Art Review', *Water Environment Research*, (May). doi: 10.2175/106143010x12681059117211.

EPA, U. (2000) 'Wastewater Technology Fact Sheet: Trickling Filters', *Environmental Protection Agency*, pp. 1–7.

Fondo para el logro de los ODM (2010) 'Guía para el capacitador en educación sanitaria y ahorro del agua', *Gestión integral y adaptativa de recursos ambientales para minimizar vulnerabilidades al cambio climático en microcuencas alto andinas*. Available at: http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/guia_para_el_capacitador_en_educacion_sanitaria_y_ahorro_del_agua.pdf.

Gálvez, J. B. et al. (no date) '11 diseño de reactores para fotocátalisis: evaluación comparativa de las distintas opciones'.

Hernandez, H. (2002) 'Agua y saneamiento: Opciones prácticas para vivir mejor', *Programa de preparativos para situaciones de emergencia y coordinación de socorro en casos de desastres, PED*. Available at: <http://bvvsper.paho.org/share/ETRAS/AyS/texcom/desastres/040244.pdf>.

IDAE (2007) *Biomasa: Digestores anaerobios, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)*. Available at: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_dig_estores_07_a996b846.pdf.

Malato Rodríguez, S. and Blanco Gálvez, J. (no date) 'Procesos Fotocatalíticos'.

Marquez, B. F. de (2016) *Sistemas individuales de disposición de excretas*. Available at: <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/sistemas-individuales-disposicion-excretas>.

Martín, Suárez, I. et al. (2006) *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Mejora de la calidad de los efluentes, Manual*. Available at: <http://www.cienciacanaria.es/files/Guia-sobre-tratamientos-de-aguas-residuales-urbanas-para-pequenos-nucleos-de-poblacion.pdf>.

Metcalf and Eddy (1995) *Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1: Tratamiento, vertido y reutilización*.

OPS/CEPIS (2005a) 'Construcción De Tanque Séptico , Tanque', *Publicaciones Estadísticas y Geográficas. SINA*, p. 47. Available at: [http://cecodes.net/manuales/ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE TANQUE SÉPTICO, TANQUE IMHOFF Y LAGUNA DE ESTABILIZACIÓN.pdf](http://cecodes.net/manuales/ESPECIFICACIONES_TÉCNICAS_PARA_LA_CONSTRUCCION_DE_TANQUE_SÉPTICO,_TANQUE_IMHOFF_Y_LAGUNA_DE_ESTABILIZACION.pdf).

OPS/CEPIS (2005b) 'Guía para el diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y lagunas de estabilización', *Publicaciones Estadísticas y Geográficas. SINA*, p. 40. Available at: [https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS 2005. Guía para el diseño de tanques sépticos.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS_2005_Guía_para_el_diseño_de_tanques_sépticos.pdf).

Rosales, E. (2003) 'Tanques sépticos. Conceptos teóricos base y aplicaciones (detalles que se han olvidado o la práctica ha venido tergiversando)', *Instituto tecnológico de costa rica*, p. 59.

Rosales Escalante, E. (2005) 'Tanques sépticos. Conceptos teóricos base y aplicaciones', *Tanques sépticos. Conceptos teóricos base y aplicaciones*, 18(2), pp. 26–33.

Tirado, G.- and Gómez-, P. A. (2016) 'Construcción de un foto-reactor para medir el desempeño de un geopolímero fotocatalítico', 3(8), pp. 34–39.

Torres Andrade, G. F. (2014) 'Tratamiento De Aguas Residuales Mediante La Combinación De Técnicas Avanzadas De Oxidación Y Biofiltros', *Universidad De Las Palmas De Gran Canaria*, pp. 41–80.