



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

## Optimización del Tratamiento de Aguas Residuales en Zona de Operaciones

Autor

Jesús Ramón Arévalo Jódar

Director/es

Director académico: Dra. Dña. María del Carmen Blanco Ortiz

Director militar: Cap. D. Miguel Ballesteros Peral

Centro Universitario de la Defensa-Academia General Militar

Año 2016



## *Agradecimientos*

A mi DIRACA Mamen, por su guía en mi último trabajo del Grado, a mi DIRMIL el Capitán Ballesteros y al Capitán San Martín por su ayuda en la documentación y también al Tte. Guerra, por su apoyo durante las PEXT. Agradecer a todo el personal destinado en el REI 11 que sin su ayuda, no se habría conseguido este resultado.



## Índice

|  |    |
|--|----|
| Resumen.....   | 1  |
| Abstract .....   | 1  |
| 1. Introducción y Objetivos .....  | 3  |
| 2. Impacto en el medioambiente y en la salud .....                               | 4  |
| 2.1. Impacto en el medioambiente .....   | 5  |
| 2.2. Impacto en la salud .....   | 7  |
| 3. Situación y Procedimientos Actuales .....                                     | 8  |
| 3.1. Aguas Negras.....   | 10 |
| 3.1.1. Tratamientos para Aguas Negras .....                                      | 10 |
| 3.2. Aguas grises y pluviales .....  | 13 |
| 3.2.1. Tratamientos para Aguas Grises y Pluviales.....                           | 14 |
| 4. Propuesta .....   | 15 |
| 4.1. Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales .....                | 16 |
| 4.1.1. Pretratamiento .....  | 16 |
| 4.1.2. Tratamiento Primario .....  | 17 |
| 4.1.3. Tratamiento Secundario.....   | 17 |
| 4.1.4. Tratamiento terciario .....   | 18 |
| 4.1.5. Dimensiones de la PTAR.....   | 18 |
| 4.2. Selección del proceso de filtrado para aguas grises.....                    | 19 |
| 5. Ventajas y debilidades estratégicas en Zona de Operaciones .....              | 20 |
| 5.1. Ventajas del tratamiento de las aguas residuales con recursos propios ..... | 20 |
| 5.2. Debilidades del tratamiento de aguas residuales con recursos propios.....   | 21 |
| 6. Conclusiones.....   | 23 |
| 7. Futuras Líneas de Trabajo .....   | 23 |
| 8. ANEXOS.....   | 24 |
| 9. Lista de Tablas .....   | 34 |
| 10. Lista de Figuras .....   | 35 |
| 11. Bibliografía.....  | 36 |



## Resumen

Uno de los aspectos que las Fuerzas Armadas españolas tienen que abordar cuando se encuentran en misiones internacionales, es la gestión de los residuos que producen dentro de sus bases, entre ellos las aguas residuales. La mayor parte de esta agua proviene del uso de duchas, cocinas, lavabos e inodoros. Estos residuos acuosos se recogen en fosas sépticas que hay que vaciar periódicamente para evitar su acumulación. De este modo, el problema de la gestión del agua residual supone también un problema de seguridad, al necesitar diariamente empresas civiles ajenas al Ejército que se hagan cargo de estas sustancias.

A lo largo de este trabajo, se estudiarán las medidas tomadas actualmente por las Fuerzas Armadas españolas en el exterior y se plantearán posibles mejoras o soluciones para el tratamiento de las aguas negras, grises y pluviales.

## Abstract

One of the main problems that the Spanish Armed Forces have to deal with when they are deployed in international missions, is the sewage treatment inside their bases, including sewage water. Most of this water comes from the use of showers, kitchen, sinks and toilets. These liquid wastes are collected in septic tanks which have to be emptied periodically to prevent its accumulation. On this way, the sewage water management problem also means a security problem, because of civil companies are needed to take over of these wastes.

Throughout this work, the measures currently taken by the Spanish Armed Forces abroad will be studied and also, it will be offered possible improvements and solutions for black water, gray water and rainwater treatment.





## 1. Introducción y Objetivos

En algunas ocasiones, la participación en una misión internacional implica construir una base en el país designado. La construcción de estas bases se lleva a cabo por niveles en función del personal que va a habitarlo y del tiempo estimado de la misión [1]. Los diferentes niveles son:

- **Nivel 1:** En este primer nivel se plantean los campamentos en base a tiendas de diferentes tipos: utilis, drash, etc.
- **Nivel 2:** Representa el salto a contenedores de vida, de 20 pies y con una capacidad de hasta ocho personas. Según la versión pueden contar incluso con calefacción y refrigeración.
- **Nivel 3:** Es el último nivel en el cual se pasa de contenedores a prefabricados. Se construye con paneles “sándwich” (tipo pladur) reduciendo el número de paredes y creando habitaciones de diferentes dimensiones, dependiendo de su cometido.

Estos campamentos evolucionan con el tiempo y aunque en ocasiones se montan bases directamente de nivel 2 ó 3, por regla general se diseñan con vistas a alcanzar estos niveles pero empezando desde el primero. Debido a esto, no solo hay que pensar en los alojamientos del personal y en su evolución, sino en todos los tipos de instalaciones (en particular de agua, electricidad y residuos) que por norma general quedan enterrados y no varían con la evolución del campamento una vez establecido el nivel 1. Las unidades de Especialidades de Ingenieros se encuentran con el problema añadido de que, a la vez que remodelan un campamento para incrementar su nivel, parte del personal que está de misión sigue alojado y deben reubicarlo progresivamente.

El mayor limitante al construir el campamento es la dimensión. Al Contingente que sale desplegado se le asigna una zona a ocupar, limitada en el espacio, por lo que su aprovechamiento ha de ser máximo. Esto supone construir en vertical, ya sea enterrando instalaciones o disponerlas en doble altura (máxima altura en el Ejército). Además, el exterior de las instalaciones debe hacerlas poco identificables, de tal manera que resulte difícil diferenciar, por ejemplo, entre el puesto de mando y las cocinas.

Por otro lado, no se realiza un seguimiento de la evolución de las instalaciones, ni tampoco se documenta. Esto quiere decir que, cuando se vuelve a desplegar de misión, no hay documentación preparada para saber qué y cómo instalar determinados elementos en beneficio del Contingente.

En consecuencia de todo lo expuesto anteriormente, se entiende la necesidad de diseñar los campamentos con una visión más evolutiva, documentando las mejoras y los fallos percibidos y dejando las bases preparadas para los cambios futuros, aunque en ocasiones esto no sea lo más cómodo al principio del despliegue.

En este trabajo se van a abordar cuestiones relacionadas con uno de los aspectos a tener en cuenta en esta planificación: las aguas residuales que se van a generar durante la ocupación de la base.

Las aguas residuales contienen aguas negras, grises y pluviales. Las aguas negras son, generalmente, aquellas que están contaminadas con heces y orina, que provocan la aparición en el agua de patógenos con la posibilidad de producir enfermedades en las personas. Las aguas grises son aquellas que se producen tras el uso doméstico, como darse una ducha o lavar los platos. Por último, las aguas pluviales son aquellas que con las

precipitaciones arrastran sedimentos y otras sustancias, que pueden ser contaminantes o no.

Los tratamientos que requiere cada tipo de aguas son diferentes debido a la diferente carga de contaminantes en cada una de ellas. Es mucho más exigente (y por tanto también de mayor coste) el tratamiento de aguas negras que de agua pluvial, que apenas lleva sustancias contaminantes. Teniendo en cuenta que el precio de un tratamiento va a estar directamente relacionado con el volumen de agua a tratar, resulta evidente que una separación de los tipos de aguas antes de ser tratadas revierte muy positivamente en el coste económico del proceso.

Esta diferenciación en los distintos tipos de aguas residuales supone separar el trabajo en función de las necesidades de depuración. Además, la presencia o no de contaminantes en ciertos casos permite su agrupación bajo un mismo punto de vista para simplificar la tarea.

El objetivo principal de este trabajo es estudiar la gestión actual de las aguas negras, aguas grises y pluviales en Zona de Operaciones, además del posible impacto medioambiental, para ofrecer posibles mejoras o soluciones alternativas a los sistemas que utiliza el Ejército, teniendo en cuenta sus necesidades tácticas y logísticas, sin descuidar la integración de estas alternativas con personal, materiales, instrumentos o maquinaria en dotación en las Unidades.

Dentro de las alternativas se buscará aquella con la que se obtengan los mejores resultados, sin que llegue a ser muy compleja su utilización o mantenimiento. El personal que despliega en Operaciones en el Exterior rota con el paso del tiempo, lo que desaconseja utilizar sistemas o instalaciones que sólo pueden ser empleados por personal con una preparación técnica extensa y/o costosa. Además, el personal desplegado va a verse en situaciones de mucho estrés y fatiga y tendrá que hacer frente a numerosos imprevistos, por lo que la sencillez es un factor clave en la búsqueda de la solución. Esto incluye los posibles recambios necesarios: se debe estudiar el país en el que se va a desplegar y si en él es posible obtener los materiales para mantener el sistema propuesto o si, por lo contrario, será necesario importarlos desde España, algo que debe evitarse, en la medida de lo posible, pues la logística es sensible en este aspecto (retardo de varios meses).

Se ha de tener en cuenta además, que los materiales de los que se componga la alternativa adoptada deben cumplir con la normativa del país en el que está instalada la base. Por ejemplo, ciertos países prohíben el uso de algunos elementos químicos, por lo que su importación desde España o la compra en el país es imposible. Un ejemplo de estas dificultades surgió en Afganistán donde la venta de cloro, empleado habitualmente en España para depurar el agua y hacerla apta para el consumo, estaba prohibida por considerarse veneno.

## **2. Impacto en el medioambiente y en la salud**

Antes de describir y analizar los diferentes tratamientos llevados a cabo para la gestión de aguas residuales, cabe preguntarse si está justificada la relevancia otorgada a la gestión de estos residuos. Aunque a priori cuesta emparejar los términos “agua” y “nocivo”, lo cierto es que el agua sirve de medio de vida y/o transporte para multitud de sustancias y materiales que, de no ser adecuadamente tratados, pueden convertirse en un problema sanitario de gran envergadura, llegando a causar un elevado número de bajas [2]. Es

necesario un estudio de cuáles son esas sustancias peligrosas, sus efectos tanto en las personas como en el medioambiente, y la probabilidad de sufrir sus consecuencias.

Desgraciadamente también en el Ejército se han dado episodios que certifican esta necesidad. A modo de ejemplo, cabe recordar el problema surgido en la misión en Afganistán, donde en determinadas circunstancias, como fue la retención del personal civil encargado de la extracción de estos residuos, el Contingente se vio obligado a verter las aguas negras de la Base sin control ni tratamiento previo. A consecuencia de esto, se produjo la contaminación del terreno de la población próxima, a lo que se sumó una serie de bajas por enfermedad tanto de militares españoles como de población civil.

## 2.1. Impacto en el medioambiente

El objetivo es, primeramente, evitar la contaminación derivada de estos residuos y, en segundo lugar, que al menos parte de este agua vuelva a ser utilizada tras ser tratada y potabilizada. Esto implica prever ciertas circunstancias que puedan acontecer: que el agua recibida sea excesiva y haya que verter dicho exceso, pequeñas fugas producidas durante el tratamiento, etc.

En el caso de que se necesite verter el agua al exterior, se ha de seguir la normativa europea o la española, pues estando de misión, el suelo sobre el que se despliega se rige bajo las normas de la nación que lo ocupa. Sin embargo, en el caso de fugas de agua contaminada, el peligro radica en la posible contaminación de pozos acuíferos de la población autóctona, causando además un impacto negativo de la imagen del Ejército en Zona de Operaciones [3]. Por ello, se han de tomar las medidas necesarias para evitar filtraciones en el terreno. Como regla general, todo aparato de tratamiento de aguas residuales, ya sean negras o grises, irá introducido en una fosa de hormigón similar a una fosa séptica.

Las sustancias potencialmente más peligrosas para el medioambiente por su capacidad de contaminación son:

- **Materia orgánica:** La degradación de esta materia, en presencia de microorganismos, supone un grave desequilibrio en las condiciones físico-químicas del agua. Si se produce mediante procesos aerobios, disminuirá considerablemente el contenido de oxígeno disuelto, pudiendo producir la muerte de las especies vivas. En condiciones anaerobias, la degradación supone la aparición de malos olores como consecuencia de la formación de derivados de azufre y amoníaco, entre otros. Además, en ambas situaciones, la degradación supone un aumento de la temperatura del agua, por tratarse de reacciones químicas exotérmicas.
- **Materia rica en fósforo y/o nitrógeno:** Se trata de los dos elementos limitantes en la síntesis de proteínas y estructuras celulares. La consecuencia es que en agua con presencia de microorganismos y materia orgánica suficientes, ambos nutrientes favorecen la proliferación de algas en zonas de agua en reposo como lagos y embalses (eutrofización). La superpoblación de algas reduce la cantidad de oxígeno en el agua, provocando la muerte de peces y de microorganismos aerobios, incrementando la presencia de anaerobios y alterando así tanto la fauna como la flora. Además, su corta vida hace que se acumulen algas muertas en el agua, incrementando la cantidad de materia orgánica que puede ser biodegradada y provocando malos olores y enfermedades. La razón de la presencia de fósforo y nitrógeno en el agua según el caso que se estudia en este trabajo, son los

detergentes y productos de baño, que contienen fósforo, y las heces y la orina, las cuales contienen restos nitrogenados.

- **Microorganismos patógenos:** Ciertos microorganismos suponen una fuente de enfermedades, tanto para la fauna y flora presente en el agua, como para otros animales o personas que se acerquen a los ríos o pozos y beban de su agua.
- **Metales pesados:** Son considerados sustancias peligrosas debido a que producen graves alteraciones, incluso la muerte de seres vivos, ya sean microorganismos, plantas, animales o seres humanos. Además, estas sustancias son persistentes y bioacumulables. La persistencia implica su lenta degradación en el medio ambiente (más de mil años). El otro aspecto a tener en cuenta es que son bioacumulables, lo que supone que estas sustancias se almacenan en el interior de seres vivos sin causarles enfermedades ni la muerte, pero sí a sus descendientes o a otros seres vivos que los ingieran. A pesar de que este trabajo se focaliza en el tratamiento de las aguas residuales en una zona urbana, que a priori suelen presentar escasa presencia de metales pesados, durante el trabajo se ha expuesto la posibilidad de la existencia de talleres y laboratorios, donde la concentración puede ser significativa, lo que obliga a tener en cuenta esta posible contaminación.

A pesar del riesgo que supondría la presencia de metales pesados en el agua tratada, la probabilidad de que se encuentren en Zona de Operaciones es ínfima, por lo que los materiales a controlar prioritariamente serán los sólidos totales (tanto disueltos como suspendidos), el nitrógeno y el fósforo y la concentración de oxígeno en el agua (por su relación con la cantidad de materia orgánica presente).

El contenido de oxígeno se determina mediante dos parámetros:

La Demanda Biológica de Oxígeno ( $DBO_5$ ) se define como la cantidad de oxígeno necesaria en el agua para degradar la materia orgánica en cinco días, a veinte grados Celsius y en total oscuridad. Este periodo de tiempo es el que se considera idóneo, pues a los cinco o seis días se ha consumido el 60-75% de la materia orgánica<sup>1</sup>. Es un indicativo de la contaminación que sufre el agua debido a la cantidad de materia orgánica presente en ella. Por otra parte, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se define como la cantidad de oxígeno necesaria para degradar químicamente los sólidos totales, generalmente por oxidación. Esta prueba engloba la  $DBO_5$  por lo que la relación entre la  $DBO_5$  y la DQO nunca será mayor que la unidad, y da una idea de que fracción de materia orgánica presente en el agua es biodegradable.

La normativa europea 91/271 [4] estipula la reducción mínima de los análisis de la DQO y  $DBO_5$ , y la cantidad de fósforo y nitrógeno presentes en el agua, para considerarla tratada (**ANEXO 2**). El fósforo ha de reducirse en un 80% de la carga del caudal de entrada, esto se consigue mediante el pretratamiento y todos los tratamientos hasta el terciario. Por otro lado, el nitrógeno ha de reducirse un 70-80%, por lo que para llegar a estas cantidades es necesario realizar un tratamiento terciario. El resto de indicativos de contaminación, tras el tratamiento de las aguas residuales, alcanzan los mínimos exigidos por la norma.

---

<sup>1</sup> Además del nivel de degradación, inicialmente se tomaba la media de tiempo que tardaban los ríos ingleses en llegar al mar, como el Támesis.

## 2.2. Impacto en la salud

Como ya se ha comentado anteriormente, las características de las aguas residuales, poniendo una especial relevancia en las aguas negras, suponen un riesgo para la salud humana [5]. El consumo de aguas no tratadas o tratadas inadecuadamente, pueden conllevar la contracción de enfermedades por diferentes microorganismos presentes en este tipo de aguas: virus, bacterias, protozoos o helmintos<sup>2</sup> (**ANEXO 3**). Estas enfermedades en conjunto reciben el nombre de enfermedades fecal-orales [6], y se transmiten al ingerir por vía oral residuos procedentes de orina y heces.

Una de los aspectos más importantes en términos de salud es, sin duda, la prevención. Sin embargo, resulta también indispensable estar en condiciones de actuar lo más rápidamente posible cuando aparecen los primeros síntomas de una enfermedad, de modo que, cuanto antes se identifique ésta, más eficaz será el tratamiento de la misma. Por este motivo, a continuación, se expondrán las enfermedades más comunes cuyo origen puede estar relacionado con el agua así como su sintomatología.

- **Disentería:** También es conocida como diarrea sangrante y los síntomas son numerosos entre los que destacan la fiebre, el dolor abdominal, el sangrado anal (de ahí el nombre) y la diarrea. Es provocada por la bacteria *Shigellae Dysenteriae*, para la cual existe una vacuna. Sin embargo, es muy contagiosa y ha provocado muchas muertes, sobre todo antiguamente en los barcos o tras tsunamis en Sudamérica.
- **Fiebre tifoidea:** La bacteria que la produce recibe el nombre de *Salmonella Typhi*, la cual provoca hemorragias y perforaciones intestinales que pueden llegar a causar la muerte del enfermo. Los síntomas incluyen fiebre alta, granos rosados en pecho y abdomen y diarrea o estreñimiento. Existe una vacuna preventiva, pero tras su contagio se recomienda beber agua hervida y la toma de antibióticos.
- **Salmonelosis:** Similar a la fiebre tifoidea pero su peligrosidad es menor. Es provocada por la *Salmonella SPP* y los síntomas son granos rosados por pecho y abdomen, escalofríos, náuseas, diarrea y tos. Aparte de usar antibióticos, la principal medida de recuperación es la hidratación y la reposición de electrolitos.
- **Cólera:** Es transmitida por la bacteria *Vibrio Cholerae*. Se caracteriza por una diarrea acuosa que provoca una rápida deshidratación. Además de la diarrea aguda, los vómitos y los calambres en las piernas son también síntomas. El tratamiento consiste en el uso de sueros para recuperar la hidratación corporal, y de antibióticos, reduciendo la duración de la diarrea.
- **Gastroenteritis:** Esta enfermedad la pueden producir los rotavirus<sup>3</sup> o la bacteria *Escherichia Coli*. Los síntomas son dolor abdominal, calambres, vómito y diarrea. Es una de las enfermedades más comunes en el mundo, siendo los niños las principales víctimas por sus escasos niveles de inmunidad. El tratamiento consiste en la rehidratación y el consumo de sales.
- **Hepatitis A:** Es producida por el *virus VHA* (Virus de la Hepatitis A) sufriendo como síntomas náuseas, vómitos, fiebre y dolor abdominal. Produce inflamación del hígado, por lo que se debe de dejar de consumir alcohol u otras medicinas que

---

<sup>2</sup> Los helmintos son gusanos parásitos de los humanos cuya longitud varía desde milímetros a metros. Se subdividen en planos (platelmintos) o redondos (nematodos).

<sup>3</sup> Es un virus del tipo ARN bicatenario.

puedan hacerle daño. El tratamiento consiste en una vacuna preventiva y si finalmente se contagia, reposo hasta su recuperación.

### 3. Situación y Procedimientos Actuales

En este punto se va a analizar lo que, a día de hoy, es habitual en cuanto a procedimientos seguidos con las aguas residuales en Zona de Operaciones.

Las instalaciones de aseo en Zona de Operaciones se reducen a unos contenedores de 20 pies (Figura 1) denominados contenedores de ablución (**ANEXO 1**). Estos contenedores varían su contenido en función de las necesidades que cubran: pueden tener duchas, lavabos, retretes o una combinación de los tres. La salida de agua, por tanto, podría estar diferenciada en agua negra (retretes) y en agua gris (ducha y lavabo).



Figura 1. Contenedor de Ablución. Fuente: Propia.

Sin embargo, debido al precio de construcción en España y de su transporte hasta el país designado (en conjunto doblan el precio de fabricación), habitualmente se opta por encargar la fabricación de estos contenedores a empresas autóctonas del país de destino, lo que en muchas ocasiones supone aceptar una considerable rebaja en la calidad del producto final. Así por ejemplo, aprovechando la necesaria demanda de este servicio, el proveedor habitualmente sólo ofrece contenedores que no permiten la diferenciación de aguas (cuya fabricación resulta mucho más sencilla), con lo que obliga a adoptar la fosa séptica como colector final, siendo las dimensiones las expuestas en la tabla 1.

| Nº de Usuarios | Capacidad (m3) |              |
|----------------|----------------|--------------|
|                | Medio rural    | Medio urbano |
| Hasta 5        | 0,60           | 1'05         |
| 21-30          | 3'50           | 6'25         |
| 51-60          | 6'95           | 12'45        |
| 81-100         | 11'55          | 20'75        |

Tabla 1. Relación Nº de Usuarios/Dimensión de Fosa Séptica. Fuente: UPM<sup>4</sup> [7].

Dependiendo de la cantidad de personal desplegado, el número y dimensión de las fosas sépticas para cubrir estas necesidades es variable. Por ejemplo, en Afganistán, las fosas sépticas estaban ubicadas en zonas a las que la canalización de los residuos pudiese llegar de forma óptima ayudándose de la pendiente del terreno, sin embargo en Irak se ha optado por localizar las fosas justo debajo de los módulos de aseo, de las cocinas y demás lugares que produjesen aguas residuales, simplificando el método anterior. En función del método empleado, el número de fosas varía, siendo superior en el último ejemplo ya que no hay canalización.

El hecho de que todas las aguas vayan a parar a la fosa séptica, provoca que se llene enseguida, a pesar de que son mayoritariamente agua gris. Al estar mezcladas las aguas, no se pueden expulsar de la base, por lo que se suele recurrir a empresas civiles que entren en ella y extraigan todo el material. En casos como los de Afganistán, estos civiles entraban hasta ocho veces al día para retirar estos residuos con lo que ello implicaba: vigilancia del personal ajeno a la base y la aceptación de riesgos por la amenaza de meter vehículos ajenos que pudiesen ser artefactos explosivos improvisados (IEDs). A esto hay que sumarle el coste económico de pagar a personal con la única función de extraer éste agua contaminada, generando un gasto por una inadecuada gestión de residuos.

En el Líbano, se han llegado a instalar Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ya modularizadas como se ve en la Figura 2, pero su dimensión y la cantidad de usuarios son la causa de que se colocasen hasta cuatro de ellas por zona para ser efectivas.

<sup>4</sup> UPM: Universidad Politécnica de Madrid.





Figura 2. Prefabricado de Fangos Activos. Fuente: UPM.

### 3.1. Aguas Negras

En cuanto al tipo de aguas negras generadas en una Base en Zona de Operaciones, podría decirse que la situación es similar a la de una zona urbanizada. Por ello, en este punto se van a describir los procedimientos y técnicas habituales en el tratamiento de aguas en núcleos urbanos, con objeto de dar una visión general de cuál podría ser la metodología a seguir con las aguas residuales en Zona de Operaciones.

#### 3.1.1. Tratamientos para Aguas Negras

##### 3.1.1.1. Pretratamiento

El pretratamiento consiste en el proceso por el cual se separan de las aguas a tratar residuos de gran tamaño tales como piedras y ramas, y además grasas que puedan interferir en posteriores tratamientos. Los diferentes métodos son:

- **Desbaste:** Mediante esta operación se busca la separación de sólidos gruesos de la corriente de agua. Para ello, los mecanismos que se usan son rejillas o tamices, siendo habitual el uso de ambos para conseguir un mejor filtrado. Las rejillas se pueden limpiar manualmente o tener una rasqueta incorporada para su auto limpieza, sin embargo es necesaria una alimentación de energía y repuestos para su desgaste. En cuanto a los tamices, los hay estáticos y rotativos, siendo los segundos más complejos al llevar un motor que lo hace girar, mientras que en el estático el agua pasa por gravedad (**ANEXO 4**).
- **Desarenado:** Durante este proceso se busca la sedimentación de las partículas en suspensión para su separación. Para lograrlo, se busca reducir la velocidad de la corriente ensanchando su zona de paso.
- **Desengrasado:** Parecido al anterior, pues se pretende extraer las grasas de la corriente mediante la diferencia de densidad. Al reducir la velocidad de la corriente



de agua residual se facilita que suban a la superficie las grasas y se cree una película fácil de extraer.

- **Neutralización:** Trata de neutralizar la acidez o la basicidad de las aguas. Generalmente, este tratamiento sólo es necesario para aguas del tejido industrial.

#### *3.1.1.2. Tratamiento Primario*

Una vez se han extraído las grasas y los sólidos de mayor tamaño de la corriente de agua, a continuación es el turno de aquella materia que se encuentra en suspensión. Para este proceso se cuenta con dos métodos:

- **Decantación primaria:** Su funcionamiento es similar al desarenador, pero con la diferencia de que se busca extraer toda la materia en suspensión [8]. Cuando esta materia sedimenta, produce en el fondo del decantador lo que se conoce como fango (materia húmeda). Existen dos tipos de decantadores: circulares y rectangulares. El decantador circular cuenta con unas palas o rasquetas que van girando en torno a un eje motriz, arrastrando los fangos a una poceta para su extracción posterior y para separar el agua ya tratada. En cambio, el decantador rectangular tiene el fondo con cierta inclinación buscando que los fangos se acumulen en una misma zona y así sea más fácil su extracción (**ANEXO 5**). Hay una variante dentro de los rectangulares, denominado decantador lamelar, que cuenta con paneles o lamelas donde las partículas chocan y sedimentan.
- **Coagulación-floculación:** Mediante la adición de agentes coagulantes (iones polivalentes) se busca que la materia coloidal en suspensión pierda su carga eléctrica superficial para que pueda agregarse dando coágulos, para después provocar la unión de estos coágulos para crear flóculos, aumentando su tamaño y favoreciendo por tanto su sedimentación por gravedad. Este proceso se suele usar antes de la decantación, pues se ve favorecido en presencia de más materia. Sin embargo, su uso en zonas urbanas, como son consideradas las Bases del Ejército en Zona de Operaciones, no es un proceso imprescindible, si se va a realizar algún tratamiento biológico como los que se explican a continuación.

#### *3.1.1.3. Tratamiento Secundario*

Este tratamiento se centra en la eliminación de la materia orgánica presente en el agua. Además, en este proceso se reduce también el nitrógeno y el fósforo disueltos en el agua. El más destacado es el tratamiento biológico, seguido del decantador secundario, compuesto por tratamientos aerobios y anaerobios (en fase dispersa o en película fina). La base del funcionamiento de este sistema es la degradación de la materia orgánica por parte de microorganismos. Los residuos generados quedarán en el fondo del decantador secundario, formando de nuevo fango. Como ya se ha mencionado, el tipo de aguas residuales generadas en Zona de Operaciones, son similares a las de una zona urbana y por tanto, suelen contener suficientes microorganismos y nutrientes como para no necesitar un aporte extra de los mismos.

- **Tratamiento aerobio y anaerobio:** La diferencia entre uno y otro es la participación o no de oxígeno en los procesos de degradación. El tratamiento anaerobio es un proceso más costoso pues debe estar cerrado herméticamente, sin embargo, con este tratamiento se obtiene también una serie de gases, entre ellos el metano, que puede extraerse y obtener energía. También hay que tener en cuenta que el

tratamiento aerobio es más propenso a la creación de fangos, pues los microorganismos producen más residuos y además suele requerir aportación de oxígeno al tanque, lo que encarece el proceso y lo complica. A pesar de todo lo anterior, en las plantas de tratamiento de las aguas residuales de las zonas urbanizadas, el método más utilizado es el aerobio por su simplicidad, localizándose estas plantas en las zonas exteriores de la urbe.

- **Tratamiento en fase dispersa o en película fina:** En el primer caso, denominado también método de fangos activos, se introduce agua a tratar en un tanque con una turbina que además de ayudar a homogeneizar el proceso, también supone, en el caso de procesos aerobios, un mayor aporte de oxígeno debido a la aireación (**ANEXO 6**). Conjuntamente, se añaden bacterias suficientes para consumir la materia orgánica y precipitando los residuos en el fondo, como un decantador, formando el fango. En cuanto al proceso del tratamiento en película fina, el más destacado es el uso de un reactor de lechos bacterianos o también llamado de filtros percoladores [9]. Se trata de un reactor con relleno de diferentes formas, generalmente de plástico (Figura 3) y con gran área superficial. Sobre ellos se deja caer la corriente de agua, con lo que los microorganismos se adhieren a rellenos creando películas adsorbidas sobre la superficie. Cuando no son capaces de alcanzar materia orgánica se mueren y desprenden, siendo arrastrados por el agua en su expulsión (**ANEXO 7**).



Figura 3. Rellenos. Fuente: UNFAMED.

#### ***3.1.1.4. Tratamiento Terciario***

Llegados a este punto, el agua residual ha reducido considerablemente su contenido tanto de materia orgánica como inorgánica. Sin embargo, aún puede contener sustancias perjudiciales para la salud. En algunas ocasiones y dependiendo del tipo de agua residual, en este momento del tratamiento ya es posible verterla al exterior, pues no es perjudicial para el medio ambiente.

En el caso de que el medio receptor sea susceptible de sufrir un proceso de eutrofización<sup>5</sup>, será necesaria la eliminación tanto del nitrógeno como del fósforo restante. Generalmente se utiliza el método biológico debido a que las bacterias utilizadas en el

---

<sup>5</sup> La eutrofización es un proceso por el cual, y debido a un elevado contenido en nitrógeno y fósforo en el agua, se produce un desarrollo elevado de algas.

tratamiento secundario en ocasiones son aptas para este método. Son necesarias las nitrobacter y las nitrosomas para eliminar el nitrógeno, y bacterias eliminadoras de fósforo (denominadas PolyP). En ocasiones, con el tratamiento biológico se logra eliminar estos nutrientes, de modo que se puede evitar un tratamiento posterior, sin embargo, no siempre se consigue.

Finalmente, si el agua tratada va a ser empleada para consumo humano es imprescindible la potabilización de la misma. Para ello hay que eliminar todas aquellas bacterias y agentes patógenos que puedan quedar disueltos o en suspensión. El uso del cloro y de los rayos ultravioleta son los tratamientos más habituales para eliminarlos. Si el agua fuera a emplearse para ciertos usos como el lavado de vehículos, uso en obras, etc., no sería necesaria la potabilización.

### 3.2. Aguas grises y pluviales

Generalmente las aguas grises y pluviales no suelen contener sólidos de gran tamaño, pero sí pueden contener otras sustancias disueltas o en suspensión además de patógenos.

Las aguas grises, que se generan tras el uso doméstico, transportan no sólo suciedad, sino también jabón, como ocurre tras la ducha o tras lavar los platos o la ropa.

Las aguas pluviales son aquellas que se recogen tras las precipitaciones, y pueden arrastrar gran cantidad de residuos. Aunque generalmente no suponen ninguna amenaza, podrían serlo si se contaminan con residuos cercanos a los sumideros [10].

Con todo esto, se llega a la conclusión de que el agua gris y la pluvial tienen un cierto grado de similitud en su contaminación, por lo que van a ser analizados conjuntamente.

El interés de este trabajo de separar las aguas negras y grises surge en la posibilidad de aprovechamiento de las aguas grises para su reutilización.

Actualmente, las Fuerzas Armadas cuando construyen una base no diferencian las aguas residuales. Este hecho provoca que las aguas grises, al juntarse con las aguas negras, se contaminen y pasen a ser negras en su conjunto. Este cambio supone un paso atrás en el tratamiento de las aguas grises, ya que, en un primer momento, éstas no producen malos olores ni contienen agentes patógenos perjudiciales para los humanos. Sin embargo, su estancamiento e inmovilización durante un periodo largo de tiempo (1 ó 2 semanas), hace que se den las condiciones idóneas para que los microorganismos que viven en las aguas grises proliferen y lleguen a producir los efectos antes comentados.

Atendiendo a la condición anterior, se hace imprescindible tratar el agua gris al poco tiempo de ser expulsada de los contenedores de ablución, impidiendo de esta manera la proliferación de microorganismos.

Seguidamente, se tratarán diferentes sistemas del tratamiento de aguas grises describiendo sus cualidades y capacidades, eligiéndose al final el más recomendable para el uso del Ejército de Tierra.

### 3.2.1. Tratamientos para Aguas Grises y Pluviales

#### 3.2.1.1. Proceso de filtrado horizontal

Como indica el nombre del proceso, se trata de una instalación de filtros de agua durante un curso horizontal de la misma, por su propia circulación sin necesidad de colocar ninguna bomba para su movimiento. Para ello, es necesario que el filtro horizontal tenga una inclinación mínima del 4%. El sistema dispone de una sucesión de cavidades o de celdas, preferiblemente de hormigón o de PVC, que contienen diferentes tipos de materiales, separados por una tela arpillera que sirve como filtro también (Figura 4). La primera celda contiene piedras de gran tamaño o rocas partidas, por las que circula el agua dejando las partículas en suspensión adheridas a las rocas.



Figura 4. Filtro Horizontal. Fuente: Instituto Carlos Slim de la Salud.

Seguidamente, el agua atraviesa una celda con rocas más pequeñas que las anteriores y con arcilla, de tal manera que los microorganismos o los materiales disueltos queden retenidos. Tras este filtro se coloca arena de río para darle el último lavado, dejando el agua limpia y a falta de potabilizarla.

En función del nivel de tratamiento que busquemos, o del nivel de la contaminación del agua que entra en estos filtros, es bastante común que debido a la condición mecánica de este sistema la limpieza no sea lo suficientemente óptima, por lo que puede ser aconsejable que este proceso se repita. De este modo, la sucesión de piedras grandes, piedras pequeñas/arcilla y arena es repetido sucesivamente, finalizando siempre con una celda de piedras de gran tamaño o rocas troceadas.

#### 3.2.1.2. Proceso de filtrado vertical

Este proceso es similar al de filtrado horizontal en cuanto a que se usa arena para el tratamiento del agua y ningún agente químico. Es idóneo si no se cuenta con mucho espacio horizontal, o si el terreno es muy costoso de trabajar y no se consigue alcanzar la inclinación del 4% necesaria en el filtrado horizontal.

Se pueden encontrar dos tipos de filtros verticales en función de lo contaminada que esté el agua con grasas y aceites, provocando la necesidad de usar diferentes tipos de filtros. En el caso más sencillo, existen unos filtros de arena [11] por los que el agua

simplemente circula, dejando tras de sí la materia orgánica e inorgánica (Figura 5). Este paso se puede realizar en paralelo o en serie, forzando el paso del agua por los filtros repetidas veces y suele requerir el empleo de una bomba. El mayor riesgo de este sistema es el paso de granos de arena en la corriente de agua, por lo que es necesaria la revisión de los filtros regularmente.

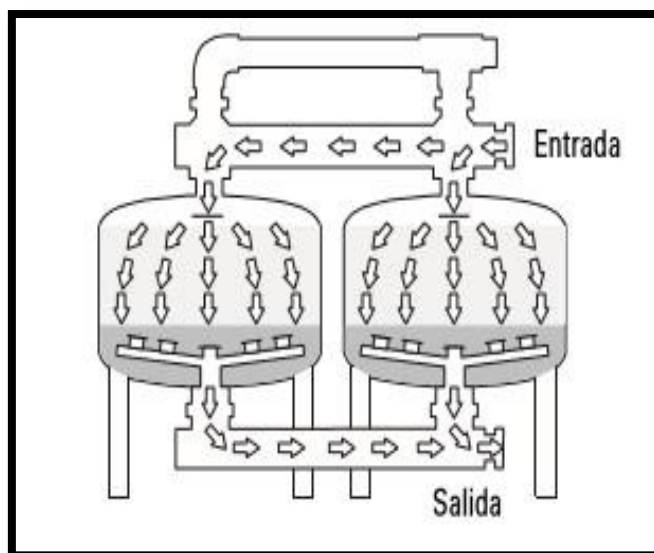


Figura 5. Filtro Vertical para aguas grises. Fuente: Fresno. Valves and Castings INC.

Si el agua a tratar contiene grasas o aceites, es necesario el uso de filtros separadores. En este caso, se opta por un tanque de mayor tamaño con una serie de filtros separados por un tejido filtrante como es la tela arpillera. Se colocan piedras, grava y arena en orden, separadas y de arriba abajo, de tal manera que por gravedad el agua recorre estos filtros dejando la materia a su paso y saliendo por la parte inferior para su potabilización o para su vertido.

Este método tiene la ventaja de carecer de bomba, pero su mantenimiento es más costoso pues se tiene que limpiar los filtros cada dos meses, y cambiarlos al año, debido al desgaste producido por la erosión y la acumulación de la materia. En cuanto a la tela arpillera, es recomendable cambiarla al año junto con el resto del material filtrante. Existe un filtro diseñado como una cajonera en la que cada cajón es un tipo de filtro, lo que permite sacarlos independientemente y facilitan su mantenimiento. Empero, es necesaria una mayor superficie excavada para que un operario pueda abrir y extraer el material.

#### 4. Propuesta

Una vez descritos los tratamientos más habituales para las aguas residuales de zonas urbanizadas, en este apartado se expondrá la metodología seleccionada para el tratamiento de aguas negras por un lado, y las aguas grises y pluviales por otro. Se basa en la separación de las aguas residuales, por lo que la diferenciación de éstas, tanto en las cañerías como en los depósitos de ablución, es una condición indispensable que el jefe de la Base en Zona de Operaciones deberá imponer y conseguir mantener. Además, se busca reducir el coste de adquirir una PTAR completa de una empresa civil, ya que el Ejército cuenta con medios para construir o fabricar la mayor parte de sus elementos.

Lo siguiente es seleccionar entre los diferentes sistemas que hay en el mercado aquellos que cumplan las condiciones de tener un manejo y mantenimiento simples, que no requiera una formación muy exigente para los operadores, que la logística sea adecuada, que se pueda enterrar y que sea la gravedad la que provoque el desplazamiento de los residuos. En el caso de no ser posible que se cumpliesen todas, se seleccionaría aquella que cumpla la mayoría.

En cuanto a las aguas pluviales, se podrían considerar grises dependiendo de las zonas por las que han pasado y de la materia que hayan arrastrado con ellas. Es decir, siempre y cuando el material no sea contaminante (grasas o aceites de motores, productos químicos, etc.), podrían redirigirse y tratarlas junto a las grises en pos de una reducción de esfuerzos. Si se diese el primer caso, deberían tratarse como aguas negras, tal y como se explica en el apartado anterior. Para su diferenciación, se debe hacer un análisis de la distribución de los focos contaminantes de la base en el exterior. Por tanto, aquellas zonas como los garajes o talleres mecánicos con sumideros, los laboratorios y clínicas deberán estar conectadas con la red del tratamiento de aguas negras. Lo mismo ocurre con las cocinas, pues los restos de comida atraen a los microorganismos, siendo muchos de éstos patógenos. El resto de sumideros, canalones, cunetas y demás elementos que direccionan el agua, pueden estar interconectados con una red de tratamiento de aguas grises. El único aspecto a tener previsto frente al arrastre de materiales por la lluvia es el uso de rejillas, por los posibles elementos tales como plantas o piedras sueltas y en suspensión.

De esta manera, se optimizarán los recursos empleados esforzándose por separado en tratar las aguas grises de las negras, lo que permite una posible reutilización sin un tratamiento tan exhaustivo. De esta manera, se abriría una ventana de posibilidades de reutilización de las aguas grises y pluviales que reducirían exponencialmente el consumo de agua y aumentarían su aprovechamiento, a saber:

- Para las cisternas de los retretes.
- Para el lavado de vehículos [12].
- Para el uso en obras.
- Para el riego de plantas.

#### **4.1. Diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

Un aspecto crucial para esta decisión será el hecho de que, como se explicó con anterioridad, el personal que despliega en las misiones dura en ellas un máximo de seis meses. Además, la mayor parte del personal que se dedica a controlar y a mantener estos elementos son los Ingenieros, lo que los convierte en un recurso crítico. Por tanto, la PTAR que se proponga debe ser sencilla, que nos permita un adiestramiento en su uso rápido y que no sea costosa de mantener.

##### **4.1.1. Pretratamiento**

Lo óptimo sería usar rejillas sin rasqueta mecánica, siendo los operadores los encargados de limpiarla con frecuencia. En cuanto al tipo de tamiz, sería conveniente un tamiz estático y que el agua residual pasase por gravedad. Tener un eje motriz o una rasqueta mecánica simplificaría la labor de los operarios, sin embargo, su fallo o rotura puede dejar inoperativa la PTAR durante un tiempo que puede alargarse meses pues la logística en operaciones es lenta, incluso para los recambios de las maquinarias. Una



solución sería comprar los repuestos en el país de despliegue, pero corremos el riesgo de no encontrarlos o de que sean de menor calidad. Habrá que analizar in situ estas posibilidades antes de realizar una instalación u otra.

El desengrasado es necesario en las aguas residuales urbanas, debido a los lípidos presentes en las heces, por lo que el uso de un desarenador-desengrasador sería óptimo para finalizar la secuencia del pretratamiento, siendo a su vez la parte más crítica por su mantenimiento. En función del gasto asumible y de la dimensión de la Base, sería conveniente colocar el sistema elegido tras el colector de aguas negras de la misma, para ser llevadas ya al tratamiento primario con una tubería de diámetro menor, reduciendo así el coste de la instalación.

#### **4.1.2. Tratamiento Primario**

Se propone realizar en un solo depósito tanto la decantación como la coagulación. Sería adecuado un decantador primario en forma rectangular, sin lamelas para facilitar su mantenimiento y que sea la pendiente la responsable de acumular los fangos por gravedad. La primera fase debe ser la coagulación floculación, que requiere una velocidad media, ya que la coagulación necesita una velocidad alta para que se mezclen los componentes, y la floculación lenta, para que no se rompan los flóculos formados. A continuación, se iniciaría el proceso de decantación, que requiere de una velocidad lenta. Por lo tanto, se utilizará un mismo depósito, al cual se le agitará más o menos rápido en función de la fase en la que se encuentre. Finalmente, se retirarían los fangos para volver a empezar.

#### **4.1.3. Tratamiento Secundario**

El reactor de lechos bacterianos y el sistema de fangos activos permiten dos modalidades, tanto aerobia como anaerobia. Las necesidades de espacio obligan a elegir la modalidad anaerobia de ambos sistemas, siendo la producción de metano y otros gases un factor muy relevante en el proceso.

El reactor de lechos bacterianos tiene el inconveniente de que requiere renovar periódicamente los rellenos, siendo su sustitución más costosa que el caso de los fangos. Además, el hecho de necesitar este tipo de material tan específico es susceptible de que su suministro se convierta en un riesgo.

El sistema de fangos activos tiene el inconveniente de la acumulación de fangos, como se aprecia en la Figura 6. Por regla general, la limpieza o renovación es necesaria cada año. Sin embargo, estos fangos pueden emplearse como abono, por lo que aparte de su posible eliminación mediante incineradoras, se pueden ofrecer a los agricultores locales para su uso. Además, especialistas del Regimiento de Especialidades Número 11 de Salamanca opinan que sería la solución más idónea, poniéndose en contacto con empresas civiles en busca de soluciones (Tecnove [13], Arpa [14], etc.).

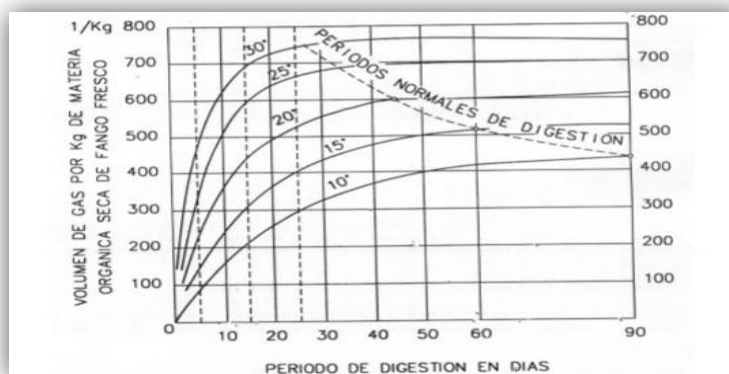


Figura 6. Biogás producido por kg de M. Orgánica. Fuente: Imhoff.

Ante lo expuesto anteriormente, el modelo más idóneo será el de fangos activos, siendo la eliminación de gases y del cambio de los fangos los factores más a tener en cuenta. Finalmente, los fangos llegarán a un decantador secundario donde iniciarán la recirculación.

#### 4.1.4. Tratamiento terciario

En este punto, hay que decidir, en función del uso que se le dará a las aguas tratadas, si es necesario una PTAR con este tratamiento o no. Si se decide potabilizar el agua, la solución a este problema es el uso de la SETA 3000<sup>6</sup> [15], en dotación en el Ejército. Este aparato es una potabilizadora que trataría sólo la cantidad de agua necesaria para el consumo humano, dejando aquella destinada para el lavado de coches o para las obras sin potabilizar, reduciendo el coste del tratamiento.

#### 4.1.5. Dimensiones de la PTAR

La dimensión de las plantas para el tratamiento de aguas residuales viene condicionada por el concepto de habitante equivalente (h-eq). Según el Real Decreto-Ley 11/1995 [16] se define como habitante equivalente la carga orgánica biodegradable, con una demanda bioquímica de oxígeno de cinco días, de 60 gramos de oxígeno por día. Es una medida de referencia para definir las PTAR por lo que hay más h-eq que habitantes, debido a la contaminación de las aguas por la industria y demás elementos de la población.

Considerando una población equivalente de 1150 soldados desplegados en una Base en zona de Operaciones (**ANEXO 8**), la dimensión del tanque de fangos activos debe tener una dimensión de 552 m<sup>3</sup>. Partiendo de esta cifra, y de la necesidad de repartir las PTAR por la Base para optimizar el tratamiento del agua, se propone instalar tres PTAR con capacidad de 184 m<sup>3</sup>.

Con objeto de minimizar costes, se propone encargar a las unidades de Especialidades la misión de construcción, de todos los elementos de la planta, excepto el

<sup>6</sup> . La SETA 3000 es una potabilizadora capaz de tratar 5000 litros a la hora de agua dulce y 2500 litros a la hora de agua salada. En operaciones se ha utilizado para tratar el agua que se compraba, generalmente extraída de pozos o lagunas, llegando a producir cien mil litros de agua potable al día.



tanque de fangos activos que, debido a su complejidad técnica, requeriría ser adquirido mediante encargo.

#### 4.2. Selección del proceso de filtrado para aguas grises

Como ocurría con el tratamiento de aguas negras, un limitante es la superficie disponible. Sin embargo, este proceso de filtrado podría hacerse enterrado, por lo que el problema del espacio quedaría solventado. No obstante, habría que preparar el terreno para que no hubiese filtraciones, ya fuese mediante hormigón o mediante contenedor. Como punto inicial, es aconsejable un separador de grasas, una cavidad donde, por la diferencia de densidad, quedarán separadas del agua que se pretende tratar.

El proceso de filtrado vertical tiene el inconveniente de la accesibilidad. Al tener que excavar para introducir el tanque de filtrado, a su vez habría que remover mayor volumen de tierras para permitir a un operario el mantenimiento del tanque. Además, el uso de bombas para el movimiento del agua por el filtro añade otro riesgo al uso de este proceso: en primer lugar por su rotura y en segundo lugar por la necesidad de un operario con una formación adecuada para usar este tanque.

Debido a los problemas descritos, la solución más favorable sería el uso del filtrado horizontal por las siguientes razones:

1. Al igual que el tanque del proceso vertical, puede estar enterrado, lo que nos permite un mayor aprovechamiento del espacio.
2. Su accesibilidad es más sencilla pues aun estando bajo tierra, podría construirse una trampilla que de acceso a cada celda, ya sea para su mantenimiento o si sufre alguna rotura o filtración.
3. El material necesario para construirlo es de fácil acceso para las unidades de Especialidades de Ingenieros. En primer lugar, el material del que está hecho puede ser de hormigón o de PVC. La opción más recomendable es la primera pues, ya que habría que hacer una pared de hormigón para recubrir el tanque de PVC, resulta más sencillo usar ese mismo hormigón para construir las celdas. En cuanto al contenido, todas las rocas, arena y grava de diferentes granulometrías, son materiales de uso ordinario en las obras que desarrollan los Ingenieros. Por lo tanto, su acceso y reposición resulta más sencillo y mucho menos costoso.
4. El personal encargado del filtro con funciones de operador, no necesita una cualificación destacada, pues sólo tiene que rellenar las celdas con el material nuevo tras el tiempo marcado.
5. El flujo del agua se consigue mediante la gravedad y la inclinación del 4% de filtro. De esta manera, se evita el uso de la bomba que era necesaria para el movimiento del agua en el proceso vertical. Esto permite además poder expulsar el agua al exterior sin tener que almacenarla en un pozo y extraerla. Será suficiente con colocar el filtro cerca del límite de la Base y añadir una tubería que dé al exterior, en el caso de que no fuese a reutilizarse.

En el caso del agua saliente de las cocinas, debido a la presencia de patógenos, sería conveniente instalar otro desarenador-desengrasador, de tal manera que el agua se filtre y llegue algo más limpia antes de ser mezclada con la que proviene de los lavabos.

En cuanto al mantenimiento, sería necesario limpiar regularmente el separador de grasas, mínimo una vez cada dos semanas y además cambiar la tela arpillera cada dos

años. Además, es recomendable que en los sumideros de los lavabos, de las duchas y de las cocinas se coloquen filtros de menor tamaño, para evitar que restos de comida, pelo u otros elementos se introduzcan en el filtro, provocando malos olores.

## **5. Ventajas y debilidades estratégicas en Zona de Operaciones**

El tratamiento de las aguas residuales en Zona de Operaciones es un tema que actualmente no se le está dando suficiente importancia, tanto para el desembarazamiento de las aguas negras como del filtrado y la potabilización de las grises.

Desde el punto de vista táctico, el tratamiento de los residuos en una posición duradera en el tiempo, como son las Bases en el exterior, requiere del uso de recursos materiales y de personal cualificado para esta tarea. Hasta la fecha se ha decidido externalizar estas funciones, sin embargo, a lo largo de este trabajo se han dado opciones para evitar que el Ejército dependa de empresas y de personal ajeno a las instalaciones.

A pesar de todo, no existe una solución óptima que evite cualquier riesgo, por lo que se deben estudiar las ventajas y las desventajas que supone para las Fuerzas Armadas el hacerse cargo o no del tratamiento de sus residuos.

### **5.1. Ventajas del tratamiento de las aguas residuales con recursos propios**

El objetivo del estudio a lo largo de este trabajo ha sido proporcionar soluciones al Ejército, en función de sus capacidades y de sus necesidades, que supondrían una serie de ventajas:

- Actualmente, personal civil autóctono de la zona en la que despliega el Contingente Español, es el encargado de la retirada de las aguas residuales (tanto grises como negras). Mediante el empleo de sistemas de tratamiento, se puede conseguir agua bruta, capaz de ser potabilizada o de reaprovecharse en otras tareas, evitando así la necesidad del personal civil. De esta manera, si no se necesita el apoyo de estos operarios, el personal de seguridad tiene una labor menos que cubrir, dedicando su atención a otras amenazas.
- Poder tratar el agua hasta el punto de poder ser potabilizada mediante la SETA 3000, conlleva dejar de necesitar abastecimiento de agua externo o por lo menos reducirlo considerablemente. En Afganistán y en Líbano se han llegado a consumir al día cien mil litros de agua comprada en la zona. Este agua no es potable generalmente y se trata posteriormente con la SETA 3000. Si se tratan las aguas residuales hasta conseguir agua bruta las necesidades de agua diarias estarían cubiertas con los medios propios, evitando de nuevo la entrada regular de más personal ajeno a la Base y mejorando la seguridad.
- Desde el punto de vista social, un despliegue militar siempre provoca recelo en la población civil. El ser capaces de tratar los residuos propios sin contaminar el entorno que se le concede a España, favorecerá las relaciones entre ambas partes, ayudando a mejorar la visión que tienen sobre los militares y apoyando su actuación, de manera que simplifiquen la misión encomendada.
- El uso de plantas de tratamiento de aguas residuales evitaría tener que desplegar la PAL (Plataforma Autónoma de Limpieza de Fosas Sépticas) [17], junto con lo que ello conlleva: el coste de su transporte y su mantenimiento, la formación de personal

para su uso y el despliegue de este personal, convirtiéndolo en recurso crítico (Figura 7).



Figura 7. PAL. Fuente: Propia.

- Los sistemas propuestos para el tratamiento de aguas residuales pueden modularizarse, de tal manera que su despliegue y uso en misiones futuras sea factible. Se trataría de estudiar las necesidades de la misión y montar la planta PTAR de tal manera que cumpla los requisitos.
- En el caso de que no se necesite más agua para su potabilización, al ser agua bruta ya tratada (y cumpliendo la legislación vigente) puede ser expulsada al exterior sin que amenace al medioambiente.
- Al estar enterrados, los sistemas propuestos en este trabajo no necesitan una seguridad especial. La única precaución a tener en cuenta es la posible accesibilidad mediante túneles por el enemigo, algo que resultaría muy complicado.

## 5.2. Debilidades del tratamiento de aguas residuales con recursos propios

En la búsqueda de la mejora del tratamiento de las aguas residuales, surgen aspectos o situaciones que se quedan fuera del control del Ejército o que le podrían provocar ciertas desventajas posibles de no implantar las modificaciones propuestas:

- Desde el punto de vista de las relaciones interpersonales, la decisión de suprimir el abastecimiento por personal civil, tanto de agua como de medios para limpiar las fosas sépticas, supone una reducción de las relaciones entre el personal desplegado y los civiles autóctonos de la zona en cuestión. Esto supone un mayor aislamiento y que la población civil vea a España como un ente invasor u ocupacional de su territorio, sin que participe activamente en su economía o en su actividad diaria. El personal civil que realiza estas tareas son buenos difusores de la imagen de las Fuerzas Armadas españolas entre sus compatriotas, por lo que dejar de contratarlos exigiría una mayor participación y diálogo con los jefes regionales, buscando mantener la confianza lograda hasta la fecha en las misiones en el exterior.
- Desde el punto de vista de la logística, el transporte de los medios necesarios para la instalación de los medios de tratamiento de las aguas grises y residuales supondría

un mayor esfuerzo. Pese a que se ha intentado ofrecer siempre la solución más simple y que cuente con los medios más sencillos de obtener, la rotura de la planta PTAR o de alguna de sus estaciones sería muy grave. En esta situación, la solución sería traer una desde territorio nacional, con su espera por el transporte correspondiente. Por otra parte, la separación entre aguas grises y negras supone una remodelación en la cañería empleada hasta la fecha. En la actualidad, al no haber diferenciación de aguas, se ha empleado tuberías de 110 milímetros de diámetro. Con esta actualización de los contenedores de ablución necesarios para la separación de aguas, se deben utilizar de cincuenta milímetros para aguas grises y de ciento diez para las negras **(ANEXO 9)**.

- Desde el punto de vista de personal militar, a pesar de la sencillez de los sistemas propuestos para el tratamiento de las aguas residuales, parte del personal de la Base deberá recibir una mínima formación para su mantenimiento. El objetivo es que su mantenimiento sea interarmas, liberando a los Ingenieros de esta carga pues son un recurso crítico en Zona de Operaciones. Sin embargo, esto que puede parecer una ventaja se puede convertir en una debilidad, ya que se debe implantar un servicio de vigilancia de operador de la planta PTAR y del filtro de aguas grises. De esta manera, el operador debe llevar controlado el mantenimiento, las revisiones y la carga de trabajo a la que están sometidas ambas instalaciones. Los relevos de este servicio deben ser controlados por un suboficial u oficial al mando de la USBA (Unidad de Servicio de la Base), de tal manera que se siga un control minimizando el riesgo de fallo o rotura. Al cambiar el Contingente desplegado, estos jefes de USBA deberán realizar un relevo minucioso, con el fin de que las fechas de mantenimiento y limpieza no se extravíen.

## 6. Conclusiones

Según lo expuesto en este trabajo, las propuestas aquí descritas se consideran alcanzables, además de solucionar el problema del tratamiento de aguas negras. La principal razón es la simplicidad y el uso de medios en dotación del Ejército de Tierra, lo que reduce los costes de adquisición de otros equipos, como ocurre en la actualidad. A modo de resumen, se muestra una relación de las medidas propuestas más relevantes:

1. Diferenciación entre aguas negras y grises en los contenedores de ablución, de tal manera que puedan ser tratadas por diferentes cauces y distintos métodos, optimizando su aprovechamiento.
2. Utilización de sistemas sencillos para que el personal encargado de su uso y mantenimiento no se convierta en un recurso crítico, facilitando la formación y la logística de sus materiales.
3. Elección de las modalidades anaerobias, a pesar de la producción de metano y otros gases en pos de un mayor aprovechamiento del terreno disponible.
4. El uso de un filtro horizontal para las aguas grises y pluviales por su fácil diseño y construcción, pudiéndose construir in situ en Zona de Operaciones.
5. Extracción de fangos activos, de tal manera que los fangos sean reciclados y ofrecidos como abono a los agricultores locales, siendo su incineración la segunda opción.
6. La necesidad de crear conciencia para cuidar el medioambiente, y de tomar precauciones para evitar enfermedades provocadas por una mala gestión de residuos.

## 7. Futuras Líneas de Trabajo

A pesar de que este trabajo de investigación intenta ser lo más completo posible, siguen existiendo aspectos que, por su magnitud, se deberían abordar en trabajos futuros. Entre estos aspectos a estudiar se encuentran la gestión de fangos y el tratamiento del metano producido en el proceso anaerobio:

En primer lugar, una opción para gestionar los fangos producidos, si no pueden donarse a los agricultores, sería la instalación de un digestor anaerobio. Este sistema utiliza una serie de bacterias que consumen la materia del digestor produciendo metano para su uso doméstico, lo cual nos lleva al otro problema.

En relación con el metano, la idea de construir almacenes de biogás dentro de una Base resulta imposible por los peligros que suponen. Sin embargo, se podría estudiar la viabilidad de utilizar este flujo de metano, componente primordial del biogás, para obtener energía y emplearla en calentar el agua de las duchas, el uso en cocinas, como combustible, etc.

Se trata de posibles soluciones que podrían ser estudiadas en un futuro a fin de completar y perfeccionar las propuestas indicadas en este Trabajo de Optimización del Tratamiento de Aguas Residuales en Zona de Operaciones.

## **8. ANEXOS**

## ANEXO 1

### DETALLE INTERIOR DE LOS CONTENEDORES DE ABLUCIÓN



Figura 8. Retrete. Fuente: Propia.

En la imagen superior se expone el detalle de los retretes dentro de los contenedores de ablución. En la parte inferior, se aprecian las duchas y los lavabos en frente de ellas. La combinación de estos tres elementos depende de las necesidades de la zona en la que se instalarán.

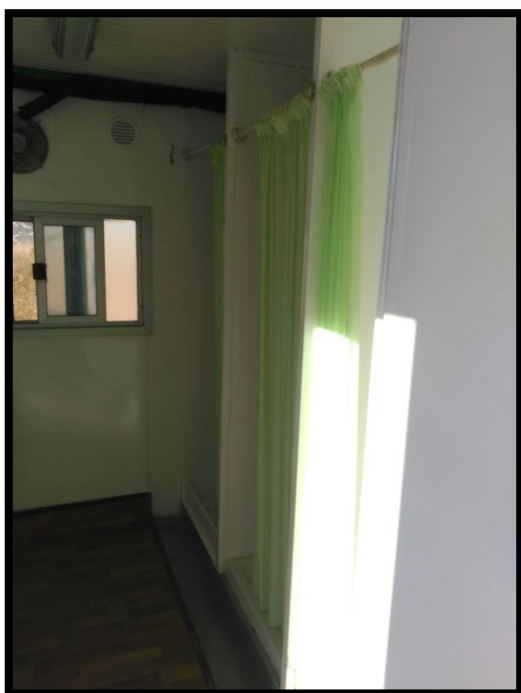


Figura 9. Duchas. Fuente: Propia.

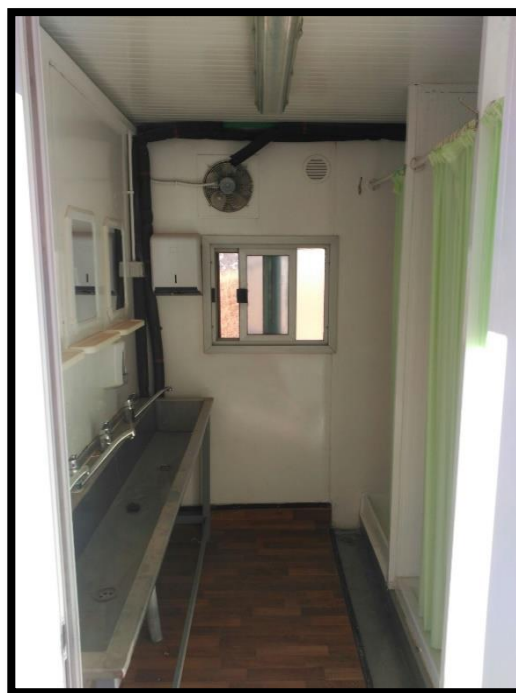


Figura 10. Lavabos y duchas. Fuente: Propia.

## ANEXO 2

### NORMATIVA 91/271

La Directiva 91/271/CEE, define los sistemas de recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas. Sintetiza las obligaciones de España sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, entre las que destacan el informar periódicamente del desarrollo de estas actividades y cuándo informar.

A continuación, se expondrán los requisitos mínimos a cumplir, considerando las bases en el extranjero como pequeños núcleos urbanos. Ciertas unidades están muy por encima del nivel del mar y otras más próximas. Es un parámetro importante por la relación con el contenido de oxígeno en el aire en función de la altitud. Por ello se muestran datos para diversas localizaciones.

| <b>REQUISITOS PARA LOS VERTIDOS PROCEDENTES DE INSTALACIONES DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS MEDIANTE TRATAMIENTO SECUNDARIO</b> |                      |   |
|--|----------------------|---|
| <b>Parámetros</b>  | <b>Concentración</b> | <b>Porcentaje mínimo de reducción<sup>7</sup></b> |
| DBO <sub>5</sub>   | 25 mg/L de oxígeno   | 70-90%  |
| DQO  | 125 mg/L de oxígeno  | 75%   |
| Total sólidos en suspensión  | 35 mg/L              | 90%   |

| <b>REQUISITOS PARA LOS VERTIDOS PROCEDENTES DE INSTALACIONES DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS EN ZONAS DE ALTA MONTAÑA (&gt; 1500 m)</b> |                               |                                       |
|---|-------------------------------|---------------------------------------|
| <b>Parámetros</b>   | <b>Concentración</b>          | <b>Porcentaje mínimo de reducción</b> |
| DBO <sub>5</sub>  | 25 mg/L de oxígeno            | 70-90%                                |
| DQO   | 125 mg/L de oxígeno           | 75%                                   |
| Total sólidos en suspensión   | 2000-10000 h-eq serán 60 mg/L | 70%                                   |
|   | >10000 h-eq serán 35 mg/L     | 90%                                   |

| <b>REQUISITOS PARA LOS VERTIDOS PROCEDENTES DE INSTALACIONES DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS MEDIANTE TRATAMIENTO PRIMARIO</b> |                                       |
|--|---------------------------------------|
| <b>Parámetros</b>  | <b>Porcentaje mínimo de reducción</b> |
| DBO <sub>5</sub>   | 20%                                   |
| Total sólidos en suspensión  | 50%                                   |

| <b>REQUISITOS PARA LOS VERTIDOS PROCEDENTES DE INSTALACIONES DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS MEDIANTE TRATAMIENTO MÁS RIGUROSO</b> |                      |              |                                       |
|--|----------------------|--------------|---------------------------------------|
| <b>Parámetros</b>  | <b>Concentración</b> |              | <b>Porcentaje mínimo de reducción</b> |
|  | 10000-100000 h-eq    | >100000 h-eq |                                       |
| Fósforo total  | 2 mg/L P             | 1 mg/L P     | 80%                                   |
| Nitrógeno total  | 15 mg/L N            | 10 mg/L N    | 70-80%                                |

<sup>7</sup> Porcentaje mínimo de reducción: reducción relacionada con la carga del caudal de entrada.



### ANEXO 3

#### PRINCIPALES VIRUS TRANSMITIDOS POR EL AGUA

| <b><u>VIRUS</u></b>     | <b><u>FUENTE</u></b> | <b><u>PERIODO DE INCUBACIÓN</u></b> | <b><u>DURACIÓN</u></b>  | <b><u>SÍNTOMAS CLÍNICOS</u></b>  |
|-------------------------|----------------------|-------------------------------------|-------------------------|--|
| Enterovirus             | Heces                | 3-14 días                           | Variable                | Gastrointestinales, encefalitis, enfermedades respiratorias, conjuntivitis |
| Astrovirus              | Heces                | 1-4 días                            | 2-3 días                | Náusea, vómito, dolor abdominal, fiebre                                    |
| Virus de la Hepatitis A | Heces                | 15-50 días                          | 1-2 semanas hasta meses | Cansancio, ictericia, dolor de cabeza, piel amarilla                       |
| Virus de la Hepatitis E | Heces                | 15-65 días                          | Similar al VHA          | Similar al VHA   |
| Rotavirus Grupo A       | Heces                | 1-3 días                            | 5-7 días                | Gastroenteritis con náusea y vómito  |
| Rotavirus Grupo B       | Heces                | 2-3 días                            | 3-7 días                | Gastroenteritis  |
| Calicivirus             | Heces                | 1-3 días                            | 1-3 días                | Gastroenteritis  |
| Virus Norwalk Like      | Heces                | 1-2 días                            | 1-4 días                | Diarrea, vómito, dolor de cabeza, dolor abdominal                          |

Tabla 2. Virus en el agua. Fuente: CYTED.

## ANEXO 4

### TAMICES ESTÁTICO Y ROTATIVO, ESQUEMAS



Figura 11. Tamiz Estático. Fuente: UPM.

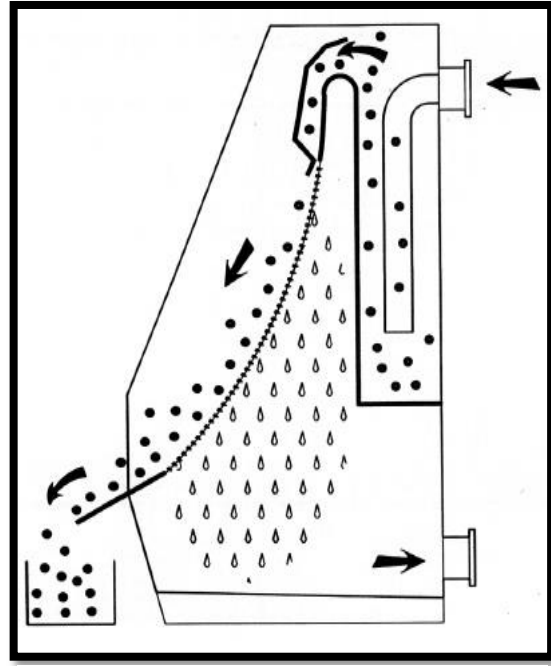


Figura 12. Esquema de Tamiz Estático. Fuente: UPM.

En la parte superior, se aprecia un tamiz estático y un esquema de su funcionamiento, mientras que en la parte inferior, se expone un tamiz rotativo con el suyo. Mientras el estático se vale de la gravedad y de la diferencia de granulometría, para separar las partículas del agua, el rotativo usa un cilindro giratorio que las extrae y las expulsa del agua a tratar.



Figura 13. Tamiz Rotativo. Fuente: UPM.

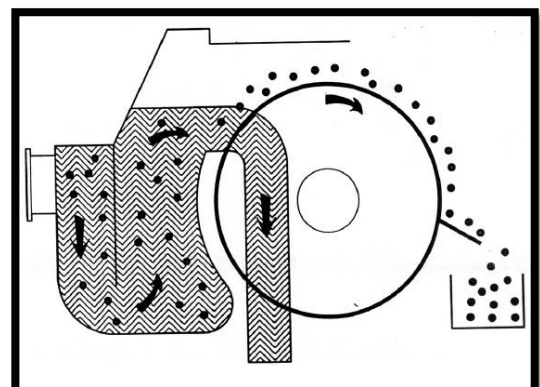


Figura 14. Esquema de Tamiz Rotativo. Fuente: UPM.

## ANEXO 5

### DECANTADORES CIRCULAR, VERTICAL Y RECTANGULAR

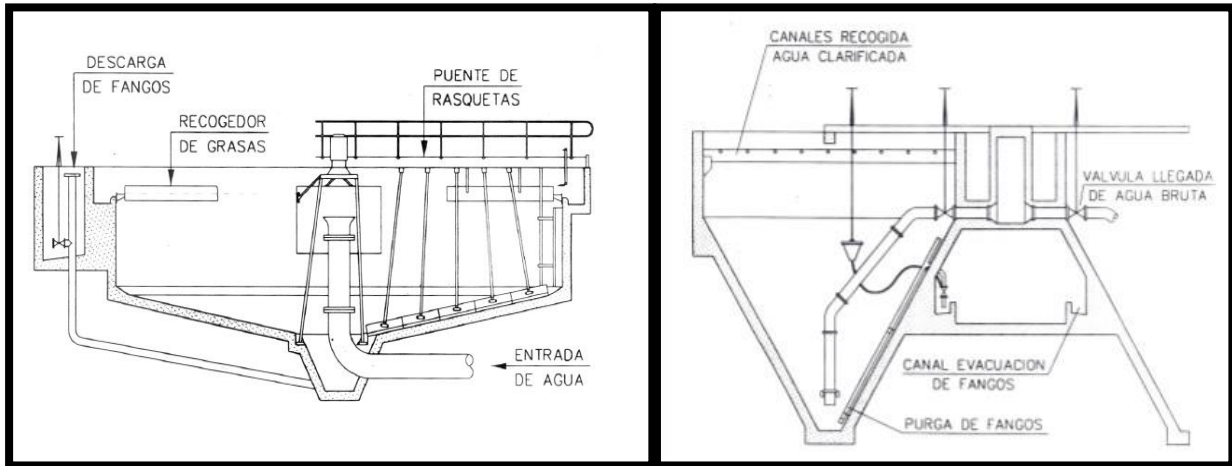


Figura 15. Decantador circular (izquierda) y decantador vertical (derecha). Fuente: IMA.



Figura 16. Decantador rectangular con raspquetas.  
Fuente: UPM.

## ANEXO 6

### FANGOS ACTIVOS

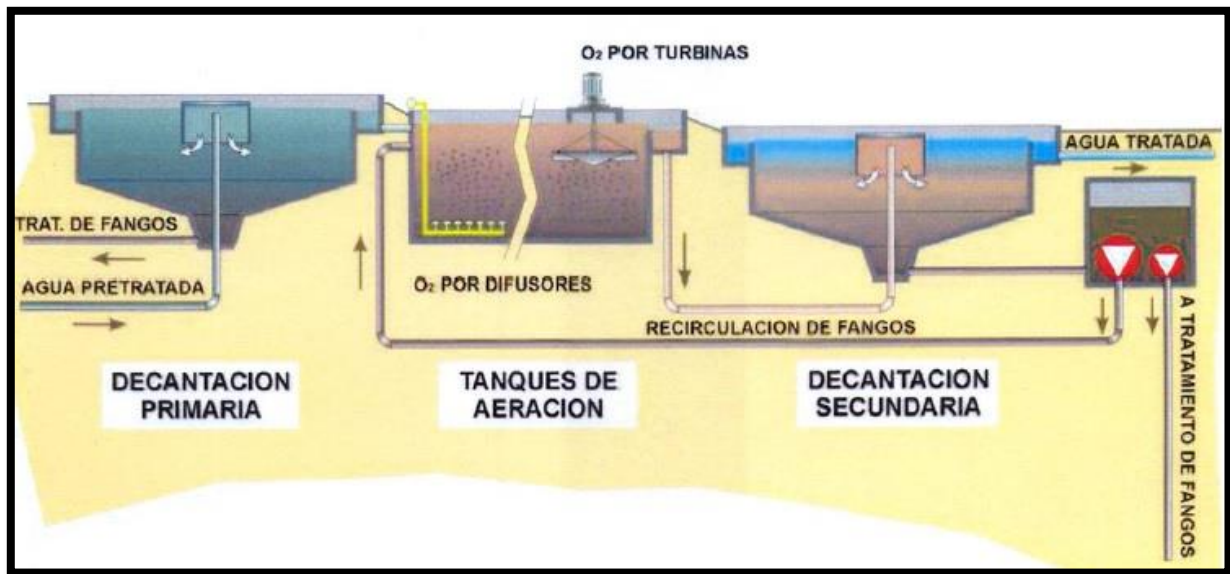


Figura 17. Esquema PTAR Fangos activos. Fuente: UPM.

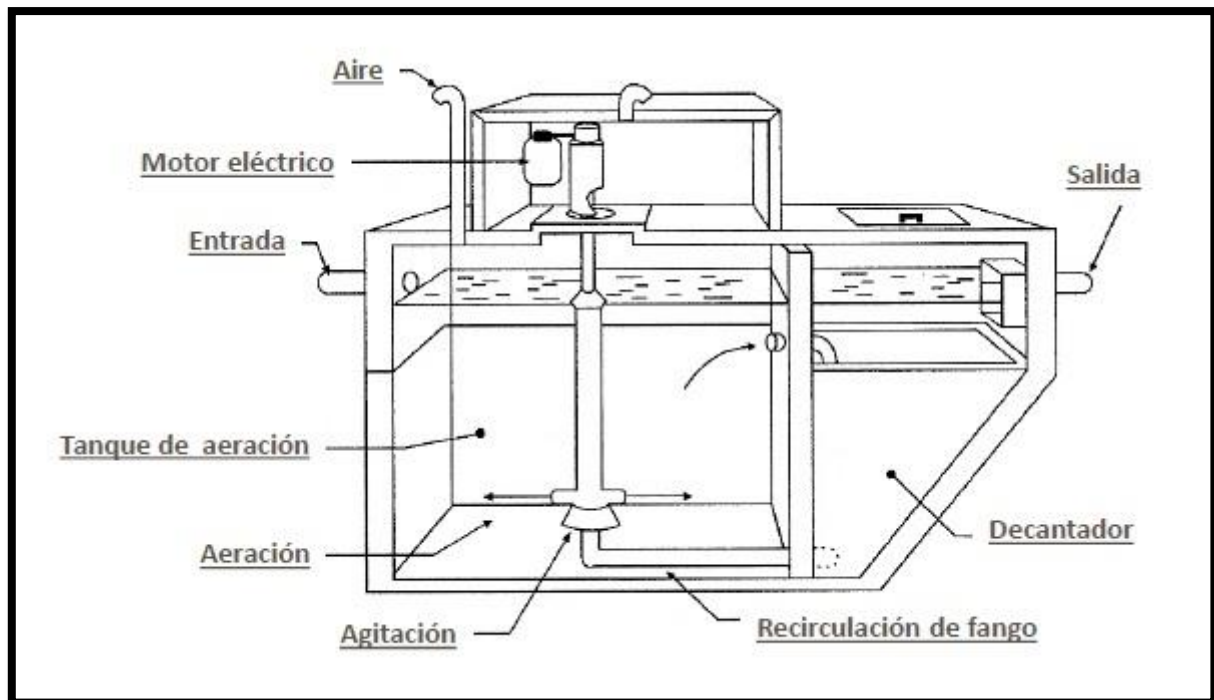


Figura 18. Esquema Tanque de Aireación. Fuente: UPM.

## ANEXO 7

### REACTOR DE LECHOS BACTERIANO

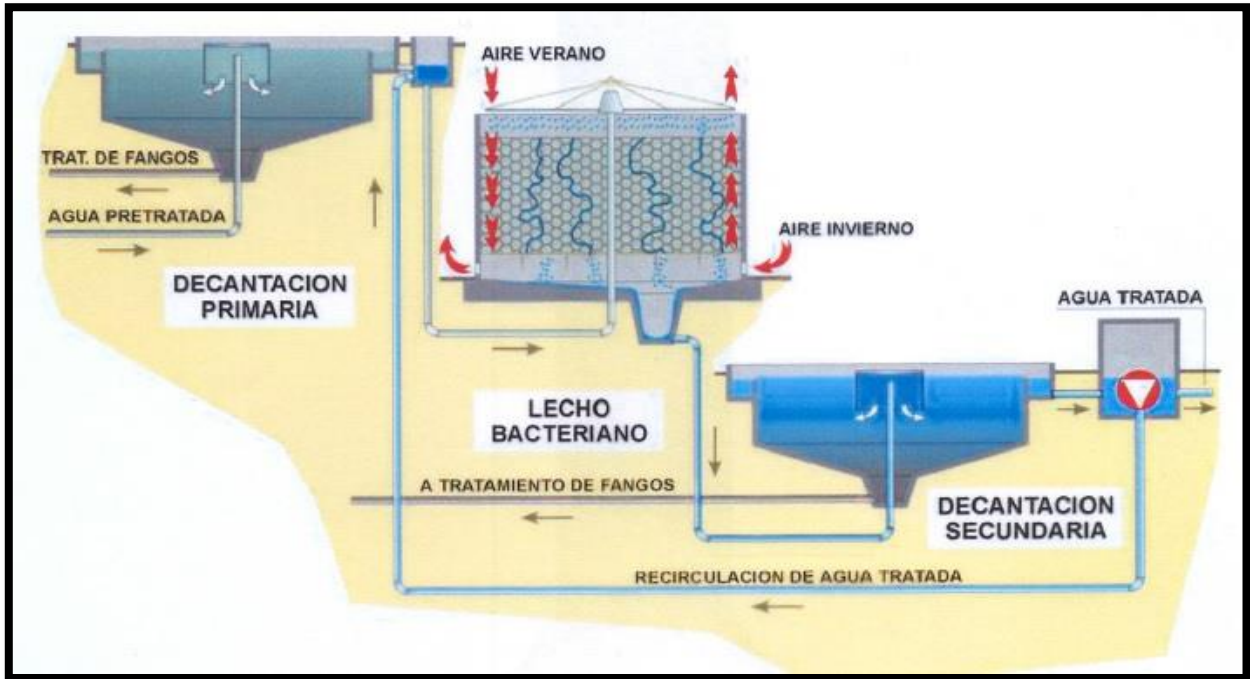


Figura 19. Reactor de Lechos Bacterianos. Fuente: UPM.

El tanque de lechos bacterianos puede contener áridos, plásticos o una combinación de ambos. En el momento que se va a decidir el contenido del tanque, hay que tener en cuenta el índice de huecos y la superficie específica (la relación entre los metros cuadrados de huecos y los metros cúbicos del tanque).

A continuación se expone un cuadro comparativo con las características de los diferentes rellenos:

| <u>COMUNES</u>                | <u>SINTÉTICOS</u>           |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Piedra silíceas, generalmente | Plásticos                   |
| 45-55% de huecos              | 85-98% de huecos            |
| 4-8 cm de diámetro            | Diámetro variable           |
|                               | Menor peso, hasta un 95%    |
|                               | Mayor superficie específica |

Tabla 3. Comparación de Rellenos.

## ANEXO 8

### DIMENSIÓN ELEMENTOS PTAR

Población estimada: 1000 personas .

Se mayorará en un 15% debido al uso de cocinas y lavaderos, por lo que los habitantes serán 1150 personas.

Agua media consumida en Zona de Operaciones: 100 litros/día por persona.

Agua necesaria: 115000 l/día = 115 m<sup>3</sup>/día.

Según la Directiva 91/271, la producción de DBO<sub>5</sub> por habitante es de 60 gramos/habitante, por lo que la DBO<sub>5</sub> será de 69000 g/día = 69kg/día.

Para estos cálculos, se adoptarán los siguientes datos:

- Edad del fango: 20 días.
- Temperatura del fango: 15 °C.
- Concentración de sólidos en suspensión (CSS): 2,5 kg/m<sup>3</sup>.

Teniendo estas consideraciones, el **volumen del tanque** (V<sub>T</sub>) de los fangos se calcula de la siguiente manera:

$$V_T = \frac{\frac{Kg}{día} DBO_5 * Edad\ del\ fango}{CSS} = \frac{69 * 20}{2,5} = 552\ m^3$$

Obviamente, esta dimensión es demasiado grande para un solo tanque. Como se ha explicado, habrá que distribuir diferentes PTAR por la Base y así optimizar el tratamiento de las aguas residuales. Si dividimos este volumen entre 3, se obtiene una dimensión de 184 m<sup>3</sup>.

Por lo tanto, la dimensión de los decantadores debe ser la misma pues tratarán el mismo caudal, 184 m<sup>3</sup>. Al haber elegido el decantador rectangular, las dimensiones elegidas serán las que se aprecian en la figura, en metros.

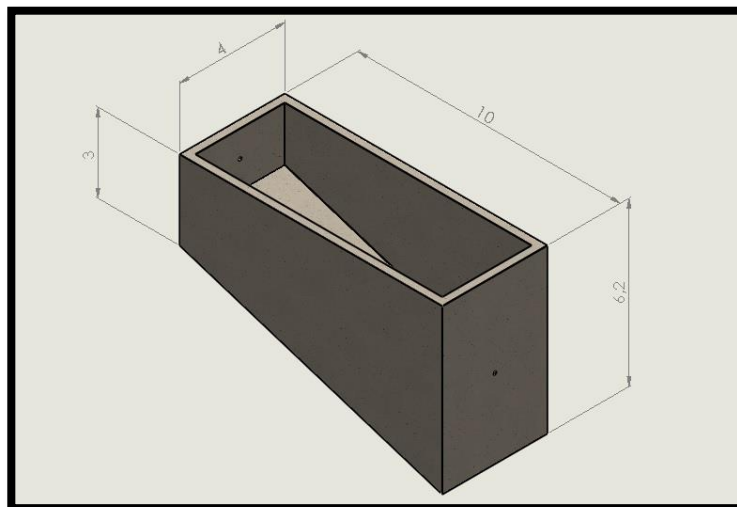


Figura 11. Modelo decantador Primario/Secundario. Fuente: Propia.



## ANEXO 9

### DETALLE TUBERÍAS 50 Y 110 mm

La diferencia de volumen, principalmente por los sólidos que contienen las aguas residuales, entre aguas negras y grises, tiene como consecuencia la necesidad de instalar dos tipos diferentes de tuberías de PVC. Sus principales características son similares, salvo el diámetro: Para aguas negras se utiliza una tubería de 110 mm de diámetro y para las grises de 50 mm.



Figura 21. Detalle salida 110mm. Fuente: Propia.

Actualmente, en aquellas Bases donde hay contenedores con las agua separadas, pero se carece de sistemas de tratamiento distintos, se anula una salida, generalmente la de las aguas grises, redirigiéndolas con las negras, mediante el empleo de una tubería en "Y", como se muestra más abajo. De esta manera, se usa solamente un tipo de tubería, la de 110 mm.



Figura 22. Uso de "Y" conectora. Fuente: Propia.

## 9. Lista de Tablas

|   |    |
|---|----|
| Tabla 1. Relación N° de Usuarios/Dimensión de Fosa Séptica. Fuente: UPM ..... | 9  |
| Tabla 2. Virus en el agua. Fuente: CYTED.....                                 | 27 |
| Tabla 3. Comparación de Rellenos.....   | 31 |



## 10. Lista de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Contenedor de Ablución. Fuente: Propia. ....  | 8  |
| Figura 2. Prefabricado de Fangos Activos. Fuente: UPM. ....                                   | 10 |
| Figura 3. Rellenos. Fuente: UNFAMED. ....   | 12 |
| Figura 4. Filtro Horizontal. Fuente: Instituto Carlos Slim de la Salud. ....                  | 14 |
| Figura 5. Filtro Vertical para aguas grises. Fuente: Fresno. Valves and Castings INC. ....    | 15 |
| Figura 6. Biogás producido por kg de M. Orgánica. Fuente: Imhoff. ....                        | 18 |
| Figura 7. PAL. Fuente: Propia. ....   | 21 |
| Figura 8. Retrete. Fuente: Propia. ....   | 25 |
| Figura 9. Lavabos y duchas. Fuente: Propia. ....  | 25 |
| Figura 10. Duchas. Fuente: Propia. ....   | 25 |
| Figura 11. Esquema de Tamiz Estático. Fuente: UPM. ....                                       | 28 |
| Figura 12. Tamiz Estático. Fuente: UPM. ....  | 28 |
| Figura 13. Tamiz Rotativo. Fuente: UPM. ....  | 28 |
| Figura 14. Esquema de Tamiz Rotativo. Fuente: UPM. ....                                       | 28 |
| Figura 15. Decantador circular (izquierda) y decantador vertical (derecha). Fuente: IMA. .... | 29 |
| Figura 16. Decantador rectangular con rasquetas. Fuente: UPM. ....                            | 29 |
| Figura 17. Esquema PTAR Fangos activos. Fuente: UPM. ....                                     | 30 |
| Figura 18. Esquema Tanque de Aireación. Fuente: UPM. ....                                     | 30 |
| Figura 19. Reactor de Lechos Bacterianos. Fuente: UPM. ....                                   | 31 |
| Figura 20. Modelo decantador Primario/Secundario. Fuente: Propia. ....                        | 32 |
| Figura 21. Detalle salida 110mm. Fuente: Propia. ....   | 33 |
| Figura 22. Uso de "Y" conectora. Fuente: Propia. ....   | 33 |

## 11. Bibliografía

- [1] Mando de Adiestramiento y Doctrina, Batallón de Castrametación, Madrid: Centro Geográfico del Ejército, 2008.
- [2] P. H. L. A. J. G. Aurelio Hernández Muñoz, Manual para la Evaluación de Impactos Medioambientales, Madrid: INNOCIVE.
- [3] Mando de Adiestramiento y Doctrina, Protección Medioambiental en el Ejército de Tierra, Centro Geográfico del Ejército, 2001.
- [4] *Directiva 91/271/CEE Sobre el Tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas.*
- [5] Organización Mundial de la Salud, [En línea]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>. [Último acceso: 5 Octubre 2016].
- [6] CYTED. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología., «Riesgo de Enfermedades Transmitidas por el agua en Zonas Rurales,» de *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas.*
- [7] UPM, *Ingeniería sanitaria y Ambiental*, Madrid.
- [8] Isabel Fonts Amador, Óscar de la Iglesia Pedraza, Miguel Urbiztondo Castro, Javier del Valle Melendo, Tecnologías del Medio Ambiente, Zaragoza: Centro Universitario de la Defensa, 2014.
- [9] UNFAMED, [En línea]. Disponible en: <http://unfamed.com>. [Último acceso: 11 Octubre 2016].
- [10] Instituto Carlos Slim de la Salud, 2012. [En línea]. Disponible en: [www.salud.carlosslim.org](http://www.salud.carlosslim.org). [Último acceso: 6 Octubre 2016].
- [11] Flow-Guard, «Filtros de Grava y Arena Verticales,» Publicación propia de Fresno. Valves & Castings, INC, 2010.
- [12] Mando de Adiestramiento y Doctrina, Manual Técnico. Remolque Lavadero: Descripción y mantenimiento orgánico, Madrid: Centro Geográfico del Ejército, 1998.
- [13] Grupo Tecнове, [En línea]. Disponible en: <http://www.tecnove.com/>. [Último acceso: 22 Septiembre 2016].
- [14] ARPA. Equipos Móviles de Campaña, [En línea]. Disponible en: <http://arpaemc.com/>. [Último acceso: 23 Septiembre 2016].

- [15] SETA. Sociedad Española de Tratamiento de Agua, Manual Técnico. Planta Potabilizadora en Contenedor de 20' 3E/3000UE, Centro Geográfico del Ejército, 2005.
- [16] BOE Nº 312, *Real Decreto-Ley 11/1995*, 30 de Diciembre de 1995.
- [17] RIGUAL, S.A., Manual de empleo y manejo de los equipos. Plataforma Autónoma de Equipo para Limpiza de fosas Sépticas y Wateres Químicos utilizable para Vempar militar., Fraga: Centro Geográfico del Ejército.