



Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos  
Hidráulicos (ERIS)

**SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS,  
UTILIZANDO LODOS ACTIVADOS EN CAUDALES MENORES A 2.5 m<sup>3</sup>/día  
POR MEDIO DE TANQUES DE POLIETILENO**

**Ing. Gabriel Estuardo Morales Estrada**

Asesorado por el M.Sc. Ing. Zenon Much Santos

Guatemala, febrero de 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS,  
UTILIZANDO LODOS ACTIVADOS EN CAUDALES MENORES A 2.5 m<sup>3</sup>/día  
POR MEDIO DE TANQUES DE POLIETILENO**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA  
Y RECURSOS HIDRÁULICOS –ERIS-  
POR

ING. GABRIEL ESTUARDO MORALES ESTRADA

ASESORADO POR  
M.SC. ING. ZENON MUCH SANTOS

COMO REQUISITO PREVIO PARA OPTAR AL GRADO ACADÉMICO DE  
**MAESTRO (MAGISTER SCIENTIFICAE) EN INGENIERÍA SANITARIA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Adán Pocasangre
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Joram Gil
EXAMINADOR	M.Sc. Ing. Zenon Much Santos



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, UTILIZANDO LODOS ACTIVADOS EN CAUDALES MENORES A 2.5 m<sup>3</sup>/día POR MEDIO DE TANQUES DE POLIETILENO**

Tema que me fuera asignado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS, el 28 de julio de 2009, con las modificaciones y aceptaciones de las correcciones realizadas por Ing. Zenon Much Santos, en el octubre 2015, febrero 2016.

**Ing. Gabriel Estuardo Morales Estrada**

**inggeme@gmail.com**

**Carné 100017413**





Guatemala 27 de enero 2020

M.Sc. Ing. Adán Pocasangre  
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS)  
Facultad de ingeniería, USAC

Habiendo revisado el documento titulado:

**SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, UTILIZANDO LODOS  
ACTIVADOS EN CAUDALES MENORES A 2.5 m<sup>3</sup>/día POR MEDIO DE TANQUES DE POLIETILENO**

Elaborado por el Ing. **Gabriel Estuardo Morales Estrada**, como parte de su Estudio Especial, y como requisito para optar al grado académico de Maestro en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y revisión de lingüística, por lo tanto, le comunico que dicho documento cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente me suscribo de usted.

Atentamente.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

MSc. Ing. Zenon Much Santos  
Asesor del estudio



Guatemala, 04 de febrero de 2020

Señores Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS):

Respetuosamente les comunico que he revisado y aprobado, en mi calidad de coordinador de la maestría en Ingeniería Sanitaria, el informe final del Estudio Especial titulado:

**SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, UTILIZANDO LODOS  
ACTIVADOS EN CAUDALES MENORES A 2.5 m<sup>3</sup>/día POR MEDIO DE TANQUES DE POLIETILENO**

Presentado por el estudiante:

**Ing. Gabriel Estuardo Morales Estrada**

Les manifiesto que el estudiante cumplió en forma satisfactoria con todos los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos - ERIS- y por la Universidad de San Carlos de Guatemala en la realización de su estudio. Agradeciéndoles de antemano la atención a la presente, se suscribe de ustedes,  
Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M.Sc. Ing. Adán Pocasangre  
Coordinador Maestría Ingeniería Sanitaria



Guatemala, 06 de febrero 2020

El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: M.Sc. Ing. Joram Gil Larroj, Msc. Ing. Zenon Much Santos y, M.Sc. Ing. Adán Pocasangre, así como el visto bueno del Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria ; M.Sc Ing. Adán Pocasangre y la revisión lingüística realizada por el (la) Licenciad(a) nombre Ruth Nohemí Cardona Mazariegos Colegiado(a) No. 12,498, al trabajo del estudiante Ing. Gabriel Estuardo Morales Estrada, titulado: **SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, UTILIZANDO LODOS ACTIVADOS EN CAUDALES MENORES A 2.5 m<sup>3</sup>/día POR MEDIO DE TANQUES DE POLIETILENO.** En representación de la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado, procede a la autorización del mismo, en Guatemala a los seis días del mes de febrero 2020.

**Imprimase**

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

M.Sc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

**DIRECTOR**



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Un SER**

Ver hacia atrás y decir: gracias Padre, porque tu misericordia ha estado con mi persona todos los días de mi vida, solo a Él, quien se merece toda gloria y honra.

### **Mi madre**

Con amor y cariño, siempre me has dado lo mejor sin importar que a ti te hiciera falta, infinitas gracias.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad San  
Carlos de Guatemala**

Porque siempre que lo mencionan, me siento orgulloso de haber pertenecido a esta casa de estudios.

**Escuela Regional de  
Ingeniería Sanitaria y  
Recursos Hidráulicos**

Porque sin pensarlo en el año 2008, al día de hoy se ha vuelto mi estilo de vida, mi pasión y todo gracias a los estudios que en ERIS (**ERIS**) obtuve y se los agradezco a todos los catedráticos que de una u otra forma me apoyaron en esta carrera.

**Mi familia**

Madre, que increíble saber que tu corazón y tu ser completo siempre está dispuesto a dar todo por nosotros. A mis dos hermanos, porque hemos disfrutado juntos y siempre me han apoyado.



# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN.....	XI
HIPOTESIS.....	XIII
OBJETIVOS.....	XVII
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
JUSTIFICACIÓN.....	XIX
VIABILIDAD.....	XXI
ALCANCE.....	XXIII
LIMITACIONES.....	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Generalidades, características del diseño del sistema propuesto (DMF) nombre comercial, en parte de anexos (fotografías), para visualizar de mejor manera el sistema.....	1
1.1.1. Tanque de tratamiento primario.....	2
1.1.2. Tanque de aireación y medio filtrante.....	2
1.1.3. Clarificador y sedimentador final.....	3
1.2. Usos recomendados.....	4
1.3. Beneficios.....	5
1.4. Enfoque técnico/comercial regiones potenciales de distribución.....	5

1.5.	Comparacion de sistemas de tratamiento	¡Error! Marcador no definido.	
1.6.	Instalación del sistema DMF tratamiento de aguas residuales.....		7
1.7.	Cimentación y nivelacion de la excavación .....		7
1.8.	Conexiones en general del sistema de tratamiento DMF .....		8
1.9.	Información adicional .....		8
1.10.	Descripción de MiniTab.....		9
2.	ANTECEDENTES.....		13
3.	DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....		15
4.	METODOLOGÍA .....		17
4.1.	4.1. Delimitación del área de estudio.....		17
4.2.	Muestreo: utilizando el software Minitab.....		17
4.3.	Diagrama de actividades realizadas durante el estudio.....		20
4.4.	Equipo utilizado para el tratamiento de aguas residuales de lodos activados .....		21
4.5.	Período de captación de muestras .....		21
4.6.	Determinación del porcentaje de remoción de la planta .....		22
4.7.	Determinación de la media geométrica y desviación estándar .....		22
4.8.	Determinación del valor económico del tratamiento .....		23
5.	RESULTADOS .....		25
6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....		31

CONCLUSIONES .....	37
RECOMENDACIONES.....	39
BIBLIOGRAFÍA.....	41
APÉNDICES.....	43
ANEXO.....	55



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Diagrama tratamiento de lodos activados .....	4
2.	Localización de lugar de pruebas .....	14
3.	Tabla de Minitab para cálculo de número de muestras .....	19
4.	Tabla de Minitab que indica la cantidad de muestras a realizar.....	19
5.	Diagrama de actividades.....	20
6.	Parámetro de Turbidez a la entrada y salida del tratamiento.....	32
7.	Parámetro de DQO en la entrada y salida del tratamiento .....	33
8.	Parámetro de DBO en la entrada y salida del tratamiento.....	34
9.	Resultados del porcentaje de remoción promedio de los parámetros DQO, DBO y turbidez.....	35
10.	Comparación económica de inversión inicial de tratamientos de agua residual	36

### TABLAS

I.	Resultados de los parámetros a la entrada del sistema de tratamiento de agua residual en días específicos de muestreo .....	25
II.	Resultados de los parámetros a la salida del sistema de tratamiento de agua residual en días específicos de muestreo.....	26
III.	Porcentaje de remoción del tratamiento de lodos activados por día .....	27
IV.	Resultados de desviación estándar y media geométrica .....	28

V.	Resultados promedio de porcentajes de remoción de tratamiento de lodos activados .....	28
VI.	Resumen y comparación de diferentes tratamientos de agua residual costos actualizados 2019, para caudales de 2.5 m <sup>3</sup> /día .....	29
VII.	Cálculo del precio del sistema de modalidad llave en mano .....	29

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Área
<b>Q</b>	Caudal
<b><math>\rho</math></b>	Densidad
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxígeno
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno
<b>g</b>	Gramo
<b>h</b>	Horas
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>lb</b>	Libra
<b>mg</b>	Miligramos
<b>mm</b>	Milímetro
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>n</b>	Número de datos analizados
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>%</b>	Porcentaje con base 100
<b>T</b>	Tonelada
<b>NTU</b>	Unidades Nefelometricas de Turbidez
<b>V</b>	Volumen
<b>V</b>	Voltios



## **GLOSARIO**

<b>Lodos</b>	Mezcla de tierra y agua, especialmente lo que forma la lluvia en el suelo.
<b>Lodos activados</b>	El proceso de los lodos activados para el tratamiento de aguas negras, está basado en proporcionar un contacto íntimo entre las aguas negras y lodos biológicamente activos. Los lodos se desarrollan inicialmente por una aireación prolongada bajo condiciones que favorecen el crecimiento de organismos que tienen la habilidad especial de oxidar materia orgánica. Cuando los lodos que contienen estos organismos entran en contacto con las aguas negras, los materiales orgánicos se oxidan, y las partículas en suspensión y los coloides tienden a coagularse y formar un precipitado que se sedimenta con bastante rapidez. Es necesario un control de operación muy elevado para asegurar que se tenga una fuente suficiente de oxígeno, que exista un contacto íntimo y un mezclado continuo de las aguas negras y de los lodos, y que la relación del volumen de los lodos activados agregados al volumen de aguas negras que están bajo tratamiento se mantenga prácticamente constante.

<b>Plantas de tratamiento</b>	Consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano, por microorganismos.
<b>Agua residual</b>	Es cualquier tipo de agua, cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica. Las aguas residuales incluyen las aguas usadas, domésticas, urbanas y los residuos líquidos industriales o mineros eliminados, o las aguas que se mezclaron con las anteriores (aguas pluviales o naturales). Su importancia es tal que, requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.
<b>Aireación</b>	Es inyectar aire dentro del agua residual, por medio de bombeo, para oxidar los contaminantes contenidos en la misma.
<b>Bombeo</b>	Son estructuras destinadas a elevar un fluido desde un nivel energético inicial a un nivel energético mayor. Su uso es extendido en varios campos de la ingeniería.
<b>Tratamiento</b>	Transformación física, química, biológica de los residuos sólidos, para alterar sus características, proporciona mayor estabilidad o posibilidad de aprovechar su potencial.

## RESUMEN

El objetivo principal es diseñar, implementar y operar un sistema de tratamiento eficiente para un mercado inmobiliario que no cuenta con un tratamiento de agua residual para caudales pequeños, que cumpla con la legislación ambiental guatemalteca, Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Para lograr el objetivo, se instaló un diseño de tratamiento de lodos activados, una planta piloto por un espacio de 70 días aproximadamente, donde se utilizó el sistema piloto de tratamiento para tratar el agua residual de origen doméstico, en este período de tiempo en días aleatorios se realizaron 19 muestras, se analizaron 3 parámetros, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y turbiedad.

Posterior a las mediciones, se compararon los datos para demostrar la reducción de contaminación en el agua residual, que se trató a los resultados obtenidos se le calculó el promedio de remoción del tratamiento con los parámetros de DQO y DBO; también se calculó la media geométrica para saber el promedio de los resultados obtenidos, y se calculó una desviación estándar para saber cuánto es el rango de desviación de los datos.

Se obtuvo un valor mínimo del parámetro de DBO de 221 mg/L y con un valor máximo de DBO de 413 mg/L, en el parámetro de DQO se obtuvo un valor mínimo de 87 mg/L y un valor máximo de 256 mg/L, el promedio de remoción en el tratamiento con el parámetro de DBO de 86.66 % y con el parámetro de DQO de 87.67 %.

Con los promedios de remoción obtenidos, se comprueba la hipótesis, así lograr una remoción mayor a 85 % para caudales de 2.5 metros cúbicos al día.

## **HIPÓTESIS**

El sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas tipo “lodos activados”, donde se obtenga promedio de remoción de 85 % en los parámetros de DBO y DQO, de forma eficiente y económica, para el desarrollo y apoyo en la disminución del porcentaje de mortalidad causada por el mal manejo de nuestras aguas residuales a nivel nacional.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Presentar un sistema de tratamiento de agua residual domestica tipo “lodos activados”, sistema eficiente, económico, que pueda implementar y operar para caudales menores a 2.5 m<sup>3</sup>/día, por medio de tanques prefabricados, con el fin de cumplir con lo establecido en el reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006 de fecha 05 de mayo de 2006.

### **Específicos**

1. Implementar, desarrollar y operar sistemas de tratamiento de agua residual doméstica, con caudales no mayores a 2.5 m<sup>3</sup>/día.
2. Implementar el sistema de lodos activados como un tratamiento de aguas residuales domesticas, eficiente y económico para desarrollos nuevos y establecidos a nivel rural y urbano, inmediatamente al concluir y demostrar la hipótesis planteada
3. Generar un valor que añada salud a población guatemalteca en general, teniendo como objetivo el cumplimiento de normas que rigen en todo el territorio nacional.



## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Guatemala existe un gran número de colonias, asentamientos, urbanos o rurales que no cuentan con un adecuado tratamiento de aguas residuales domésticas; Según la encuesta nacional de condiciones de vida (ENCOVI) 2015-2016, el 70% de los hogares guatemaltecos tiene acceso a servicios básicos, es decir, a agua entubada y drenajes a nivel urbano, mientras que en el área rural, solo el 30% de los hogares tienen acceso a estos servicios, teniendo un promedio de 53 muertes infantiles (menores de 10 años/año) por contaminación.

Existen muchas construcciones de viviendas (unificadas, condominios) comúnmente por seguridad y oficinas con caudales de agua residual iguales o menores a 2.5 metros cúbicos por litro, en el mercado existen varios tipos de tratamientos de agua residual que tienen solo el tratamiento primario o denominados como tratamientos primarios mejorados (fosas sépticas, biodigestores), pero en la actualidad no existe un sistema de tratamiento de agua residual doméstica bajo la tecnología de lodos activados económica que cumpla por completo con los parámetros del Acuerdo Gubernativo 236-2006, diseñado para la cantidad de caudal en mención, es por esta razón que se plantea la siguiente interrogante: ¿Es viable implementar un sistema de tratamiento de lodos activados para las aguas residuales domésticas, de bajo costo que cumpla con el acuerdo gubernativo vigente en Guatemala y que sea de fácil acceso a la población en general, aunque esto signifique con aportes gubernamentales para áreas rurales o de escasos recursos?



## JUSTIFICACIÓN

El sistema de tratamiento de agua residual domestica de tipo “lodos activados” con tanques de polietileno (prefabricado) reforzado es una opción eficiente y económica en el tratamiento de aguas residuales domésticas, que dentro de sus objetivos esta el mejorar el porcentaje de enfermedades causadas en la actualidad en Guatemala por el mal manejo de nuestras aguas residuales, dicho sistema abarca los tratamientos primarios y secundarios necesarios para cumplir con las legislaciones mencionadas, con el reglamento de descargas y reusó de aguas residuales y de la disposición de lodos, Acuerdo Gubernativo 236-2006 de fecha 05 de mayo de 2006, sistemas como fosas sépticas, biodigestores, que son económicamente más accesibles no cumplen la totalidad de parámetros por aspectos como (cargas orgánicas, culturas, temperatura del lugar donde se instala, mala operación), lo que hace necesario buscar sistemas que cumplan con las diferentes etapas de tratamiento a un bajo costo.

Evaluar dicha unidad de tratamiento, el cual permite tener un sistema apto para áreas rurales, urbanas con la única necesidad de contar con energía eléctrica 120 V. Monofásica, incluso con tecnología solar y a su vez, para el casco urbano permitirá cubrir un mercado que hasta el momento se ha descuidado causando daños importantes al ambiente y salud de la población, por acumulación (crecimiento de desarrollos), de entes contaminantes.



## **VIABILIDAD**

En la búsqueda de un sistema accesible económicamente hablando y con el respaldo financiero que fue brindado por parte de la empresa fabricante de los tanques y en general del sistema de la planta de tratamiento se limita a caudales no mayores a 2.5 m<sup>3</sup>/día, se realizaron los análisis de laboratorios, ensamblaje de piezas de PVC y el uso de los tanques de polietileno reforzado.

Por su gran sencillez, tanto en instalación como en operación, partiendo de los análisis realizados y su consumo mensual de energía, el proyecto está considerado como altamente viable técnica y económicamente a nivel rural y urbano, siendo una solución para un problema que afecta la salud actualmente.

Para la empresa de fabricación de plantas de tratamiento y desde el punto de vista técnico, este sistema representa gran herramienta por su fácil manejo y que no se requiere de personal altamente capacitado, lo que vuelve el proyecto técnicamente viable.



## **ALCANCE**

El alcance de este trabajo de investigación es la disponibilidad de información técnica sobre los resultados de tratamiento de lodos activados propuesto con tanques de polietileno (prefabricado), caracterización de las aguas residuales tratadas en este sistema, para cumplir con la legislación nacional del país reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de fecha 05 de mayo de 2006. Asimismo y como prioridad entregar un sistema de tratamiento, analizado y comprobado que beneficie la salud de las personas y se reduzcan las fuentes de contaminación.



## LIMITACIONES

1. El sistema de tratamiento de aguas residuales está diseñado para caudales iguales o menores a  $2.5 \text{ m}^3/\text{día}$ , por la alta proyección que existe de construcciones tipo condominios, asentamientos, aglomeraciones por seguridad de viviendas.
2. El sistema de tratamiento de lodos activados con tanques de polietileno necesita energía eléctrica de 120 voltios monofásica o en su defecto tecnología solar.



## INTRODUCCIÓN

Debido al poco interés de parte de nuestras autoridades y en ocasiones la susceptibilidad de las mismas hacia temas en manejo de desechos que son de beneficio general para toda la población, se ve cómo sobresalen los países vecinos de El Salvador, Costa Rica y Panamá, quienes ya trabajan en este campo.

Sin embargo, cabe resaltar que instituciones como: CALAS, USAID, INGENIEROS SIN FRONTERAS, entre otros, realizan campañas de apoyo a favor del medio ambiente y el entorno en sí de vida de la población en Guatemala, instituciones que hasta hace muy poco tiempo no eran escuchadas, si a la población no le faltan los recursos nunca notarán la gran importancia de tenerlos, y este es el punto clave del por qué en estos tiempos más personas se adhieren al movimiento por tratar, renovar, y reutilizar nuestros desechos. Sin importar que su objetivo sea distinto al de las instituciones previamente citadas, por mencionar algunas.

Por tal motivo, día con día se utilizan y se analizan nuevas propuestas que permitan el adecuado tratamiento de las aguas residuales, tratamientos que deben ser económicos, prácticos y de alta eficiencia en obtener el objetivo, el cual fueron diseñados, incluyendo en este tema que la operación y mantenimiento del sistema sea también práctico y económico.

Asesorado por Ing. Zenon Much y la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, ERIS, se presenta a continuación el tema: SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS, UTILIZANDO LODOS ACTIVADOS EN CAUDALES MENORES A 2.5 m<sup>3</sup>/día POR MEDIO DE TANQUES DE POLIETILENO.



# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Generalidades, características del diseño del sistema propuesto (DMF) nombre comercial, en parte de anexos (fotografías), para visualizar de mejor manera el sistema

- Sistema simple de fácil instalación.
- Proceso biológico basado en lodos activados.
- Amigable con el medio ambiente, ya que el agua puede ser reutilizada.
- Mantenimiento fácil y económico, (extracción anual, servicio a equipo).

La planta de tratamiento prefabricada de medio filtrante fijo es un sistema de fácil y económica operación que soluciona el problema de cargas y residuos orgánicos en sitios donde no existe red municipal de drenajes o en donde el caudal a tratar es muy pequeño (condominios de pocas casas, domiciliar, bodegas con pocos servicios, etc.). La planta de tratamiento que a continuación se describe es en un sistema que utiliza procesos aerobios y anaerobios para el tratamiento de aguas de origen doméstico, está dividida en tres compartimientos que están conformados por tanques de polietileno con capacidad de 1100 litros (3 en total), cada uno de estos tanques tiene una función específica dentro del sistema de tratamiento de aguas residuales, el cual se explicará detalladamente a continuación, con la finalidad ampliar y explicar el diseño final que se ha consolidado.

### **1.1.1. Tanque de tratamiento primario**

Las aguas residuales llegan al primer tanque desde la red de drenaje domiciliar directamente sin pasar por un tratamiento o separador de sólidos (ejemplo: rejillas atrapa de sólidos). Los sólidos en suspensión (grasas y aceites) flotan en la superficie del líquido, mientras que los sólidos sedimentables (arenas, gravas, etc.) se sedimentan (precipitan) hacia la parte inferior de esta etapa (tanque), con objeto de brindar a estas un pre tratamiento por bacterias anaerobias. La materia sólida orgánica que ingresa a este sistema es depurada por procesos biológicos, pasa a estado líquido, la misma y al segundo tanque por gravedad.

Por la colocación de los tanques, este primer tanque cumple además con la función de una trampa de grasas o de sólidos en suspensión. Por dicha razón, luego de un tiempo de uso se formará en la superficie del primer tanque una capa de materia flotante sólida (que debe ser removida cuando se observe una reducción en la calidad (claridad) del agua que sale de este tanque). Con el fin de reducir los riesgos que los sólidos o materia de esta capa ingresen a la siguiente fase del tratamiento (segundo tanque), este tanque cuenta en su interior a la salida con un sistema de sifón/cortina sumergible y ventilado en su parte superior con una TEE invertida que conduce las aguas a un nivel intermedio entre los sólidos sedimentables y la capa flotante del primer tanque.

### **1.1.2. Tanque de aireación y medio filtrante**

El ingreso de las aguas desde el primer tanque hacia este segundo tanque es por gravedad, en este tanque la materia orgánica es biodegradable por bacterias aeróbicas. La oxigenación de este tanque se realiza de manera continua, por medio de un compresor de aire, a su vez, el oxígeno dentro del

tanque de aireación es regulado por medio de un difusor de burbujas finas, alimentado por un compresor de aire.

La capacidad de estos compresores debe ser de carga pesada (*HEAVY DUTY*), por su continuo funcionamiento. Entre las particularidades del sistema están los hechos que las bacterias del reactor biológico se fijan y se procrean sobre el medio filtrante colocado dentro de este tanque.

Luego del proceso de digestión aeróbica, las aguas pasan por medio de un sifón ventilado hacia el último o tercer tanque que es el clarificador final.

### **1.1.3. Clarificador y sedimentador final**

Después de ser tratadas biológicamente la materia orgánica, las aguas ingresan al tercer tanque (clarificador final o sedimentador secundario o final) también por gravedad. Los sólidos o lodos restantes se precipitan colocándose en el fondo de este tanque, acá se da la separación del agua tratada y se concentran en la parte inferior de este tanque. El agua ya tratada sale por la parte superior del clarificador final. Un accesorio (*tee, nipple* y codo), actúa como artefacto de retención, el cual reduce la cantidad de materia flotante que sale hacia los cuerpos receptores.

El tercer tanque cuenta con un sistema de recirculación que tiene como principio la inyección de aire al sistema con el mismo compresor que se utiliza en el segundo tanque para airear el sistema, éste crea una presión negativa que activa el principio de aspiración, absorbiendo los residuos sedimentados en el fondo del tanque tres y regresarlos hacia el tanque 1, para iniciar un nuevo proceso biológico, imagen que será vista a continuación para un mejor entendimiento y comprensión.

Figura 1. **Diagrama tratamiento de lodos activados**

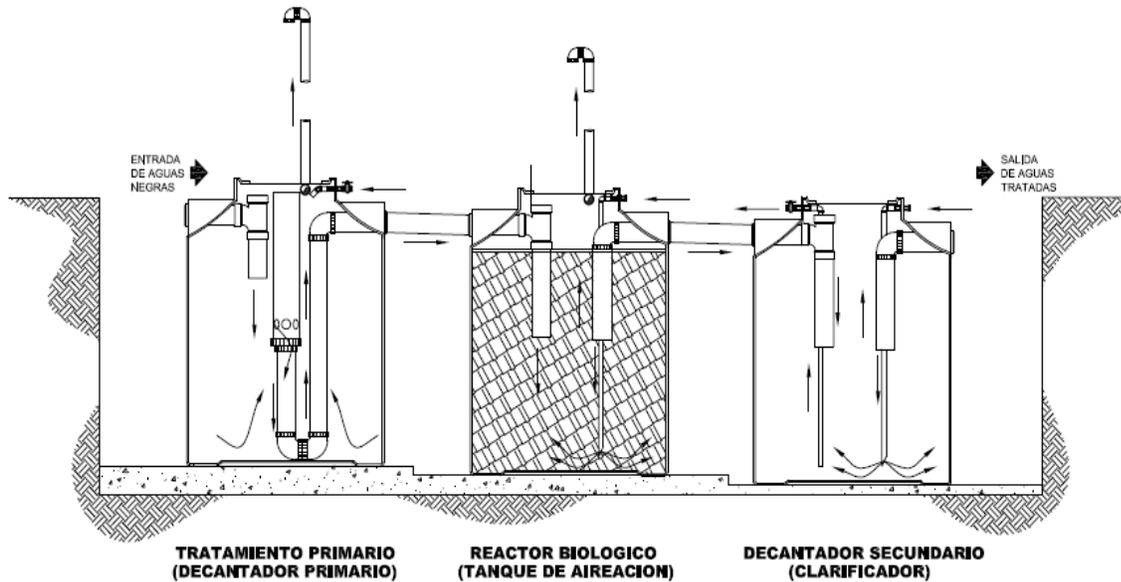


Diagrama sistema elemental propuesto de tratamiento “principio lodos activados”, derechos de autor #Durman.

Fuente: Referencia 2, manual ficha técnica Durman.

## 1.2. Usos recomendados

Sistema que puede ser utilizado en residencias individuales o sistemas constructivos con pocos servicios sanitarios, los cuales no excedan de 2.5 m<sup>3</sup> diarios, sistemas constructivos que por su ubicación geográfica no pueden ser conectadas a una red municipal, donde generalmente su desfogue final son pozos de absorción o el suelo como tal, cuya calidad de agua tratada no cumple con los requisitos señalados para cumplir con la legislación nacional del país, reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de

lodos, según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de fecha 05 de mayo de 2006, reglamento que rige en el país de Guatemala.

Lugares, desarrollos de vivienda que necesiten un sistema de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico, con capacidad máxima de 2.5 m<sup>3</sup>/día.

### **1.3. Beneficios**

- Diseño compacto y eficiente.
- Instalación y operación rápida.
- Precios factibles acorde a la crisis actual
- Costos de operación y mantenimiento muy bajos.
- Consumo de energía eléctrica mensual bajo.
- Ideal para lugares geográficos con falta de servicios sanitarios.
- No produce olores ofensivos.
- Producción de materia residual (lodos), baja.
- Reutilización de agua tratada.

### **1.4. Enfoque técnico/comercial regiones potenciales de distribución**

Debido a la necesidad técnica y la alta competencia que existe actualmente en el mercado, el sistema fue enfocado a personas, desarrolladores e inversionistas que necesiten una eficiencia alta y un gasto por operación bastante bajo, así como los gastos de infraestructura no deben ser altos en el tema de inversión, e inversionistas que desarrollen proyectos en lugares de difícil conexión a los servicios municipales. Para el desarrollo del sistema se tomaron en cuenta los siguientes perfiles:

- Proyectos y desarrollos inmobiliarios, que cuenten con sistemas de tratamiento independientes, pero difícil de conectarse a redes municipales.
- Desarrollos de poco volumen ( 2 a 4 viviendas).
- Bodegas comerciales de procesos secos y pocos servicios sanitarios.

### **1.5. Comparación de sistemas de tratamiento de aguas residuales**

El sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas (DMF) de tipo lodos activados tiene las siguientes diferencias:

Espacio: una fosa séptica, un biodigestor, llamados tratamientos primarios ocupan poco espacio, el sistema de tratamiento DMF ocupa 1.6 veces el tamaño de uno de estos sistemas primarios.

Facilidad de instalación: una fosa séptica, un biodigestor, llamados tratamientos primarios son de fácil instalación al tener el área excavada, al igual que el sistema DMF, la dificultad varia por la instalación de las piezas de PVC y eléctricas, requiriendo de un instalador que puede ser principiante a medio.

Limitaciones ambientales: (clima). una fosa séptica, un biodigestor, llamados tratamientos primarios no cumplen como mínimo con el 40% de remoción de cargas en climas fríos, necesitan un ambiente templado/cálido, para obtener resultados mínimos esperados, el sistema DMF apoyado por equipo de aireación y su recirculación constante cumple con parámetros en ambientes fríos.

Costos: una fosa séptica, un biodigestor, llamados tratamientos primarios son alrededor de un 60% más económicos que un sistema DMF, desde caudales de 0.5 m<sup>3</sup>/día, hasta 2.5 m<sup>3</sup>/día que es el limite a evaluar en este estudio.

Cumplimiento de normas ambientales: una fosa séptica, un biodigestor, llamados tratamientos primarios de agua residual, no cumplen con las normas vigentes en Guatemala, el sistema de tratamiento DMF cumple con la totalidad de los parámetros vigentes, siempre y cuando se opere.

## **1.6. Instalación del sistema DMF tratamiento de aguas residuales**

El sistema de tratamiento de aguas antes mencionado será ofrecido y vendido bajo la modalidad “ingeniería y suministros”, ya que la excavación, conformación de plataformas y estabilización de muros correrá a cargo del cliente. A pesar que la instalación y el ensamblaje del sistema son bastante sencillos, es necesario contar con personal medianamente calificado para llevar a cabo dicha instalación. La instalación del sistema dura aproximadamente tres días, que puede ser un plomero de experiencia con dos asistentes en campo, quienes lleven a cabo la instalación.

El ingreso de las aguas residuales a la planta tratamiento de aguas deberá tener una altura que permita una pendiente como mínimo de un 1 % entre cada uno de los tanques. El ingreso de aguas servidas, cuyo origen no sea doméstico entendiéndose aguas industriales o aguas residuales de procesos industriales, puede ocasionar que la calidad de las aguas tratadas no cumplan con lo establecido en la legislación vigente, el éxito de este estudio es el ingreso de aguas residuales de origen netamente domésticos.

El agua depurada puede evacuarse en una alcantarilla de lluvia, alguna corriente de aguas superficiales si fuera el caso de instalaciones en lugares con niveles freáticos altos, ejemplo Puerto Barrios, Izabal, Guatemala, o algún dispositivo de tratamiento terciario, pozos de absorción, entre otros.

## **1.7. Cimentación y nivelación de la excavación**

A modo de observación previa, es esencial que, durante las obras de instalación, se respeten las pendientes mínimas propuestas por el diseñador del sistema:

Una pendiente de un 2 %, (entrada y salida del agua). Se aconseja realizar un cimiento estable y perfectamente horizontal, solicitar el estudio de suelos al ejecutor del proyecto magno. Los muros serán estabilizados con una mezcla de mortero de arena. Si el suelo posee características que favorezcan el derrumbe de los muros, se debe evitar que estos queden completamente verticales o a plomo.

### **1.8. Conexiones en general del sistema de tratamiento DMF**

Sobre cada tanque figuran unas flechas en relieve, que especifiquen el sentido del paso de las aguas (trayecto hidráulico).

Es necesario comprobar de forma previa si la instalación eléctrica existente permite la conexión del equipo de aireación, aunque el equipo de aireación se conecta directamente a la red.

El sistema está equipado con un sistema de recirculación de los lodos secundarios. Cuando la válvula de la inyección de aire al clarificador final está cerrada, todo el aire se transporta hacia el tanque de aireación. El aire llega hasta el difusor para proveer de oxígeno a las bacterias que están adheridas en el medio filtrante, cuando la válvula de la inyección de aire al clarificador final está abierta, el aire se reparte entre el tanque de aireación y el clarificador final.

### **1.9. Información adicional**

El consumo eléctrico medio diario del compresor utilizado en el sistema es de 1.44 Kw/día.

El compresor puede producir un ruido de 38 decibeles, parado el individuo a una distancia de un metro del compresor sin ninguna protección acústica. La extracción de los lodos por operación y mantenimiento se debería realizar aproximadamente cada 10 a 14 meses, si la planta opera en condiciones consideradas normales. En condiciones normales de operación, el sistema no necesita ningún tipo de reactivo. Es conveniente y útil levantar una vez al mes la tapadera, que permite la inspección del tanque de aireación.

Esta operación se puede efectuar al mismo tiempo que el chequeo de la recirculación en el tratamiento primario, el cual debe dejar escapar un flujo constante de color café. Si fuese preciso hacer un ajuste, basta con operar la válvula de la manera detallada gráfica anteriormente de página 4.

No se debe conectar nunca las aguas de lluvia al sistema de tratamiento de aguas residuales DMF, debido a la alteración que se puede dar en el potencial de hidrógeno PH, principalmente. No se deben verter productos o sustancias como solventes, aguarrás, pintura, bactericida, derivados del petróleo o cloro. En caso de paro del sistema de aireación durante más de 24 horas, en el momento de ponerla en marcha se debe considerar la estabilización del sistema, el cual no debe ser prolongado, un espacio de 1 o 2 días, donde se podría percibir olores provenientes del sistema.

#### **1.10. Descripción de MiniTab**

Mini Tab es un programa de computadora diseñado para ejecutar funciones estadísticas básicas y avanzadas. Combina lo amigable del uso de Microsoft Excel con la capacidad de ejecución de análisis estadísticos. En 1972, instructores del programa de análisis estadísticos de la Universidad Estatal de Pensilvania (Pennsylvania State University) desarrollaron MINITAB como una

versión ligera de OMNITAB, un programa de análisis estadístico del Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) de los Estados Unidos.

Sus creadores definieron cuatro ventajas inmediatas de aprender estadística con Minitab:

- La eliminación del pesado trabajo de cálculo ayudaba a los estudiantes a comprender los conceptos importantes sin perderse en una masa de detalles.
- Se podía estudiar un gran número de conjuntos de datos reales, mejorando la capacidad de los estudiantes para transferir el conocimiento de los libros de texto a situaciones prácticas.
- La representación gráfica de los datos en una variedad de formas, se convirtió en el procedimiento de operación estándar.
- La simulación se podría utilizar como una herramienta de aprendizaje.

El uso de la computadora en un curso introductorio también resultó práctico, para que los estudiantes aprendieran técnicas más avanzadas. Por ejemplo, la cantidad de cálculo manual requerido fue un disuasivo importante para la enseñanza de métodos no paramétricos. Minitab eliminó esa barrera.

## **1.10 Distribución hipergeométrica**

La distribución hipergeométrica es una distribución discreta que modela el número de eventos en una muestra de tamaño fijo, cuando se conoce el número

total de elementos en la población que proviene la muestra. Cada elemento de la muestra tiene dos resultados posibles (es un evento o no evento). Las muestras no tienen reemplazo, por lo que cada elemento de la muestra es diferente. Cuando se elige un elemento de la población, no se puede volver a elegir. Por lo tanto, la probabilidad de un elemento sea seleccionado aumenta con cada ensayo, presuponiendo que aún no haya sido seleccionado.

Se utilizó la distribución hipergeométrica para muestras obtenidas de poblaciones relativamente pequeñas, sin reemplazo. Por ejemplo, la distribución hipergeométrica se utiliza en la prueba exacta de Fisher para probar la diferencia entre dos proporciones y en muestreos de aceptación por atributos cuando se toman muestras de un lote aislado de tamaño finito.

La distribución hipergeométrica se define por 3 parámetros: tamaño de la población, conteo de eventos en la población y tamaño de la muestra.

Ejemplificando el sistema de distribución, se recibe un envío de pedido especial de 500 etiquetas. Se supone que, el 2 % de las etiquetas es defectuoso. El conteo de eventos en la población es de 10 ( $0.02 * 500$ ). Debe tomar una muestra de 40 etiquetas y desea determinar la probabilidad que haya 3 o más etiquetas defectuosas en esa muestra. La probabilidad que haya 3 o más etiquetas defectuosas en la muestra es de 0.0384.



## 2. ANTECEDENTES

Previamente a la realización de este estudio, se realizaron investigaciones por un tiempo aproximado de 3 meses, de tratamientos primarios (fosas sépticas, biodigestores, fosas sépticas mejoradas con tuberías internas), para aguas residuales domésticas instalados en diferentes proyectos o ubicaciones del país.

Se tiene conocimiento de una investigación realizada en el año 2010, sobre el grado de digestión de lodos provenientes de fosas sépticas realizado en la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, pero no hay un estudio de tratamientos de lodos activados para caudales iguales o menores a 2.5 metros cúbicos por día, sería un complemento importante como herramienta técnica ante la alta demanda del sector inmobiliario por construcciones de viviendas unificadas (condominios pequeños).

Estudio que se llevó a cabo en el año enero, febrero 2019, con su respectivo complemento y mejoras solicitadas en el mes de agosto 2019, el lugar donde se desarrolló se encuentra ubicada en kilómetro 19.5 carretera al pacífico, municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala, empresa Durman.

La empresa donde se desarrolló el estudio, previamente había tenido otros tipos de tratamientos como fosas sépticas, sedimentadores, biodigestores, que cumplen un tratamiento primario, y el impacto en la reducción del parámetro demanda bioquímica de oxígeno no sobrepasa el 85 % planteado en la hipótesis.

Teniendo como parámetros de diseño tanto en ingreso como egreso los siguientes valores, teniendo como base únicamente aguas residuales de tipo domestico:

Parámetro	Ingreso a sistema	Salida de sistema	Variable
DBO5	350	<200	Mg/l
DQO	450-500	<250	Mg/l
Turbidez	150	<50	Ntu

Figura 2. Localización de lugar de pruebas



Fuente: googlemaps.

### **3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

El estudio es de tipo exploratorio, su objetivo principal será dotar a los entes gubernamentales, (municipalidades, gobernaciones departamentales, desarrolladores, constructores y población en general rural o urbana de un sistema de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico, accesible, económico teniendo como finalidad la mejora y apoyo en la salud en general de la población buscando la reducción del porcentaje o índices de mortandad causadas por contaminación específicamente en este caso por aguas residuales, y determinar el porcentaje % de remoción y eficiencia de una tecnología ya utilizada a mayor escala (volumen) como lo es los lodos activados, replicando la teoría de dicha tecnología a una menor escala, (caudales menores) dentro de tanques prefabricados, basados en el principio de lodos activados, partiendo de análisis de laboratorios, donde se puedan comparar sistemas existentes y utilizados actualmente en las construcciones en general y estudios cuantitativos del funcionamiento del sistema en mención; dicho de otra manera, será un sistema con propiedades en una escala menor a un sistema aeróbico convencional, será un sistema dotado de la tecnología capaz de lograr eficiencias de remoción en pro del ambiente.

Actualmente en Guatemala se ven como caudales menores, pero no se analizan como la sumatoria de muchos caudales que es lo que realmente termina haciendo el daño a nuestros ríos, lagos y mantos acuíferos, dichos análisis permitirán realizar una comparación entre sistemas aeróbicos (de menor escala) y sistemas anaeróbicos (fosas sépticas, biodigestores, sedimentadores con medio filtrante) existentes dentro del mercado actual que no cumplen con el reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de

lodos, según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de fecha 05 de mayo de 2006, reglamento que rige en el país de Guatemala..

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Delimitación del área de estudio

El estudio/ensayo fue realizado y enfocado en el agua residual doméstica que proviene de los servicios sanitarios de personal de recursos humanos de la fábrica, ubicada en Villa Nueva, Guatemala, para realizar la prueba del tratamiento de lodos activados, que genera un caudal promedio a los 2.5 m<sup>3</sup>/día.

### 4.2. Muestreo: utilizando el software Minitab

Para determinar el número de muestras en que se midieron los parámetros de Turbidez, DQO y DBO en el tratamiento de lodos activados, se utilizó el método estadístico de muestreo de aceptación por atributos, durante 15 días, se llevó a cabo la realización del ensayo.

Este método necesita establecer un número de muestras para evaluar el funcionamiento del tratamiento, el cual es el límite máximo y mínimo de remoción, y utilizando la siguiente ecuación No.1, que es una distribución hipergeométrica se logró determinar:

$$P_a(p) = \sum_{k=0}^c \frac{\binom{Np}{k} \binom{N-Np}{n-k}}{\binom{N}{n}}$$

Donde:

- $Np$  = número total de éxitos o fracasos.
- $k$  = cantidad de éxitos, un mes y medio que se lleva el proveedor en

- madurar el tratamiento.
- $N$  =tamaño de la población, son los 12 meses que opera el tratamiento
- $n$  =tamaño de muestra, son 3 meses aproximadamente que se propone
- tener listo el tratamiento para que empiece a remover.
- $P_{\alpha}$  = número de pruebas a realizar.

La descripción anterior, la utilizó el software Minitab, donde se ingresó los valores y se asumió las siguientes variables solicitadas por el software:

- AQL= representa en tiempo, un mes y medio que el fabricante espera que el tratamiento de lodos activados madure establezca (15 días y 30 días para mantenimiento estable), es el valor de 12.7.
- RQL= representa en tiempo, 3 meses, que es el tiempo de rechazo, es el tiempo que se asume en caso el tratamiento de lodos no esté tratando el agua residual adecuadamente, es el valor de 33 % (1/3).
- $\alpha$  = es el nivel de remoción del tratamiento, 85 % que es la hipótesis.
- $\beta$  = es el tiempo que el fabricante anuncia que el tratamiento de lodos madurará en 3 meses, es el valor de 0.25.

Figura 3. **Tabla de Minitab para cálculo de número de muestras**

Muestreo de aceptación por atributos

Crear un plan de muestreo

Tipo de medición: Pasa / no pasa (defectuosos)

Unidades para niveles de calidad: Porcentaje de defectuosos

Nivel de calidad aceptable (AQL): 12.7

Nivel de calidad rechazable (RQL o LTPD): 33

Riesgo del productor (alfa): 0.15

Riesgo del consumidor (beta): 0.25

Tamaño del lote: 365

Ayuda

Opciones...

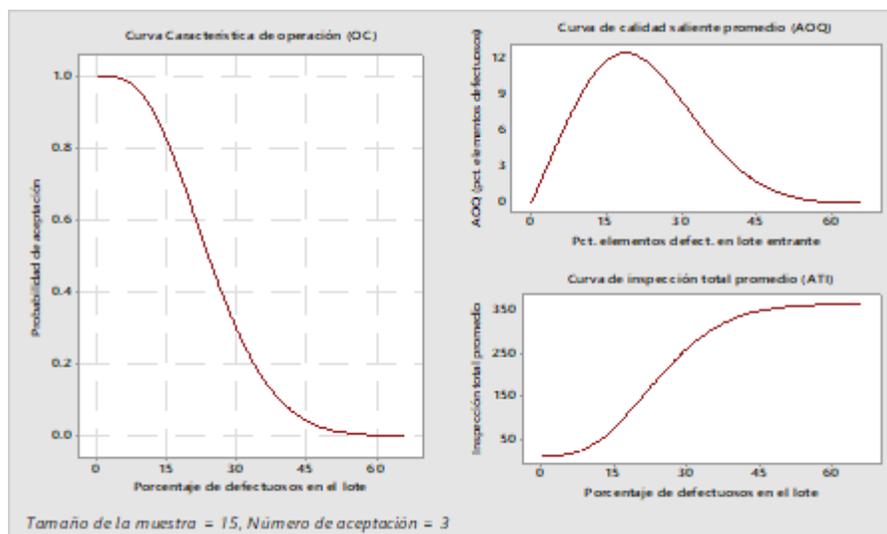
Gráficas...

Aceptar

Cancelar

Fuente: Minitab

Figura 4. **Tabla de Minitab que indica la cantidad de muestras a realizar**



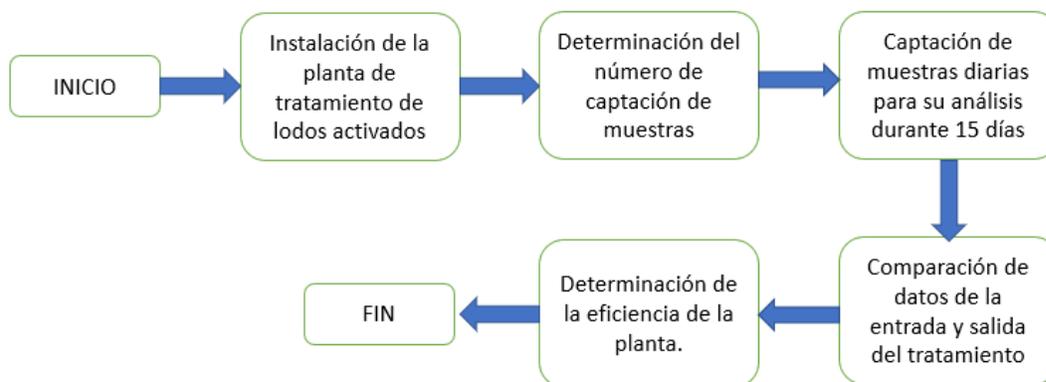
Fuente: Minitab

Se obtuvo las figuras anteriores, en donde indica el número de pruebas o muestras a realizar, que fueron 15 y para continuidad del estudio, se tomó en cuenta la actualización de los meses de junio y julio 2019, sumando 4 muestras más, para un total de 19 a las que se realizaron las mediciones de DBO, DQO y turbidez.

#### 4.3. Diagrama de actividades realizadas durante el estudio

A continuación se muestra la elaboración de un diagrama de actividades, que conduce y representa mejor el proceso que se llevó a cabo durante la realización del estudio en mención.

Figura 5. Diagrama de actividades



Fuente: Investigación y desarrollo área técnica plantas de tratamiento empresa Durman.

#### **4.4. Equipo utilizado para el tratamiento de aguas residuales de lodos activados**

- Recurso humano:
  - Dos colaboradores y un supervisor (alumno de ERIS).
  
- Equipo para instalación de tratamiento de agua residual de lodos activados:
  - 3 tanques de PVC de capacidad de 1,100 L.
  - Poliducto de  $\frac{3}{4}$ "
  - Bomba eléctrica centrífuga de  $\frac{1}{2}$  HP.

#### **4.5. Período de captación de muestras**

La captación de las 15 muestras fue realizado inicialmente en el año 2009, y la actualización solicitada en junio y julio 2019, para efectos de seguimientos y mejoras de operación.

Durante cada día de muestreo se captaron dos muestras, una a la entrada del tratamiento y otra a la salida, se midieron tres parámetros, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y turbidez.

#### 4.6. Determinación del porcentaje de remoción de la planta

Se utilizó la siguiente ecuación 2, para determinar el porcentaje de remoción:

$$X (\%) = \frac{A - B}{A} \cdot 100$$

Donde:

- X = porcentaje de remoción.
- A = valor de DQO a la entrada del tratamiento.
- B = valor del DQO a la salida del tratamiento.

#### 4.7. Determinación de la media geométrica y desviación estándar

Se utilizó la siguiente ecuación 3, para el cálculo de la media geométrica, en los 19 valores obtenidos durante el muestreo realizado, para saber cuál es el valor promedio de los parámetros de DBO y DQO:

$$\bar{X} = \frac{\sum f_i X_i}{n}$$

Donde:

- $\bar{X}$  = media geométrica
- $f$  = frecuencias relativas
- $X$  = observaciones distintas
- $n$  = número de datos

Se utilizó la siguiente ecuación 4, para el cálculo de la desviación estándar, así aplicar en los 19 valores obtenidos durante el muestreo realizado, previamente se calcula la media geométrica, y posterior se calcula la desviación estándar, para saber cuánto es lo que se puede desviar un valor de DQO y DBO medidos:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

Donde:

- $X_i$  = media geométrica
- $X$  = observaciones distintas
- $i$  = frecuencias relativas
- $n$  = número de datos

#### 4.8. Determinación del valor económico del tratamiento

Se realizó una comparación del valor económico del tratamiento de lodos activados en mención denominado, sistema de tratamiento de agua residual DMF, contra otros tipos de tratamiento por ejemplo: fosas sépticas, biodigestores, fosas sépticas mejoradas con tuberías internas, sedimentadores

con medios filtrantes, por medio de gráficas comparativas, para determinar la mejor opción que se muestra más adelante en la tabla VI, página 28.

## 5. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los parámetros en mención y medidos en las 19 muestras realizadas de los parámetros DQO, DBO y turbidez en la entrada del tratamiento, véase para un mejor entendimiento y análisis de los mismos.

Tabla I. **Resultados de los parámetros a la entrada del sistema de tratamiento de agua residual en días específicos de muestreo**

No.	Fecha de captación	Resultado DQO (mg/L) en la entrada del tratamiento	Turbidez (NTU) en la entrada del tratamiento	Resultados DBO (mg/L) en la entrada del tratamiento
1	1/08/2009	291	112.00	145
2	2/08/2009	413	129.00	256
3	3/08/2009	302	105.00	189
4	6/08/2009	221	61.80	98
5	7/08/2009	276	109.00	154
6	8/08/2009	224	96.10	154
7	9/08/2009	257	103.20	143
8	10/08/2009	306	112.00	201
9	13/08/2009	234	69.40	87
10	14/08/2009	282	101.20	102
11	16/08/2009	277	94.00	134
12	17/08/2009	263	104.00	134
13	27/08/2009	277	94.00	134
14	28/08/2009	263	104.00	108
15	29/08/2009	278	99.62	146
16	11/06/2019	298	92.1	176
17	13/06/2019	345	80	209
18	02/07/2019	290	97	202
19	04/07/2019	289	93	189

Fuente: elaboración propia, resultados de investigación.

Los resultados obtenidos de los parámetros en mención y medidos en las 19 muestras realizadas de los parámetros DQO, DBO y turbidez en la salida del tratamiento, véase para un mejor entendimiento y análisis de los mismos.

**Tabla II. Resultados de los parámetros a la salida del sistema de tratamiento de agua residual en días específicos de muestreo**

No.	Fecha de captación	Resultado DQO (mg/L) en la salida del tratamiento	Turbidez (NTU) en la salida del tratamiento	Resultados DBO (mg/L) en la salida del tratamiento
1	1/08/2009	23	4.37	14
2	2/08/2009	46	8.81	35
3	3/08/2009	90	24.00	56
4	6/08/2009	0	5.11	0
5	7/08/2009	36	4.10	16
6	8/08/2009	65	10.53	39
7	9/08/2009	31	12.20	19
8	10/08/2009	40	9.84	21
9	13/08/2009	5	8.86	3
10	14/08/2009	8	11.80	2
11	16/08/2009	38	10.17	25
12	17/08/2009	24	7.60	11
13	27/08/2009	38	10.17	24
14	28/08/2009	24	7.60	20
15	29/08/2009	33	9.65	20
16	11/06/2019	83	14.5	24
17	13/06/2019	76	16	32
18	02/07/2019	77	13	26
19	04/07/2019	68	18	31

Fuente: elaboración propia, resultados de investigación.

Los resultados y porcentajes % de remoción obtenidos y medidos en las 19 muestras realizadas de los parámetros DQO, DBO y turbidez calculados por día analizado, véase para un mejor entendimiento y análisis de los mismos.

Tabla III. **Porcentaje de remoción del tratamiento de lodos activados por día**

No.	Fecha de captación	Remoción del tratamiento con parámetro DQO por día (%)	Remoción del tratamiento con parámetro turbidez por día (%)	Remoción del tratamiento con parámetro DBO por día (%)
1	1/08/2009	96.10	96.10	90.34
2	2/08/2009	93.17	93.17	86.33
3	3/08/2009	77.14	77.14	70.37
4	6/08/2009	91.73	91.73	100.00
5	7/08/2009	96.24	96.24	89.61
6	8/08/2009	89.04	89.04	74.68
7	9/08/2009	88.18	88.18	86.71
8	10/08/2009	91.21	91.21	89.55
9	13/08/2009	87.23	87.23	96.55
10	14/08/2009	88.34	88.34	98.04
11	16/08/2009	89.18	89.18	81.34
12	17/08/2009	92.69	92.69	91.79
13	27/08/2009	89.18	89.18	82.09
14	28/08/2009	92.69	92.69	81.48
15	29/08/2009	90.15	90.15	87.06
16	11/06/2019	72.15	89.73	86.83
17	13/06/2019	77.97	89.48	86.87
18	02/07/2019	73.45	90.36	88.04
19	04/07/2019	76.47	90.27	87.19

Fuente: elaboración propia. Resultados de investigación.

Resultados de desviación estándar y media geométrica calculados para los resultados de los parámetros de DBO, DQO y turbidez, obtenidos de los parámetros en mención y medidos en las 19 muestras realizadas, véase para un mejor entendimiento y análisis de los mismos.

Tabla IV. **Resultados de desviación estándar y media geométrica**

Parámetro	Media geométrica	Desviación estándar
DQO (mg/L)	240.73	43.53
Turbidez (NTU)	88.41	16.54
DBO(mg/L)	121.36	35.35

Fuente: elaboración propia. Resultados de investigación.

Resultados promedio de porcentajes de remoción basados en los parámetros de DQO, turbidez y DBO, obtenidos de los parámetros en mención y medidos en las 19 muestras realizadas, véase para un mejor entendimiento y análisis de los mismos.

Tabla V. **Resultados promedio de porcentajes de remoción de tratamiento de lodos activados**

Descripción	Promedio de remoción del tratamiento con parámetro DQO (%)	Promedio de remoción del tratamiento con parámetro turbidez (%)	Promedio de remoción del tratamiento con parámetro DBO (%)
Promedio de remoción en cada parámetro (%)	85.33	90.11	87.10

Fuente: elaboración propia. Resultados de investigación.

Determinación del valor económico del tratamiento de aguas residuales DMF de lodos activados, versus los valores económicos de los sistemas convencionales existentes en la actualidad.

Tabla VI. **Resumen y comparación de diferentes tratamientos de agua residual costos actualizados 2019, para caudales de 2.5 m3/día**

Tipo de tratamientos	Precios de instalación iniciales	Operación y mantenimiento anual incluyendo extracción de lodos anual (2m3)	Cumplimiento con el AG 236-2006
Biodigestor	Q 12,000.00	Q 3,500.00	No
Fosa séptica	Q 3,500.00	Q 2,500.00	No
Tratamiento de lodos activados Llave en mano, incluyendo pago de electricidad mensual	Q 29,476.83	Q 5,000.00	Si
<b>USD \$1.00 = Q 7.60</b>			

Fuente: elaboración propia, resultados de investigación.

Tabla VII. **Cálculo del precio del sistema de modalidad llave en mano**

Descripción	Costos (Q)
Costo de los 3 tanques prefabricados, materiales en general, (tuberías y accesorios PVC, pegamento), válvulas PVC.	Q11,308.08
Costo del sistema de aireación y eléctrico	Q. 5,206.44
Envío e instalación (mano de obra), <b>impuestos 12%</b>	Q. 6,159.96
Margen de ganancia	30 %
Precio de venta recomendado	Q.29,476.83
Precio de venta recomendado en dólares ( <b>cambio Q7.60/\$1.00</b> )	\$3,878.53

(En función de los costos directos)

Fuente: elaboración propia, resultados de investigación, costos desarrollados. Pág. 51 sección anexos.



## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

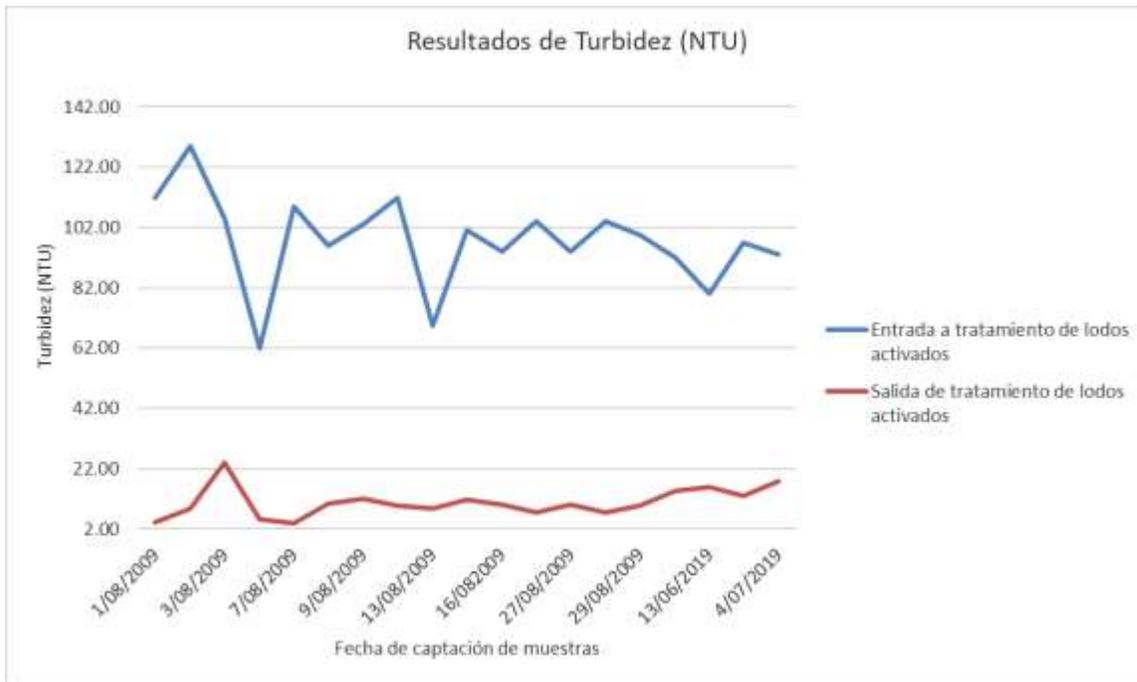
Después de concluida la prueba piloto, por un período de 70 días en funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico, bajo la modalidad y tecnología de lodos activados, sin contar los días previos de instalación y preparación del terreno, se obtuvieron resultados de los parámetros medición de turbidez, demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno, en la entrada y salida del tratamiento de lodos activados instalado, ya que es la base de este estudio con un caudal promedio de 2.5 m<sup>3</sup>/día, mediciones reflejadas en la página 57, sección anexos, que reflejan que es viable la puesta en marcha de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico en mención.

Para el parámetro de turbidez que se desarrollará o ampliará para efectos del estudio, se realizaron mediciones a la entrada y salida del sistema de tratamiento de aguas residuales, obteniendo una disminución en dicho parámetro a la salida comparado contra la entrada del 90.15 % con un valor de una media geométrica de 88.41 NTU con una desviación estándar de 16.54 NTU, es decir, que el promedio de remoción con el parámetro de turbidez de 90.15 % en el agua tratada, tendrá una disminución de turbidez de 88.41 NTU con un aumento o disminución de 17.16 unidades, según su operación.

Para los valores de la demanda bioquímica de oxígeno y la demanda química de oxígeno los valores de remoción alcanzados son del 87.06 % y 88.08 % respectivamente, refleja que la tecnología de lodos activados en tanques prefabricados (pequeños), es viable, eficiente y económica, generando la opción

de mejora al ambiente y/o reutilización del agua tratada para áreas verdes, lavado de áreas grises (banquetas, losas de parqueo, entre otros).

Figura 6. **Parámetro de turbidez a la entrada y salida del tratamiento**



Fuente: resultados de investigación.

Para el parámetro de DQO, se realizó mediciones a la entrada y salida del tratamiento, observándose una disminución del DQO a la salida del mismo, se realizó un promedio de la remoción obteniéndose un 88.08 % con un valor de una media geométrica de 240.73 mg/L con una desviación estándar de 43.53 mg/L, esto indica que el promedio de remoción con el parámetro de DQO de 88.08 % en el agua tratada, tendrá una disminución de DQO de 240.73 mg/L con un aumento o disminución de 43.53 mg/L.

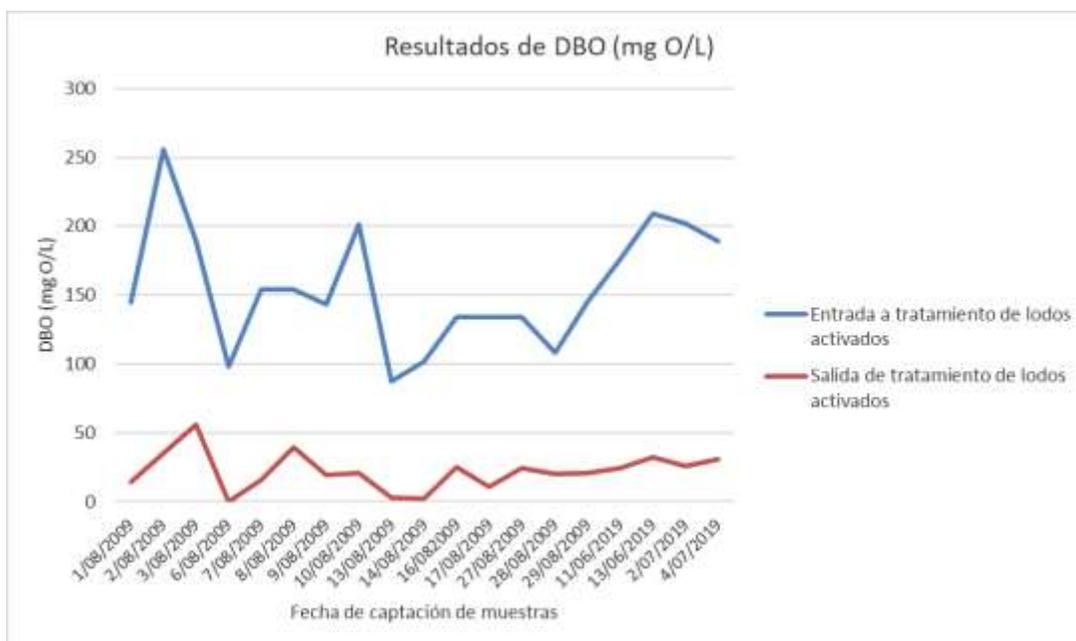
Figura 7. Parámetro de DQO en la entrada y salida del tratamiento



Fuente: resultados de investigación.

Para el parámetro de DBO, se realizó mediciones a la entrada y salida del tratamiento, observándose una disminución de la DBO a la salida del mismo; también se realizó un promedio de la remoción obteniéndose un 87.06 % con un valor de una media geométrica de 121.36 mg/L con una desviación estándar de 35.35 mg/L, indica que el promedio de remoción con el parámetro de DBO de 87.06 % en el agua tratada, tendrá una disminución de DBO de 121.36 mg/L con un aumento o disminución de 35.35 mg/L

Figura 8. **Parámetro de DBO en la entrada y salida del tratamiento**

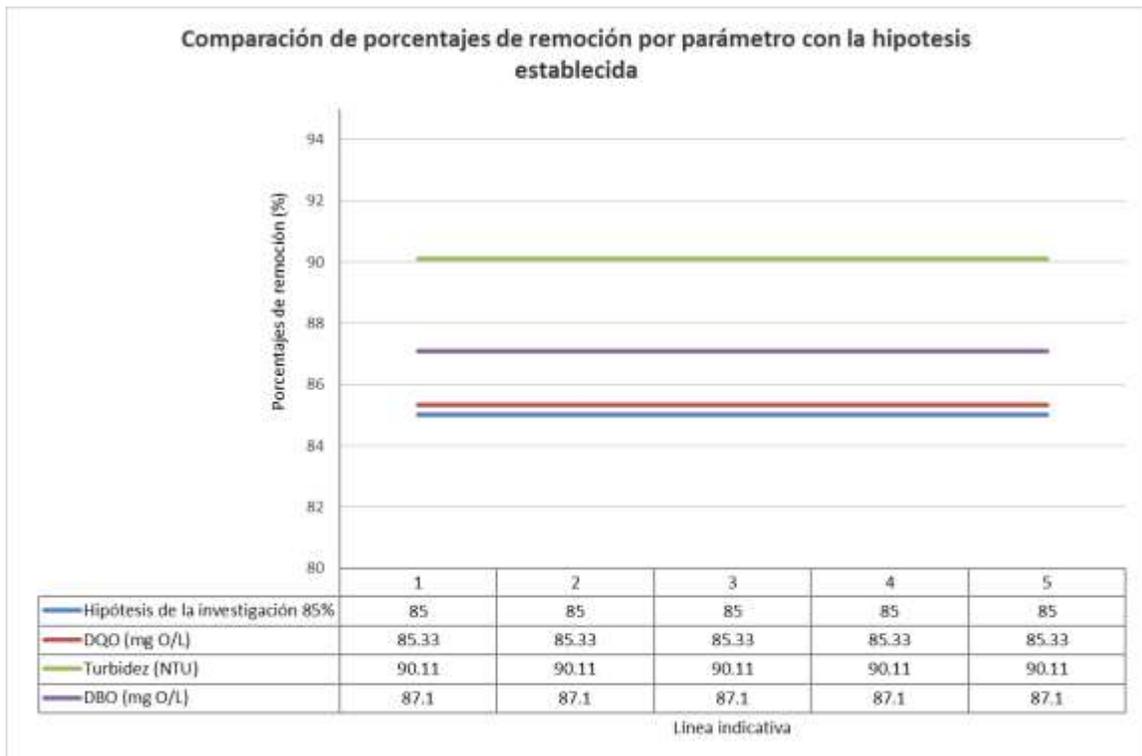


Fuente: resultados de investigación.

Se calculó el porcentaje de remoción del tratamiento de lodos activados con base al parámetro de DQO, se obtuvo una media geométrica de 87.67 %, indica el valor promedio de remoción que se obtuvo del tratamiento.

Se calculó el promedio del porcentaje de remoción por parámetro, para comprobar la hipótesis, obteniéndose un valor promedio de remoción en el parámetro de turbidez de 90.15 %, en el parámetro de DQO de 88.08 % y en el parámetro de DBO de 87.06 %, se logra sobrepasar el valor establecido en la hipótesis, tiene al parámetro de turbidez con el valor más alto de remoción.

Figura 9. Resultados del porcentaje de remoción promedio de los parámetros DQO, DBO y turbidez

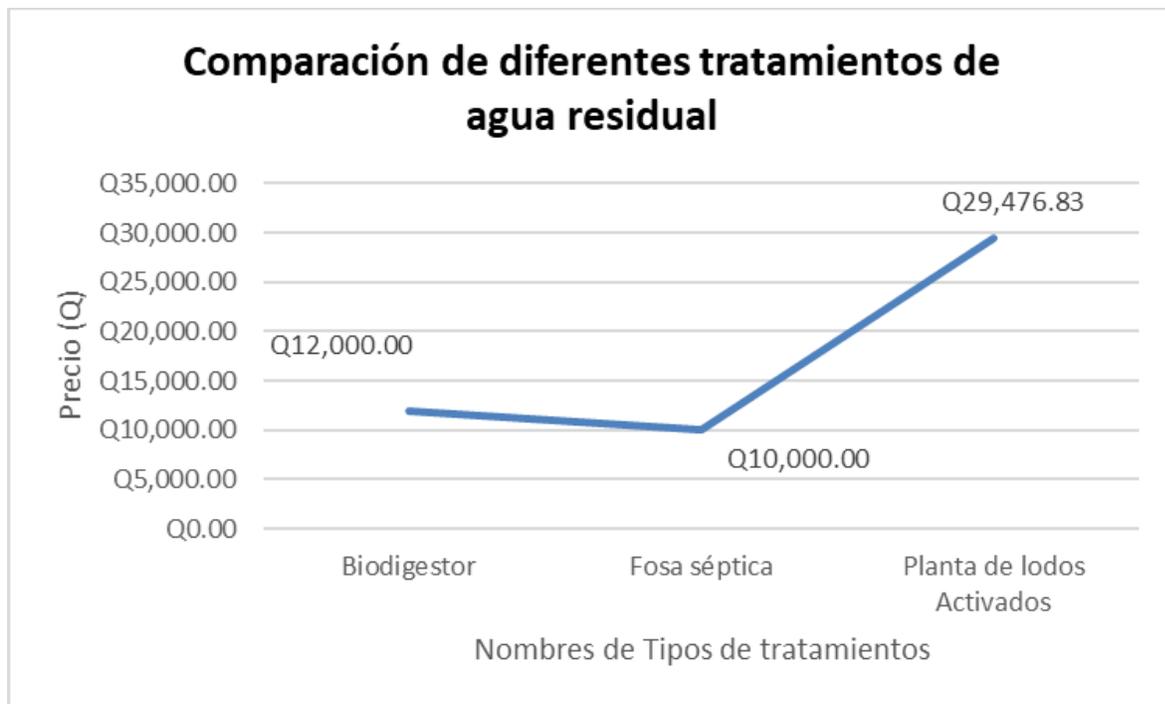


Fuente: resultados de investigación.

Se comparó el costo inicial de instalar una planta de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico de lodos activados para caudales menores a 2.5 m<sup>3</sup>/día con otros tipos de tratamientos primarios de agua residual, y se obtuvo que es mayor el costo de inversión de éste, comparado por ejemplo, contra un biodigestor y/o fosa séptica, con un valor de Q 29,476.83, el sistema de tratamiento de aguas residuales de lodos activados, pero se cumple con la

legislación nacional del país, que es el reglamento de descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos, según el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de fecha 05 de mayo de 2006, reglamento que rige en el país de Guatemala, ya que un tratamiento primario de aguas residuales no cumple.

Figura 10. **Comparación económica de inversión inicial de tratamientos de agua residual**



Fuente: resultados de investigación.

## CONCLUSIONES

1. Con un porcentaje de remoción promedio en el parámetro de DQO de 88.08 %. La hipótesis planteada inicialmente queda comprobada esto luego de operar un sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas de lodos activados para caudales menores o iguales a 2.5 m<sup>3</sup>/día con tanques prefabricados (polietileno) en este caso por un espacio cercano a los 70 días, por lo tanto, se cumple la hipótesis.
2. Se implementó, operó y presentó un sistema de tratamiento de aguas residuales de lodos activados, para caudales menores o iguales a 2.5 m<sup>3</sup>/día con tanques prefabricados (polietileno) eficiente en este caso por un espacio cercano a los 70 días, se obtuvo un porcentaje de remoción en el parámetro de DBO de 87.10% y DQO de 85.33% cumpliendo con acuerdo gubernativo 236-2006
3. El sistema de tratamiento de aguas residuales de lodos activados para caudales menores o iguales a 2.5 m<sup>3</sup>/día se implementó en fabrica Km 19.5 municipio de Villa Nueva, departamento de Guatemala, bajo una operación continua y seguimiento constante.
4. Para alcanzar los porcentajes de remoción antes mencionados, el costo de operación y mantenimiento anual del tratamiento de lodos activados es 47.92 %, más elevado que el de una fosa séptica que únicamente alcanza un 20% de remoción, y 27 % más elevado que un biodigestor que alcanzó un máximo de remoción del 45%.



## RECOMENDACIONES

1. Colocar una estructura que sirva como techo al lugar donde se instaló el tratamiento de lodos activados, para ampliar la vida útil de los accesorios de PVC y evitar la cristalización de los materiales.
2. Colocar vertederos en los lugares de captación de muestras en la entrada y salida de la planta de tratamiento de agua, para medir el caudal.
3. Medir la demanda bioquímica de oxígeno, con la frecuencia mínima de dos veces por año, según indica el Acuerdo Gubernativo. 236-2006.
4. Para obtener los resultados deseados y que cumplan con los parámetros solicitados por el Acuerdo Gubernativo 236-2006 que rige en Guatemala un sistema de lodos activados necesita operación y mantenimiento constante, no pueden quedar en estado de abandono.



## BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Alemana de Saneamiento, (1998), *Determinación del grado de eficiencia de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales -Hoja Técnica M 755-*, Costa Rica 14p.
2. Acuerdo Gubernativo 236-2006, (2006), *Reglamento de las descargas y reuso de las aguas residuales y de la disposición de lodos, Guatemala*. 25 p.
3. Barbosa Ramírez, M. (1990), *Transformación de un tanque Imhoff en un RAFA y su evaluación sanitaria*. Guatemala, Tesis. M.Sc., USAC, ERIS. Pág. 17.
4. Galvez, G. C. A., (2013), *Eficiencia de la planta de tratamiento de agua residual de San Lucas Sacatepéquez, Guatemala* 73 p.
5. Lara Borrero, J. A., (1999), *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*. España, Universidad Politécnica de Cataluña.
6. Metcalf & Eddy, (1996), *Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización, 3ra. Edición*, Tomo II. Capítulo 13. Sección 13.2. Distrito Federal, Mx. McGraw-Hill.
7. Walpol, R. E., (2012), *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias* 9na. edición, México. 816 p.
8. Software de Estadística MiniTab 18, (2019) *State College, Pennsylvania, E.E.U.U.*, [www.minitab.com/es-mx/News/Aprendiendo](http://www.minitab.com/es-mx/News/Aprendiendo)



## APÉNDICES

### Apéndice 1. Ficha técnica de la planta de tratamiento de agua residual de lodos activados DMF, (Durman Medio Filtrante).

### Figura A. Ficha técnica de planta de tratamiento de agua residual de lodos activados

#### Características del Producto:

Peso:	240 kg
Tamaño:	3600 x 1200 x 1800 mm
Volumen Total:	3750 litros
Consumo eléctrico:	Cerca de 700 kWh por año
Mantenimiento:	Hecho por personal calificado, una vez al año

#### Preguntas Frecuentes:

##### ¿Qué volumen de agua residual puede tratar la DMF-05?

Trata las aguas residuales procedentes de una vivienda normal, con un máximo de hasta 6 personas

##### ¿Cómo y cada cuando se recomienda su mantenimiento?

Con el fin de poder garantizar su desempeño, el mantenimiento de la DMF-05 lo debe de hacer cada seis meses, personal autorizado y certificado por DURMAN. El mantenimiento incluye la purga de lodos hasta un sitio apropiado, la revisión del sistema de aireación, los componentes eléctricos y mecánicos de la planta, la medición del contenido de biomasa y su ajuste respectivo.

##### ¿Dónde se debe de instalar?

Se instala en el área verde de la vivienda contando con que el agua residual de la vivienda llegue hasta el lugar donde se ubique la DMF-05.

##### ¿Qué hacer con el agua tratada?

El destino ideal del agua tratada es el suelo. El agua tratada presenta muy buena calidad y puede ser utilizada para el riego de las áreas verdes dentro de la misma vivienda.

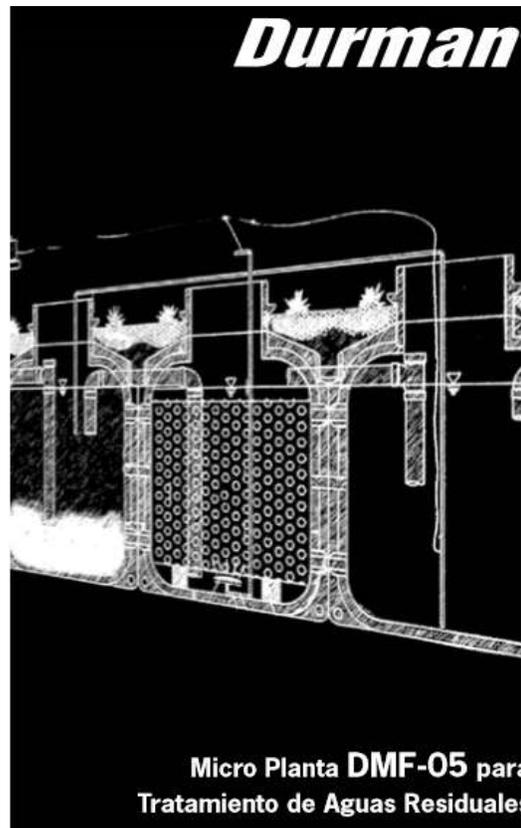
##### ¿Cómo se instala? ¿Qué trabajo civil, eléctrico o mecánico se requiere?

La DMF-05 es un sistema "brida – brida". Basta con que el cliente entregue una zanja de 4.50 m de largo, 2.0 m de ancho, y 2.0 m de profundidad, en donde se instalará la DMF-05. Se debe construir un pequeño campo de absorción en donde se infiltra el agua tratada en caso de no utilizarse en riego.

##### ¿Qué hacer si se quiere tratar el agua de mas viviendas?

Se pueden instalar varias DMF-05 en paralelo, de manera que se trate el agua de dos, tres, o más viviendas. Solicite la asesoría de DURMAN en tal sentido.

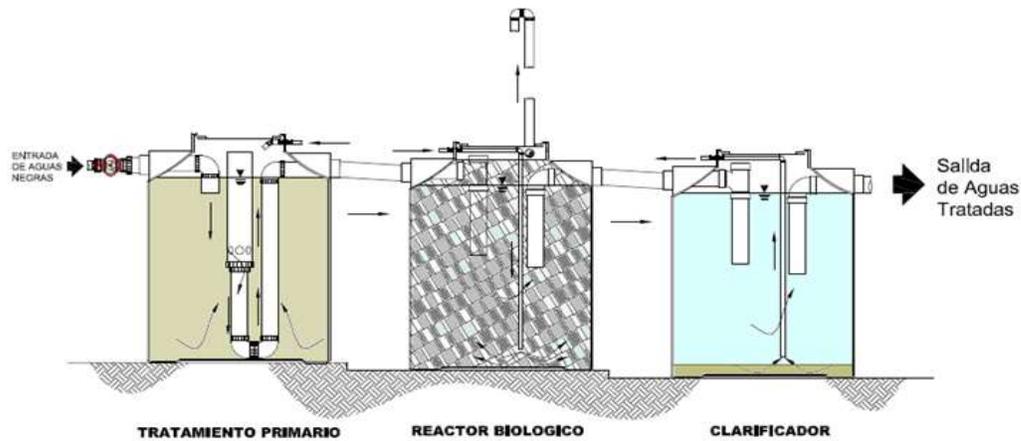
La información contenida en este documento no podrá ser interpretada como una garantía.



Fuente: empresa de fabricación de planta de tratamiento.

Apéndice 2. **Diseño final comercializado luego del estudio realizado y confirmado mediante los análisis realizados de la planta de tratamiento de agua residual de origen domestico con la tecnología de lodos activados para caudales menores o iguales a 2.5 m<sup>3</sup>/día**

Figura B. **Diseño de planta de tratamiento de agua residual de lodos activados**



Fuente: empresa de fabricación de planta de tratamiento.

Apéndice 3. **Fotografías de la planta de tratamiento de agua residual de lodos activados**

Figura C. **Planta de lodos activados piloto instalada**



Figura D. **Planta de lodos activados y su medio filtrante medición de Oxígeno disuelto**



Continuación del apéndice 3.

Figura E. **Planta de lodos activados piloto y su medio filtrante**



Figura F. **Planta de lodos activados piloto proceso de instalacion**



Continuación del apéndice 3.

Figura G. **Planta de lodos activados piloto instalada**



Fuente: empresa de fabricación de planta de tratamiento.

#### Apéndice 4. **Producción y costos actualizados año 2019 por elemento**

El ensamblaje de cada sistema de tratamiento de aguas modular prefabricado estará centralizado en la planta de producción de la empresa en dirección antes mencionada donde se fabricarán sobre demanda. Para producir un sistema típico, se han calculado el siguiente costo de materiales.

Continuación del apéndice 4.

**Tabla 1. Costos de materiales unicamente desglosados del sistema de tratamiento de aguas residuales tecnología lodos activados**

<b>Código</b>	<b>Descripción y costo de materiales únicamente</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Costo</b>	<b>Total</b>
2010934	1/4 de galon de pegamento PVC	2	Unidad	Q44.36	Q88.72
-	Abrazadera metálica No.12	2	Unidad	Q2.50	Q5.00
-	Abrazadera plastica de 30 centímetros	10	Unidad	Q1.00	Q10.00
2005903	Adaptador Hembra PVC SCH 40 Ø1"	4	Unidad	Q1.18	Q4.72
2005906	Adaptador Hembra PVC SCH 40 Ø2"	2	Unidad	Q2.51	Q5.02
2005915	Adaptador Macho PVC SCH 40 Ø1"	4	Unidad	Q0.89	Q3.56
2005920	Adaptador Macho PVC SCH 40 Ø2"	2	Unidad	Q2.10	Q4.20
9017401	Cable THHN No. 10	10	Ml	Q3.07	Q30.70
-	Caja rectangular para exteriores	1	Unidad	Q22.25	Q22.25
2006085	Codo pared delgada Ø4"x90°	5	Unidad	Q24.46	Q122.30
2005880	Codo SCH 40 Ø2"x90°	6	Unidad	Q4.93	Q29.58
2005930	Codo SCH-40 Ø1"x45°	2	Unidad	Q1.07	Q2.14
2005877	Codo SCH-40 Ø1"x90°	6	Unidad	Q1.48	Q8.88
-	Compresor Secoh Sangyo EL-100	1	Unidad	Q2,770.00	Q2,770.00
2006397	Conector ducto electrico Ø3/4	2	Unidad	Q0.37	Q0.74
-	Curva ducto electrico Ø3/4"x90°	6	Unidad	Q1.25	Q7.50
2006215	Curva ducto electrico Ø3/4"x90°	6	Unidad	Q0.79	Q4.74
2012771	Ducto electrico sin campana Ø1"	110	Unidad	Q6.04	Q664.40
2012776	Ducto electrico sin campana Ø3/4"	3	Unidad	Q5.04	Q15.12
-	Empaque de Neopreno Ø4"	6	Unidad	Q89.29	Q535.71
-	Espiga E 208/1709 polarizada de hule	1	Unidad	Q5.75	Q5.75
2012488	Fosa mejorada y reforzada 1100 litros	3	Unidad	Q 3,050.82	Q9,152.46
-	Malla de acero inoxidable o acero galvanizado	1	m <sup>2</sup>	Q52.00	Q52.00
-	Manguera reforzada Ø3/4"	20	Ml	Q17.74	Q354.80
9017531	Pacha de Sikaflex 1 <sup>a</sup>	2	Unidad	Q39.95	Q79.90
-	Placa E1952 para exteriores con toma doble polarizada	1	Unidad	Q15.95	Q15.95
2005846	Reductor bushing SCH 40 Ø1"x1/2"	1	Unidad	Q0.67	Q0.67
2005874	Reductor bushing SCH 40 Ø4"x6"	1	Unidad	Q31.36	Q31.36
2006110	Tee Ø4" Pared delgada	3	Unidad	Q16.04	Q48.12
2005889	Tee SCH-40 Ø1"	1	Unidad	Q1.70	Q1.70
-	Toma 270V 15A para caja	1	Unidad	Q3.65	Q3.65
2005237	Tubo PVC SDR-26 (160PSI) Ø1" (11.75ml)	2	Unidad	Q15.72	Q31.44
2005232	Tubo PVC SDR-26 (160PSI) Ø1/2" (0.3ml)	0.05	Unidad	Q7.31	Q0.37

Continuación del apéndice 4.

2005580	Tubo PVC SDR-41 (100PSI) Ø2" (3.8ml)	0.7	Unidad	Q32.61	Q22.83
2005601	Tubo PVC SDR-41 (100PSI) Ø4" (6.45ml)	1.1	Unidad	Q99.17	Q109.09
2005606	Tubo PVC SDR-41 (100PSI) Ø6" (0.75ml)	0.13	Unidad	Q228.84	Q29.75
-	Union ducto electrico Ø3/4"	3	Unidad	Q0.37	Q1.11
2006398	Union ducto electrico Ø1"	6	Unidad	Q0.37	Q2.22
2005844	Union PVC Lisa 6"	1		Q27.24	Q27.24
9004126	Valvula de bola Ø1"	3	Unidad	Q17.74	Q53.22
<b>Sub Total:</b>				<b>Q 11,308.08</b>	

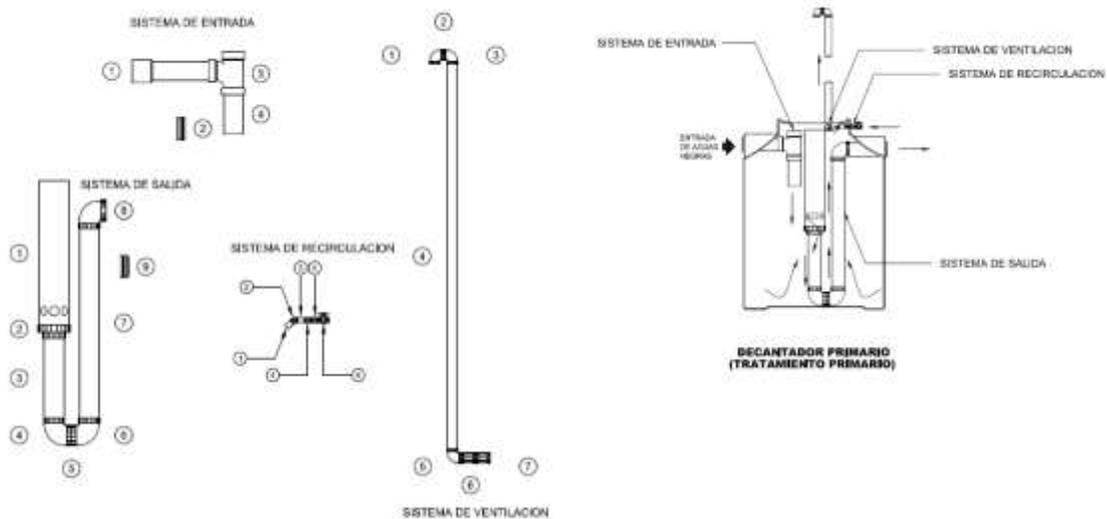
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Elementos básicos que conforman el sistema**

Una planta tratamiento de agua residual de origen doméstico, modular con tecnología de lodos activados deberá contener los siguientes elementos, dependiendo de la configuración que permitan factores como el terreno, cotas invert de tuberías de llegada al punto, por mencionar algunos.

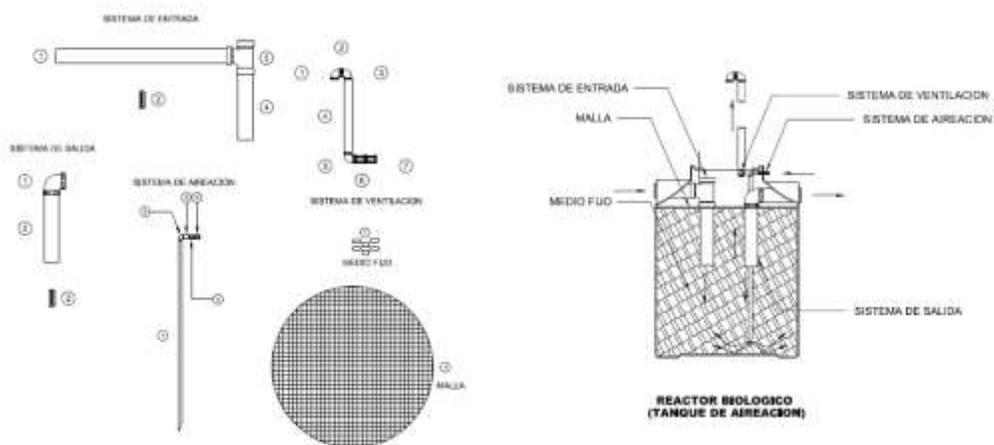
Continuación del apéndice 5.

Figura H. **Sedimentador primario (Tratamiento primario)**



Elementos que conforman el sistema del primer tanque

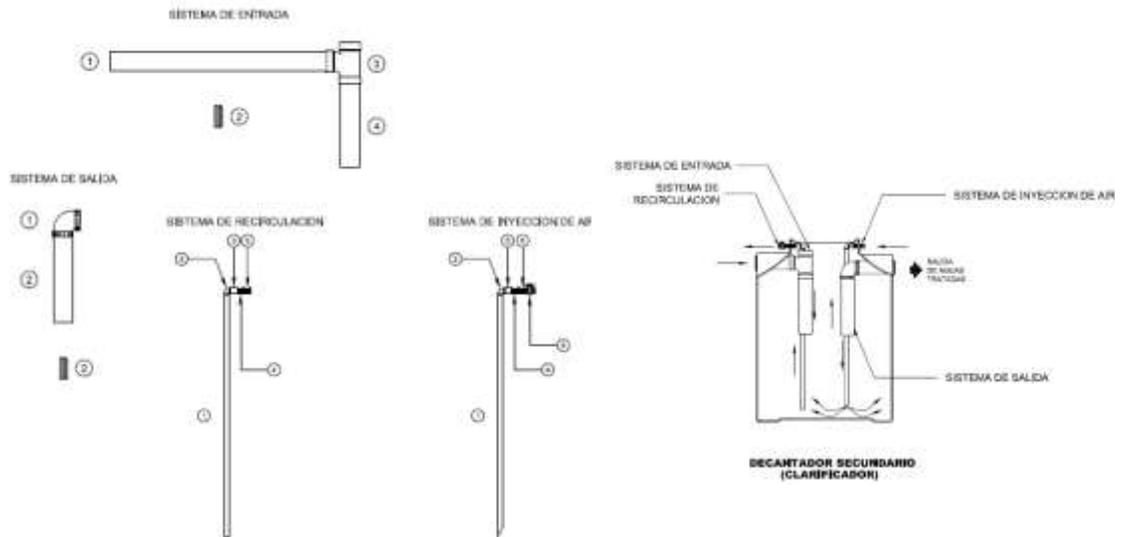
Figura I. **Reactor biológico (Tanque de aireación)**



Elementos que conforman el sistema del segundo tanque

Continuación del apéndice 5.

Figura J. **Sedimentador secundario (Clarificador)**



Elementos que conforman el sistema del tercer tanque

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 6. **Medición de caudal de tratamiento de lodos activados**

Figura K. **Medición del caudal del tratamiento de lodos activados**



Tabla 2. **Tabla de datos de medición de caudal en tratamientos de lodos activados**

Hora	Caudal (L/seg)
7:00	0.025
8:00	0.030
9:00	0.030
10:00	0.035
11:00	0.021
12:00	0.021
13:00	0.035
14:00	0.022
15:00	0.023
16:00	0.023
17:00	0.035
18:00	0.035
<b>Promedio</b>	<b>0.03</b>

Fuente: elaboración propia.

Continuación del apéndice 6.

El precio de la tabla VI fue calculado con base al costeo (costos directos) según cuadro presentado a continuación:

**Tabla 3. Cálculo del precio del sistema en modalidad Ingeniería y Suministro, (en función a los costos directos ruta máxima de envío)**

Descripción	Costos (Q)
Costo de los tanques	Q. 3,050.82
Costo del sistema hidráulico, de aireación y eléctrico	Q. 5,206.44
Envío e instalación	Q. 5035.87
Margen de ganancia	30%
Precio de venta recomendado en quetzales	Q. 18,990.19
Precio de venta recomendado en dólares	\$ 2,373.77

**Tabla 4. Cálculo del precio del sistema en modalidad Ingeniería y suministros (en función a los costos directos ruta mínima de envío).**

Descripción	Costos (Q)
Costo de los tanques	Q.3,050.82
Costo del sistema hidráulico, de aireación y eléctrico	Q. 5,206.44
Envío e instalación	Q. 2,600.00
Margen de ganancia	30%
Precio de venta recomendado en quetzales	Q. 15,510.38
Precio de venta recomendado en dólares	\$1,938.80

Fuente: elaboración propia, resultados de investigación.



## ANEXO

Anexo 1. **Manual de operación y mantenimiento sistema de tratamiento DMF (Durman medio fijo), extraído del original Durman & aliaxis company, Belgica 2009**

**Memoria descriptiva y Manual de Operación y mantenimiento de Planta de Tratamiento de lodos activados DMF (Durman medio filtrante).**

Para un uso óptimo, económico y durable de su instalación, le aconsejamos que:

**[Leer atentamente este Manual de uso Encargue su mantenimiento exclusivamente a técnicos especializados](#)**

de su **Planta de Tratamiento**, copia textual de formato final aceptado y comercializado.

*Fuente primaria obtenido del manual de Aliaxis Company, (nicoll, Belgica).*

### Seis reglas basicas

**Regla 1.-** Antes de proceder a cualquier montaje o intervención, lea atentamente esta **Guía de operación** o cerciúrese de que la **empresa encargada de la colocación** de su **Planta de Tratamiento** se pondrá al corriente de éste.

**Regla 2.-** Asegúrese de que la **empresa autorizada a la que Ud. se dirigirá para vaciar su Planta de Tratamiento** se informe efectivamente de las recomendaciones que la conciernen en la **Guía**.

**Regla 3.-** Se le aconseja e insiste en que suscriba un **contrato de mantenimiento**.

**Regla 4.-** El proceso de depuración de la **Planta de Tratamiento** recurre a organismos vivientes. Evite absolutamente perturbar o frenar este proceso vertiendo **substancias nocivas** en la instalación (bactericidas, cloro, solventes, pesticidas, antibióticos, etc.).

**Regla 5.-** Una buena gestión de los lodos está condicionada por la verificación regular (se aconseja un ritmo mensual) del buen funcionamiento del dispositivo de recirculación Airlift.

**Regla 6.-** Si se presentase el menor problema, no dude en consultar un técnico especializado previo a tocar cualquiera de los equipos o valvulas.

### **Descripción Planta de Tratamiento DMF- 05 ó DMF-12 (nombre comercial)**

La **Planta de Tratamiento** está organizada en tres compartimientos que se encuentran los estanques de polietileno de pared.

La planta de tratamiento para aguas residuales de origen doméstico que posee en sus instalaciones, es una planta de tipo biológico Anaerobio/aerobia combinada, diseñada para tratar el caudal medio de las aguas residuales generadas por el proyecto.

La planta de tratamiento está compuesta por los siguientes procesos o etapas de tratamiento:

La etapa de tratamiento biológico consta de:

#### **1. COMPARTIMENTO 1 – SEDIMENTADOR PRIMARIO**

Sus aguas residuales (negras y grises) se recolectan en la primera cámara («**sedimentador primario**»). Las materias en suspensión van al fondo en la parte inferior de esta cámara con objeto de ser «pretratadas » por bacterias anaerobias. La mayoría de las materias sólidas orgánicas pasaran por depuración al estado líquido. por su concepción, el sedimentador primario de la **Planta de Tratamiento cumple** además la función de separador de grasas.

Luego de algún tiempo de empleo, en la superficie del compartimento se va a formar un «sombbrero» sólido (o «capa flotante»). Para evitar que este «sombbrero » perturbe la llegada de aguas residuales, su **Planta de Tratamiento** está equipada de un codo sumergible y ventilado que conduce los influentes bajo el sombrero.

#### **2. COMPARTIMENTO 2 - REACTOR BIOLÓGICO**

Por medio de un codo sumergible ventilado, las aguas llegan al segundo compartimento («**reactor biológico**»), donde la contaminación orgánica residual va a ser degradada por bacterias aeróbicas. La alimentación en oxígeno de las bacterias la proporciona un equipo de aireación de aire que funciona de forma continua.

Continuación del anexo 1.



Equipo de aireación

Este equipo de aireación está conectado por medio de tubería de PVC a un difusor de burbuja fina. Este difusor situado en la parte inferior del reactor biológico, está provisto de membrana de «burbujas finas» que no se taponan, de alto rendimiento de oxigenación.

La particularidad del sistema reside en el hecho de que las bacterias del reactor biológico se fijan y proliferan sobre un soporte sumergido se fabrican a partir de polipropileno reciclado es un desecho potencial que aquí se transforma en producto «final» (y útil) que se integra así en la perspectiva de un desarrollo duradero.

### 3. COMPARTIMENTO 3 – SEDIMENTADOR SECUNDARIO Ó CLARIFICADOR FINAL

Después de ser tratadas en el reactor biológico, sus aguas penetran en el tercer compartimiento («**sedimentador secundario**»). Los últimos lodos se precipitan en forma de copos, se separan del agua depurada y se concentran en la parte inferior de esta cámara. El **agua depurada** se evacua por la parte superior del decantador secundario. Un dispositivo de seguridad impide que eventuales cuerpos flotantes se evacuen e introduzcan en el medio receptor.

Un dispositivo de recirculación (de tipo Airlift) aspira los subproductos almacenados en el compartimiento 3 para devolverlos al compartimiento 1 e imponerles un nuevo ciclo depuratorio, efecto de recirculación de lodos.

#### Riesgos de deterioros

Se debe seleccionar sistemáticamente materiales que impiden los riesgos de deterioros y garantizan a su instalación un funcionamiento duradero y eficaz.

- a) El estanque es de **polietileno**.
- b) Cada estanque lleva un orificio de 560 mm. de diámetro y va provisto de una tapa.
- c) Las canalizaciones de aire son de PVC presión PN 16.

Continuación del anexo 1.

- d) Todos los ductos de entrada y de salida están equipados de juntas de caucho SBR (tipo F910 110/138).
- e) Todos los demás accesorios son de polietileno y pvc.

**Condiciones topográficas para la instalación de un sistema.**

La **Planta de Tratamiento** está alimentada por una entrada alta. El agua depurada se evacua **por gravedad** por una salida también alta.

El agua depurada puede evacuarse en un drenaje sanitario, en su defecto en una caja prevista para descarga o reutilizarse para riego de áreas verdes.

El aporte de un influente inadecuado (productos desaconsejados en la instalación puede ocasionar el arrojo en aval de efluentes no conformes.

**Particularidades del sistema DMF**

Su **Planta de Tratamiento** pesa +/- 300kilos mas el peso del agua.

N°	Descripción	Cantidades
<b>4.</b>		
1	Medio-estanque inferior ("down")	1
2	Medio-estanque superior ("up")	1
3	Realce y tapa	3
4	Juntas SBR	6
5	Acoples de caucho	1
6	Juntas de impermeabilidad del estanque (bolsillos)	6
07	Reactor biológico equipado	1
11	sistema de difusión (con 2 difusores)	1
12	Airlift	2
13	Equipo de aireación	2

**4.1- Recomendaciones primarias para la instalación del sistema**

Las dimensiones de la excavación aproximada son las siguientes:

Largo (m)	4.70
Ancho (m)	1.55
Alto (m)	1.70

La altura media se determina de la siguiente manera: capa de selecto + alto de estanques + recubrimiento de tierra (mín. 0,20 m - máx. 0,60 m)

Continuación del anexo 1.

### **Recomendaciones para los cimientos y el terraplenado de la excavación**

A modo de observación previa, es esencial que, durante las obras de instalación, se respeten las pendientes mínimas siguientes:

- **Dos por ciento** para los tubos hidráulicos (canalizaciones de entrada y de salida) ;
- **uno por ciento** para el tubo de ventilación (cuya sección no será inferior a 80 mm) con el fin de favorecer la evacuación de los gases pesados, si se llegará a necesitar.

Se aconseja realizar un cimiento estable, sustentador y perfectamente horizontal (15 a 20 cm arena, de arena estabilizada o de hormigón fino).

**Antes de proceder a cualquier operación de nivelación y compactación, es indispensable llenar la mitad del estanque con agua clara para evitar aplastamientos.**

Luego, se procederá a nivelar con mezcla suelo/selecto hasta el nivel de las conexiones para evitar que, por un fenómeno de perforación, se dañe el estanque.

Se recomienda realizar una compactación cuidadosa procediendo gradualmente, por escalones de 25 cm. Un compactado mal realizado puede dañar los tanques prefabricados. Si la compactación se revelase demasiado difícil (falta de espacio, mala calidad de los materiales disponibles), **se aconseja usar suelo estabilizado con cemento a razón de al menos cincuenta kilos por metro cúbico.**

Se pondrá especial atención a los tubos de entrada y de salida: es imperativo que se mantengan perfectamente en su lugar para evitar cualquier deformación posterior, imputable a un asentamiento diferencial del suelo. Lo ideal es cubrirlos con una capa de arena estabilizada con cemento a razón de al menos cincuenta kilos por metro cúbico.

### **Conexiones hidráulicas, eléctricas y ventilación**

#### **El trayecto hidráulico**

Sobre el tanque figuran las menciones (IN y OUT) que especifican el sentido del paso de las aguas (trayecto hidráulico). Se han de tomar precauciones particulares con objeto de garantizar una perfecta estabilidad de la zona de instalación en el sitio de las canalizaciones de entrada y de salida.

Continuación del anexo 1.

Si la topografía del lugar no permite respetar una buena pendiente constante, es preferible utilizar el relieve existente privilegiando la pendiente cuesta arriba de la instalación. Para facilitar la circulación del influente, se necesita una pendiente del dos por ciento, mientras que el efluente puede manejarse con una pendiente menos importante.

### **La instalación eléctrica**

El equipo de aireación está conectado directamente a la red.



#### **Equipo de aireación**

Cuando el equipo de aireación tiene un fallo de funcionamiento se deberá de llamar a la empresa que lo instalo.

El equipo de aireación se instalará en un lugar seco por donde usted pasa frecuentemente a fin de poder comprobar si está funcionando o no.

El equipo de aireación se conecta a su **Planta de Tratamiento** por un tubo de PVC flexible (suministrado con la estación) de un largo máximo de 20 metros.

### **La recirculación y su funcionamiento por diferencia de presión**

Su **Planta de Tratamiento** está equipada de un sistema de recirculación de los lodos secundarios de tipo **Airlift**.

El **Airlift** está piloteado por el equipo de aireación. Cuando la válvula del **Airlift** está cerrada (atornillar en el sentido de las agujas de un reloj), todo el aire se transporta hacia la tubería de aireación que se encuentra en el reactor biológico (compartimento 2). El aire se reparte de forma equitativa entre los dos difusores. Es a través de los dos difusores que el aire – en forma de finas burbujas – alimenta en oxígeno las bacterias que están fijadas en los medios fijos.

Continuación del anexo 1.

Cuando la válvula del **Airlift** está abierta (destornillar progresivamente en el sentido contrario de las agujas de un reloj), el aire se reparte entre la tubería de aireación y el **Airlift**. El aire que desemboca en el **Airlift**, situado en el sedimentador secundario (compartimiento 3), provoca una depresión en el tubo. Esta depresión acarrea un efecto de succión que aspira los lodos secundarios concentrados en el fondo del decantador secundario (compartimiento 3). Los lodos aspirados suben de nuevo por el tubo y se dirigen hacia el sedimentador primario (compartimiento 1) donde vuelven a experimentar un nuevo proceso depuratorio.

El pre ajuste de la válvula del **Airlift** se hace en taller. Para verificar si el **Airlift** funciona correctamente, hay que abrir la tapa del «orificio de hombre» del estanque I y observar el tubo de retorno que llega al decantador primario (compartimiento 1).

Este tubo debe dejar escapar una cantidad fina regular de líquido mixto (líquido café). Si no se produce ningún chorreo, hay que abrir la válvula del **Airlift** (destornillar en el sentido contrario de las agujas del reloj) hasta obtener el resultado deseado. Si el chorreo fuese muy fuerte, hay que volver a cerrar progresivamente la válvula del **Airlift** (atornillar en el sentido de las agujas de un reloj) hasta obtener el resultado deseado.

### **La ventilación del sistema de tratamiento de aguas residuales**

Aunque no es indispensable realizar una ventilación alta del estanque de su **Planta de Tratamiento**, sea directamente sobre ésta, sea vía el tubo de llegada de las aguas residuales (evitando cuidadosamente introducir aguas de lluvia en la instalación).

Los gases producidos en el compartimiento 1 son gases pesados (principalmente H<sub>2</sub>S). La mejor ventilación se hará por un tubo que suba lo más alto posible (por ejemplo hasta el techo de su casa) a fines de aprovechar la aspiración natural de los vientos dominantes y provocar un efecto «de chimenea». El diámetro de este tubo no será nunca inferior a 2" y su instalación será en subida constante hacia el tejado.

Un «sombbrero» cubrirá este conducto para así evitar una obstrucción accidental (por pájaros, por ejemplo).

### **El vaciado de lodos**

Su **Planta de Tratamiento** produce lodos sobrantes provenientes de la degradación de la contaminación por los microorganismos aerobios. La necesidad de efectuar un vaciado es en función del porcentaje de masa biológica en su instalación. Este porcentaje se puede controlar fácilmente.

Si no se efectúa ningún control, en caso de un uso normal de la **Planta de Tratamiento**, deberá programarse una operación de vaciado a más tardar **cada año**.

Continuación del anexo 1.

La empresa autorizada de su elección empleará el material adecuado y trabajará tomando todas las precauciones debidas para vaciar su instalación en el orden descrito a continuación:

- Compartimiento 1 (sedimentador primario) donde se vaciará el sombrero y luego los lodos;
- Si fuese necesario, el compartimiento 3 (sedimentador secundario).

-

### **Las condiciones de vaciado**

Es indispensable:

- **Dejar un resto de 15 a 20 cm de líquido mixto** en el fondo del compartimiento I para permitir una reactivación inmediata del proceso biológico del sistema.
- **Llenar el estanque con agua clara** (hasta desborde) inmediatamente después del vaciado para evitar aplastamientos.

### **El mantenimiento de la Planta de Tratamiento**

Se ha concebido esta instalación prestando especial atención a que su mantenimiento sea cómodo y rápido. Para aprovechar plenamente esta calidad, es indispensable que el acceso a los registros sea posible en todo momento para así poder llegar a los distintos compartimientos de la instalación. En caso de taponamiento accidental de los difusores de burbujas finas, el soporte bacteriano, compuesto de bolsas de **medios fijos** puede retirarse en sólo unos minutos para permitir, por ejemplo, destapar o reemplazar los difusores.

### **Referencias a los componentes del sistema:**

**Tanques:** polietileno doble pared

**Acoples:** de entrada y de salida

**Accesorios :** Pvc, polietileno

**Soporte bacteriano:** polipropileno reciclado

**Difusores:** difusor burbujas finas: armazón: polipropileno con roscado  $\frac{3}{4}$  gas cónico que permite un (des)montaje fácil

Continuación del anexo 1.

**Guía de manejo y comercialización, información técnica.**

---

**Informaciones sobre el producto**

Consumo eléctrico: **160 watts**

Periodicidad teórica de vaciado de los lodos sobrantes : **1 años**

Cantidad de reactivo que se debe añadir: no se necesita ningún reactivo las bacterias que permiten el proceso depuratorio están naturalmente presentes en el influente.

La potencia sonora emitida: el equipo de aireación puede producir un ruido de **38 decibeles** a un **metro** del aparato sin ninguna protección acústica. Este valor ha sido medido en laboratorio con expulsión y aspiración al aire libre.

**Datos técnicos:**

	<b>Planta de Tratamiento DMF 5</b>
<b>Volumen global de la instalación (litros)</b>	9000
<b>a) Decantador primario</b>	
Capacidad (m <sup>3</sup> ):	1.00
<b>b) Reactor biológico</b>	
Capacidad (m <sup>3</sup> ):	1.00
<b>c) Clarificador</b>	
Volumen (m <sup>3</sup> ):	1.00
<b>Recirculación de los lodos secundarios</b>	
Tipo :	Airlift
Duración de funcionamiento diario (minutos / día):	Continuo
<b>d) Almacenamiento de los lodos (m<sup>3</sup>)</b>	2,00
<b>e) Depuración biológica por capa fija sumergida</b>	
Accesorios	Medio fijo de polipropileno reciclado Diámetro :0.5 cm Superficie específica : 100 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> Porcentaje de vacío : 89,9 %
Volumen de medio fijo (m <sup>3</sup> )	0,5

Continuación del anexo 1.

Potencia instalada kW/h	0,12
Cámara de acceso (diámetro en cm)	60
Equipo de aireación	
Caudal (Nm <sup>3</sup> O <sub>2</sub> /h)	7,20
Potencia (kW)	0,55
Tensión	1 x 230 V

**Verificación de funcionamiento general de su Instalación:**

**Control de la insuflación de aire**

Es conveniente y útil levantar una vez al mes la tapa de registro que permite visualizar el compartimiento # 2 de su **Planta de Tratamiento**.

Si en la superficie aparecen burbujas finas, quiere decir que la instalación funciona correctamente.

Si comprueba que esas burbujas finas no aparecen, se debe verificar que el equipo de aireación funciona correctamente.

**Control del sistema Airlift ó recirculación:**

Esta operación se puede efectuar al mismo tiempo que el control de inyección de aire. El pre ajuste del **Airlift** se realiza con la manipulación de válvulas internas. El tubo de recirculación que desemboca en el compartimiento 1 debe dejar escapar un flujo constante de líquido café.

Si fuese preciso hacer un ajuste, le basta con operar de la manera detallada anteriormente. Si aún así no se produjese ningún chorreo.

**Control del porcentaje de masa biológica y vaciado de los lodos sobrantes**

Las estaciones de depuración de tipo «capa fija sumergida» producen lodos sobrantes que provienen de la degradación de la contaminación por los microorganismos aerobios. La producción de fangos varía según la carga de contaminación existente a la entrada de su instalación. Este control es efectuado por su servicio de mantenimiento.

Continuación del anexo 1.

**Consejos complementarios para su utilización:**

Su **Planta de Tratamiento** ha sido sometida con éxito a los tests más rigurosos en la plataforma de ensayos. A fines de que su instalación le dé plena satisfacción, tenga la precaución de respetar además las consignas siguientes:

**No conecte nunca las aguas de lluvia a su Planta de Tratamiento** . Estas aguas podrían perturbar la flora bacteriana y provocar, en caso de tormenta o de lluvias torrenciales, un «efecto de expulsión» que podría purgar los lodos y evacuarlos en el medio receptor.

**No arroje nunca en la instalación productos que podrían perturbar la biología** de su **Planta de Tratamiento** : disolvente, aguarrás, pintura, bactericida, productos petroleros, (cloro).

En caso de paro del sistema de aireación durante más de 24 horas, en el momento de ponerla en marcha pueden desprenderse **olores importantes**. Estos olores son normales y, aparte de la molestia que ocasionan, no representan ningún peligro. Esta situación puede perdurar durante dos o tres días.

Si no hay aporte de aguas residuales (ausencia prolongada, vacaciones, ...) la **Planta de Tratamiento** puede perder una parte de sus capacidades depuratorias ya que las bacterias pueden sufrir de una falta de alimentación y ver disminuir su número. Es importante **dejar funcionar el equipo de aireación durante su ausencia.**

En condiciones normales de uso y a condición de que se respeten las prescripciones de instalación, de excavación y puesta en el suelo, y de uso posterior	
<b>De los tanques prefabricados.</b>	<b>10 años</b>
<b>Equipo de aireación</b>	<b>1 año</b>

Fuente: Durman & aliaxis company. *Manual de operación y mantenimiento sistema de tratamiento DMF.* p. 20.