



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO ANAERÓBICA,
EMPLEANDO UN SEDIMENTADOR TIPO LAMELLA**

María Fernanda Santa Cruz López
Asesorado por el Ing. Luis Alberto Peláez Godoy

Guatemala, abril de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO ANAERÓBICA,
EMPLEANDO UN SEDIMENTADOR TIPO LAMELLA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARÍA FERNANDA SANTA CRUZ LÓPEZ

ASESORADO POR EL ING. LUIS ALBERTO PELÁEZ GODOY

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, ABRIL DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton De León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Armando Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz Gonzáles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. José Mauricio Arriola
EXAMINADOR	Ing. Yefry Valentín Rosales
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera

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:

PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO ANAERÓBICA, EMPLEANDO UN SEDIMENTADOR TIPO LAMELLA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 04 de mayo de 2022.



María Fernanda Santa Cruz López



ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Guatemala, 27 de octubre de 2023

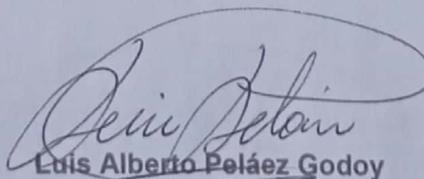
Ingeniero Civil
Hugo Leonel Montenegro Franco
Coordinador
Área de Materiales y construcciones civiles
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Montenegro:

Le saludo cordialmente, deseándole éxitos en sus actividades. Por medio de la presente hago constar que he revisado y aprobado el informe final del trabajo de graduación titulado: **"PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO ANAERÓBICA, EMPLEANDO UN SEDIMENTADOR TIPO LAMELLA"**, elaborado por la estudiante de la carrera de Ingeniería Civil, **María Fernanda Santa Cruz López**, quien se identifica con el registro académico **201404272** y con el Código Único de Identificación **1718795700101**.

Considerando que dicho trabajo cumple con los requisitos establecidos por la escuela de ingeniería civil, por lo anterior doy mi aprobación y recomiendo para su publicación.

Agradeciendo la atención a la presente, me suscribo de usted,
Atentamente,



Luis Alberto Peláez Godoy

ASESOR

Ingeniero Civil
Colegiado activo no. 2036



Más de 140 años de Trabajo y Mejora Continua
<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>



Guatemala de La Asunción
04 de mayo de 2022

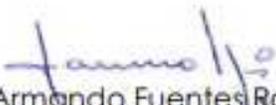
Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Coordinador
Área de Materiales y Construcciones Cíviles
Escuela de Ingeniería Civil
Presente.

Respetado Ingeniero.

Por medio de la presente comunico a usted, que la facultad de Ingeniería a través de la Escuela de Ingeniería Civil ha aprobado el tema para trabajo de graduación **PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO ANAERÓBICA, EMPLEANDO UN SEDIMENTADOR TIPO LAMELLA**, presentado por la estudiante universitaria María Fernanda Santa Cruz López, con número de Registro Académico 2014-04274; tiene de asesor al Ingeniero Civil Luis Alberto Peláez Godoy, colegiado No. 2036.

Así mismo se le recuerda que, el trabajo de graduación deberá ser estructurado conforme a lo indicado en el Reglamento de trabajos de Graduación de la Facultad de Ingeniería, según se señala en las especificaciones para la elaboración del informe final y se recomienda que el contenido esté comprendido entre 40 y 80 hojas con énfasis en el aporte del estudiante en el tema desarrollado.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.
ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Armando Fuentes Roca
Director Escuela Ingeniería Civil



cc. Asesor
cc. Interesado





ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

SIST.LNG.DIRECTOR.1.EIC.2024

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de graduación titulado: **PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO ANAERÓBICA, EMPLEANDO UN SEDIMENTADOR TIPO LAMELLA**, presentado por: **María Fernanda Santa Cruz López**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ingeniero Armando Fuentes Roca
Director
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala, marzo de 2024





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.155.2024

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO ANAERÓBICA, EMPLEANDO UN SEDIMENTADOR TIPO LAMELLA**, presentado por: **Maria Fernanda Santa Cruz López** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, abril de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 155 CUI: 1718795700101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por acompañarme siempre en mi camino y brindarme la sabiduría ayer, hoy y siempre.
Mis padres	Baltazar Augusto Santa Cruz y Berta Lidia López, por su amor, comprensión y apoyo incondicional.
Mi hija	Adriana Sánchez por ser mi motivación para seguir adelante.
Mis hermanos	Luis Arias, Carina Hernández y Gabriel Santa Cruz (q. e. p. d.) por su apoyo.
Mis amigos	Que hicieron de mi vida estudiantil más amena.
Ingeniero	Luis Peláez por ser parte importante en el desarrollo de este trabajo de graduación.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala Especialmente a la Facultad de Ingeniería, por brindarme los conocimientos necesarios para realizarme en el campo profesional.

Todas las personas Que de alguna forma contribuyeron a la realización de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS.....	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Historia del tratamiento del agua	2
1.2. Datos históricos	5
1.3. Historia de plantas de tratamiento	7
2. MARCO TEORICO.....	9
2.1. Que es una planta de tratamiento de aguas residuales	9
2.1.1. Proceso de tratamiento de aguas residuales.....	9
2.1.2. Función de una planta de tratamiento de aguas residuales	10
2.2. Composición de las aguas residuales	12
2.2.1. Características de las aguas residuales	14
2.2.2. Propiedades físicas	15
2.2.3. Propiedades químicas	17
2.2.4. Propiedades biológicas.....	22
2.3. Tratamiento del agua residual	27
2.3.1. Sistemas de tratamiento	29
2.3.2. Tratamiento físico	30

2.3.3.	Tratamiento biológico	32
2.3.4.	Tratamiento químico.....	33
2.4.	Tipos de sedimentadores	35
2.4.1.	Sedimentadores de flujo horizontal	35
2.4.2.	Sedimentadores de flujo vertical	38
2.4.2.1.	Características típicas de un sedimentador vertical	39
2.4.3.	Sedimentadores de alta velocidad	41
2.4.4.	Sedimentadores de clarificación.....	45
3.	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO	49
3.1.	Diseño y planificación.....	49
3.1.1.	Estudio de factibilidad y caracterización de las aguas residuales	50
3.1.2.	Selección del tipo de planta anaeróbica y sedimentador lamella	50
3.1.3.	Diseño del proceso anaeróbico	50
3.1.4.	Diseño del sedimentador tipo lamella.....	51
3.1.5.	Diseño de los sistemas de bombeo y agitación.....	51
3.1.6.	Consideraciones de seguridad y medio ambiente..	51
3.1.7.	Estimación de costos y planificación del cronograma	51
3.1.8.	Evaluación de sostenibilidad y reutilización de recursos	52
3.1.9.	Monitoreo y seguimiento	52
3.2.	Preparación del terreno.....	52
3.2.1.	Limpieza y remoción de obstrucciones	53
3.2.2.	Estudio geotécnico	53
3.2.3.	Nivelación del terreno.....	53

3.2.4.	Establecimiento de cimentaciones.....	53
3.2.5.	Instalación de servicios básicos.....	54
3.2.6.	Planificación de espacios y accesos.....	54
3.2.7.	Consideraciones ambientales y regulaciones.....	54
3.2.8.	Seguridad en el sitio	55
3.3.	Conformación de plataformas para (PTAR).....	55
3.3.1.	Nivelación del terreno	55
3.3.2.	Compactación del suelo	56
3.3.3.	Diseño y construcción de cimentaciones.....	56
3.3.4.	Drenaje	56
3.3.4.1.	Consideraciones de seguridad y medio ambiente.....	56
3.3.5.	Planificación de espacios y accesos.....	57
3.4.	Desarenador.....	58
3.5.	Pretratamiento	61
3.5.1.	Desarenador	62
3.5.2.	Trampa de grasa	62
3.5.3.	Rejas o tamices	63
3.6.	Construcción de Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA)	65
3.6.1.	Excavación y preparación del sitio.....	65
3.6.2.	Construcción del tanque del reactor	66
3.6.3.	Instalación de tuberías y conexiones.....	68
3.6.4.	Colocación de sistemas de distribución.....	70
3.7.	Campanas	71
3.8.	TEA de quemado (RAFA).....	73
3.9.	Contactador anóxico.....	76
3.10.	Filtro percolador.....	78
3.10.1.	Rosetón plástico filtrante	82

3.11.	Construcción del sedimentador tipo Lamella.....	85
3.11.1.	Funcionamiento de sedimentador tipo lamella	88
3.11.2.	Diseño y planificación.....	91
3.11.3.	Preparación del sitio.....	95
3.11.4.	Construcción de la estructura.....	96
3.12.	Contactador de cloro	100
3.13.	Patio de secado de lodos	104
3.14.	Instalación de equipos y sistemas.....	107
3.15.	Guardianía	107
4.	RESULTADOS.....	113
4.1.	Memoria descriptiva	116
4.1.1.	Sistema de recolección y conducción de aguas residuales.....	116
4.1.2.	Características del afluente y efluente	117
4.1.2.1.	Calidad del afluente.....	117
4.1.2.2.	Calidad del efluente.....	118
4.1.3.	Características de los lodos	119
4.2.	Sistema de tratamiento	119
4.3.	Ubicación	120
	CONCLUSIONES.....	123
	RECOMENDACIONES	125
	REFERENCIAS	127

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Planta de tratamiento de aguas residuales.....	11
Figura 2.	Composición de las aguas residuales	13
Figura 3.	Temperatura	16
Figura 4.	Medida de contenido orgánico.....	20
Figura 5.	Materia inorgánica	21
Figura 6.	Tratamiento de agua residual	28
Figura 7.	Conformación de plataformas.....	57
Figura 8.	Preparación del armado de las losas de cimentación.....	58
Figura 9.	Desarenador	60
Figura 10.	Toma de muestras	61
Figura 11.	Pretratamiento	63
Figura 12.	Canal de rejás y desarenador.....	65
Figura 13.	Preparación de sitio Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente ...	66
Figura 14.	Refuerzo Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente	67
Figura 15.	Construcción Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente.....	68
Figura 16.	Instalación de tubería entrada de agua residual	69
Figura 17.	Instalación de tubería recirculación y recogida de lodos.....	69
Figura 18.	Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente.....	70
Figura 19.	Detalle de campana de (RAFA)	72
Figura 20.	TEA de quemado	75
Figura 21.	TEA o antorcha de quemado	75
Figura 22.	Construcción contactor anóxico	77
Figura 23.	Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente y Contactor anóxico ...	78

Figura 24.	Interior filtro percolador.....	80
Figura 25.	Filtro percolador	81
Figura 26.	Brazo giratorio para distribución.....	81
Figura 27.	Rosetón plástico filtrante o polipropileno	83
Figura 28.	Construcción de sedimentador tipo lamella.....	90
Figura 29.	Diseño, planta sedimentador tipo lamella.....	93
Figura 30.	Diseño, perfil sedimentador tipo lamella.....	94
Figura 31.	Preparación de sitio Sedimentador Tipo Lamella	95
Figura 32.	Construcción sedimentador tipo lamella.....	100
Figura 33.	Planta contactor de cloro.....	102
Figura 34.	Perfil contactor de cloro.....	103
Figura 35.	Sedimentador tipo la mella y Contactor de cloro	104
Figura 36.	Construcción patio de secado de lodos.....	106
Figura 37.	Patio de secado de lodos	106
Figura 38.	Construcción de guardianía.....	109
Figura 39.	Guardianía.....	109
Figura 40.	Diagrama de flujo	119
Figura 41.	Ubicación.....	121

TABLAS

Tabla 1.	Características de las aguas residuales	15
Tabla 2.	Propiedades biológicas	26
Tabla 3.	Sistema de tratamiento.....	30
Tabla 4.	Caudales	64
Tabla 5.	Características del afluente	118
Tabla 6.	Características del efluente de la planta de tratamiento.....	118

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Hp	Caballo de fuerza
cm	Centímetro
PVC	Cloruro de Polivinilo
D	Día
CO₂	Dióxido de carbono
g/l	Gramos por litro
kW	Kilo watts
Kg/d	Kilogramo por día
Kg	Kilogramos
l/s	Litros por segundo
m²	Metro cuadrado
m³	Metro cúbico
mg/l	Miligramos por litro
mm	Milímetro
ph	Potencial de hidrógeno
T	Temperatura diferente; representa la diferencia de temperatura entre el agua residual y la de suministro

GLOSARIO

COT	Carbono Orgánico; es un parámetro utilizado para determinar la calidad del agua.
DQO	Demanda Química de Oxígeno; se refiere a la cantidad de oxígeno necesaria para descontaminar el agua.
DQO5	Demanda Bioquímica de Oxígeno; se refiere a la cantidad de oxígeno que requiere una comunidad microbiana Heterogénea para lograr la oxidación de la materia en un periodo determinado.
M.I	Materia Inorgánica; son sustancias que carecen de átomos de carbono.
M.O	Materia Orgánica; representan un tercio de los elementos de las aguas residuales, provenientes de los reinos animal y vegetal.
M.O	Micro-Organismos; son cuerpos que ayudan al reciclaje de nutrientes.
M.P	Materiales Pesados; representan los elementos químicos que contienen una densidad alta.

PTAR

Planta de Tratamiento de Agua Residual.

SST

Sólidos Suspendingidos Totales.

RESUMEN

La construcción de una planta de tratamiento anaeróbica es un paso hacia el desarrollo sostenible al ayudar a mitigar la contaminación y aprovechar el potencial.

Una planta de tratamiento de aguas residuales evacúa sólidos, reduce la materia orgánica y los contaminantes y restaura la presencia de oxígeno. Los sólidos incluyen todo, desde trapos y maderas, a arena y partículas pequeñas que se encuentran en las aguas residuales.

La reducción de la materia orgánica y de los contaminantes es llevada a cabo usando bacterias útiles y otros microorganismos que se usan para consumir la materia orgánica en el agua residual. Las bacterias y los microorganismos son luego separados del agua. La restauración del oxígeno es importante ya que el agua debe tener suficiente oxígeno para sostener la vida.

Una planta de tratamiento de agua residual se construye con el fin, de realizar una depuración de materia orgánica, minimizando la contaminación que va a desembocar a los vertederos naturales, a una red de alcantarillado o algún receptor de agua, devolviéndole a la naturaleza el líquido vital en un mejor estado, con un porcentaje de contaminación más bajo o sin contaminación totalmente.

OBJETIVOS

General

Elaborar el proceso constructivo de una planta de tratamiento anaeróbica, empleando un sedimentador tipo lamella.

Específicos

1. Realizar la comparación del proceso constructivo de un sedimentador convencional con el sedimentador tipo lamella.
2. Describir los diferentes tipos de obras complementarias utilizadas en el proceso constructivo de una planta de tratamiento anaeróbica, empleando un sedimentador tipo lamella.
3. Analizar los beneficios del proceso constructivo que obtendrá la planta de tratamiento utilizando el sedimentador tipo lamella.
4. Comparar la efectividad de la roca volcánica comúnmente implementada en el filtro percolador y los rosetones a utilizar en una planta de tratamiento como está.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento adecuado de las aguas residuales es un desafío crucial para garantizar la protección del medio ambiente y salud pública. En este contexto, las plantas de tratamiento anaeróbicas han demostrado ser una solución eficiente y sostenible para la depuración de aguas residuales. Un componente esencial en estas plantas es el sedimentador tipo lamella, que juega un papel fundamental en el proceso de separación y eliminación de sólidos suspendidos.

En este trabajo final de graduación, se abordará el proceso constructivo de una planta de tratamiento anaeróbica con un enfoque particular en el uso del sedimentador tipo lamella. Exploraremos como este diseño innovador optimiza la sedimentación y maximiza el rendimiento del tratamiento. Además, se destacarán las ventajas de emplear tecnologías anaeróbicas y como estas plantas contribuyen al desarrollo sostenible al convertir los desechos orgánicos en recursos valiosos.

La construcción de una planta de tratamiento anaeróbica con un sedimentador tipo lamella requiere un enfoque cuidadoso y una planificación detallada para asegurar su eficacia y cumplimiento de las normativas ambientales.

Guatemala cuenta con muy pocas plantas de tratamiento de agua residual funcionando correctamente, la responsabilidad del tratamiento de las aguas residuales además de la implementación de plantas de tratamiento, debería de ser de las autoridades municipales, las cuales deberían velar por la reducción del impacto ambiental y la salud de la población en general; encargándose de la

elaboración, construcción y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Debido a la enorme cantidad de desechos sólidos, líquidos, fertilizantes, pesticidas, químicos y hasta desechos fecales surge la necesidad de llevar a cabo la construcción de plantas de tratamiento para la reducción de contaminación en las vertientes de aguas naturales.

El estudio pretende que el proceso constructivo de la planta de tratamiento anaeróbica, sea más sencillo con la implementación de un sedimentador tipo lamella, el cual su función principal será reducir la velocidad y la turbulencia de la corriente del agua residual, para facilitar la sedimentación de partículas menos gruesas que las de un desarenador.

Sin embargo, la importancia del tratamiento de aguas residuales es velar por la disminución del impacto en el medio ambiente y eliminar cualquier potencial riesgo para la salud.

1. ANTECEDENTES

Los métodos de depuración de aguas residuales se remontan a la antigüedad y se han encontrado instalaciones de alcantarillado en lugares prehistóricos de Creta y en las antiguas ciudades asirias.

Unos siglos después se recuperó la costumbre de construir desagües, en su mayor parte en forma de canales al aire o zanjas en la calle. Al principio estuvo prohibido arrojar desperdicios en ellos, pero en el siglo XIX se aceptó que la salud pública podía salir beneficiada si se eliminaban los desechos humanos a través de los desagües para conseguir su rápida desaparición (Angulo, 2017, p.5).

Guatemala cuenta con 38 cuencas hidrográficas y 194 cuerpos de agua divididos en 7 lagos, 49 lagunas, 109 laguneras, 19 lagunas costeras, 7 embalses y 3 lagunas atemporales. Sin embargo, se estima que el 90 % de ellos están contaminados por el vertido de desechos industriales y domésticos (López, 2016).

Se consiguió un progreso desarrollado por Joseph Bazalgette entre 1859 y 1875 con el objeto de desviar el agua de lluvia y las aguas residuales hacia la parte baja del Támesis, en Londres. Con la introducción del abastecimiento municipal de agua y la instalación de cañerías en las casas llegaron los inodoros y los primeros sistemas sanitarios modernos. A pesar de que existían reservas

respecto a estos por el desperdicio de recursos que suponían, los riesgos para la salud que planteaban y su elevado precio, fueron muchas las ciudades que los construyeron.

Comienzos del siglo XX, algunas ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración con el fin de aprovechar esas aguas. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales. Desde la década de 1970, se ha generalizado en el mundo industrializado la cloración, un paso más dentro del tratamiento químico, con el objetivo de desinfectar el agua y hacerla apta para el consumo humano (Lucero, Reismann y Ovando, 2001).

1.1. Historia del tratamiento del agua

Los seres humanos han almacenado y distribuido el agua durante siglos. Hace aproximadamente 7000 años en Jericó (Israel) el agua almacenada en los pozos se utilizaba como fuente de recursos de agua, además se empezaron a desarrollar los sistemas de transporte y distribución del agua.

Este transporte se realizaba mediante canales sencillos, excavados en la arena o las rocas y más tarde se comenzarían a utilizar tubos huecos. Alrededor del año 3000 A.C., la ciudad de Mohenjo-Daro (Pakistán)

utilizaba instalaciones de distribución y necesitaba un suministro de agua muy grande.

En la antigua Grecia el agua de escorrentía, agua de pozos y agua de lluvia eran utilizadas desde épocas muy tempranas. Debido al crecimiento de la población se vieron obligados al almacenamiento y distribución (mediante la construcción de una red de distribución) del agua.

El agua utilizada se retiraba mediante sistemas de aguas residuales, a la vez que el agua de lluvia. Los griegos fueron de los primeros en tener interés en la calidad del agua. Ellos utilizaban embalses de aireación para la purificación del agua.

Los romanos fueron los mayores arquitectos en construcciones de redes de distribución de agua que ha existido a lo largo de la historia. Los romanos construyeron presas para el almacenamiento y retención artificial del agua.

El sistema de tratamiento por aireación se utilizaba como método de purificación. El agua de mejor calidad y por lo tanto más popular era el agua proveniente de las montañas.

En los sistemas de tuberías en las ciudades utilizaban cemento, roca, bronce, plata, madera y plomo. Las fuentes de agua se protegían de contaminantes externos. Después de la caída del imperio Romano, los acueductos se dejaron de utilizar. Desde el año 500 al 1500 D.C. hubo poco desarrollo en relación con los sistemas de tratamiento del agua.

Durante la edad media se manifestaron gran cantidad de problemas de higiene en el agua y los sistemas de distribución de plomo, porque los residuos y excrementos se vertían directamente a las aguas. La gente que bebía estas aguas enfermaba y moría.

Para evitarlo se utilizaba agua existente fuera de las ciudades no afectada por la contaminación. Esta agua se llevaba a la ciudad mediante los llamados portadores. El primer sistema de suministro de agua potable a una ciudad completa fue construido en Países como, Escocia, alrededor del año 1804 por John Gibb. En tres años se comenzó a transportar agua filtrada a la ciudad de Glasgow.

En 1806 en París empieza a funcionar la mayor planta de tratamiento de agua. El agua sedimentaba durante 12 horas antes de su filtración. Los filtros consistían en arena, carbón y su capacidad era de seis horas. En 1827 el inglés James Simplón construyó un filtro de arena para la

purificación del agua potable. Hoy en día todavía se considera el primer sistema efectivo utilizado con fines de salud pública (LENNTECH, s.f., párr. 1-11).

1.2. Datos históricos

La primera instalación de saneamiento fue el pozo ciego o pozo negro que apareció en Babilonia hacia 4000 a.C. Una simple excavación en el suelo donde concentrar los excrementos que pronto se generalizó a otras ciudades del imperio y zonas rurales. Los babilonios ya habían desarrollado una hidráulica incipiente para el transporte del agua y aplicaron pronto sus conocimientos a la conducción de las heces a los pozos negros mediante el baldeo y las primeras tuberías de arcilla.

En el Imperio Romano, el concepto de higiene evolucionó y se impusieron normas para separar las aguas negras mediante alcantarillas en las calles. También la letrina evolucionó y se generalizó la de asiento, en sustitución del sistema usual hasta entonces de defecar de cuclillas. Sin embargo, la población continuó tirando los excrementos a la calle hasta 100 d.C., cuando un decreto obligó a conectar los hogares a las alcantarillas, que experimentaron una gran evolución.

Durante aquella época tuvo lugar otro paso importante: la separación de lo que hoy denominamos aguas grises de las negras. Las primeras, aguas residuales de los baños y termas, se reutilizaron para baldear las letrinas públicas, que se convirtieron en un centro de reunión social.

A finales del siglo XIX comenzaron a utilizarse los avances en microbiología para tratar las aguas residuales y en 1914 los ingenieros Edward Arden y William T. Lockett, descubrieron los fangos activos, uno de los sistemas de tratamiento biológico para la depuración de la contaminación orgánica de aguas residuales que todavía usamos en la actual depuración.

Sin embargo, la revolución industrial conllevó otro problema para el agua; la contaminación química, que se sumó a la fecal de las aguas negras. De este modo se dio la paradoja de que mientras avanzábamos en el tratamiento de la contaminación orgánica, los vertidos industriales comenzaron a contaminar ríos, mares y toda clase de vertederos naturales muchas veces de un modo inconsciente con productos de los que más tarde descubrimos su nocividad: metales pesados, pesticidas, DDT, nitratos...etc.

En la década de 1970 comenzó en el mundo desarrollado una gran reacción internacional en contra de la contaminación del agua, tanto la industrial como la fecal, pero hoy en día, en los países en vías de desarrollo, se calcula que el 90% de las aguas negras se vierten directamente sin depurar. Por esta causa, según la OMS, cada año fallecen 1,8 millones de niños menores de cinco años, uno cada 20 segundos. Aún no hemos ganado una batalla que comenzó hace más de 10.000 años. (WeAreWater, 2017, párr. 1-6).

1.3. Historia de plantas de tratamiento

La primera planta de tratamiento importante se construyó en París, en 1806. En ella se sedimentaba el agua durante 12 horas y se filtraba. Más adelante, a fines del siglo XIX, se realizan experimentos para la aeración de alcantarillas en el Reino Unido, mientras que los Estados Unidos introducen por primera vez las rejillas de desbaste, implementos que impiden la obstrucción de los conductos por objetos voluminosos.

A inicios del siglo XX, USA aplica también la cloración masiva. En los años cincuenta, México inaugura su primera planta de lodos activados, basada en los estudios de Ardern y Locket. Este proceso permite una depuración natural al mezclar un cultivo de microorganismos con la

materia orgánica del agua, para que estos se alimenten de los contaminantes biológicos y clarifiquen la mayor parte del líquido.

La década de los sesentas traería consigo dos extraordinarios avances: el sistema PhoStrip para la eliminación del fósforo y los reactores secuenciales de flujo discontinuo (SBR). Estos últimos traen notables ventajas para el tratamiento, como reducción de espacios de trabajo y de costos, además de permitir la eliminación de nutrientes.

Más adelante, en 1996, se patenta el proceso SHARON, operado para la nitrificación y desnitrificación; mientras que en 1999 el Instituto Coreano de Ciencia y Tecnología patenta la primera celda de combustible microbiana, que sería el primer paso para aprovechar el tratamiento de aguas residuales con el fin de producir electricidad. Tiempo después, en 2009, el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México logra operar un sistema de producción automatizado para la producción de biopolímeros usando lodos activados.

Como se ha visto, las plantas de tratamiento de agua residual son indispensables para la supervivencia de la humanidad y su desarrollo está en la constante búsqueda de innovación (Teamb, 2019, párr. 1-5).

2. MARCO TEORICO

2.1. Que es una planta de tratamiento de aguas residuales

Es una infraestructura diseñada para purificar y limpiar en agua que proviene de diferentes fuentes, como hogares, industria y comercios, una vez que ha sido utilizada y se ha convertido en agua residual. El objetivo principal de una planta de tratamiento es eliminar o reducir los contaminantes presentes en el agua residual antes de su devolución al medio ambiente o su reutilización para usos no potables.

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) tanto Industrial (PTARI) como Doméstica (PTARD) es un requisito importante para la conservación de vida en el planeta y el cuidado del agua. Con el tiempo, se han mejorado los métodos y aplicaciones para el tratamiento de aguas residuales. Muchas de estas tecnologías para el tratamiento de aguas, permiten una recuperación de recursos y se dan un valor importante al residuo que se genera.

2.1.1. Proceso de tratamiento de aguas residuales

Generalmente consta de varias etapas que permiten eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua. A continuación, se describen las principales etapas de un proceso típico de tratamiento de aguas residuales:

- **Pretratamiento:** en esta fase, se realizan actividades de cribado y desarenado para eliminar objetos grandes y partículas inorgánicas, como

arena y piedras, que podían dañar el equipo y obstruir los procesos posteriores.

- Tratamiento Primario: en esta etapa, el agua residual se somete a un proceso de sedimentación para separar los sólidos suspendidos y grasos flotantes del agua. Se forman lodos que son retirados para su posterior tratamiento.
- Tratamiento Secundario: en esta fase, se lleva a cabo un proceso biológico en el que microorganismos descomponen y consumen la materia orgánica disuelta y en suspensión en el agua. Los sistemas más comunes para este proceso son el lodo activado y los reactores biológicos aeróbicos.
- Tratamiento Terciario (opcional): si es necesario alcanzar niveles más altos de purificación, se puede aplicar una etapa de tratamiento adicional, como la desinfección mediante la cloración o el uso de tecnologías más avanzadas, como la filtración de membranas.

Una vez completado el proceso de tratamiento, el agua tratada puede ser liberada en cuerpos de agua superficiales, como ríos o lagos, o utilizada para riego agrícola o aplicaciones industriales, siempre cumpliendo con los requisitos legales y ambientales establecidos.

2.1.2. Función de una planta de tratamiento de aguas residuales

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR – es empleada para realizar la limpieza del agua usada y las aguas residuales para que puedan ser devueltas de forma segura y sin contaminación a nuestro medio ambiente.

Evitando de esta manera la contaminación de nuestras vertientes de aguas naturales, por ende, evitando la propagación de enfermedades causadas por las aguas contaminadas.

- Eliminar los sólidos, desde plásticos, trapos y vísceras hasta arena y partículas más pequeñas que se encuentran en las aguas residuales.
- Reducir la materia orgánica y los contaminantes – bacterias útiles y otros microorganismos naturales que consumen materia orgánica en las aguas residuales y que luego se separan del agua.
- Restaurar el oxígeno – el proceso de tratamiento asegura que el agua puesta de nuevo en nuestros ríos o lagos tiene suficiente oxígeno para soportar la vida.

Figura 1.

Planta de tratamiento de aguas residuales



Nota. Ejemplo de diseño de una PTAR. Obtenido de HLCSISTEMAS. (2019). *¿Cómo construir una planta de tratamiento de aguas residuales?* <https://www.hlcsac.com/noticias/construir-planta-tratamiento-aguas-residuales/>, consultado el 10 de febrero de 2023. De dominio público.

2.2. Composición de las aguas residuales

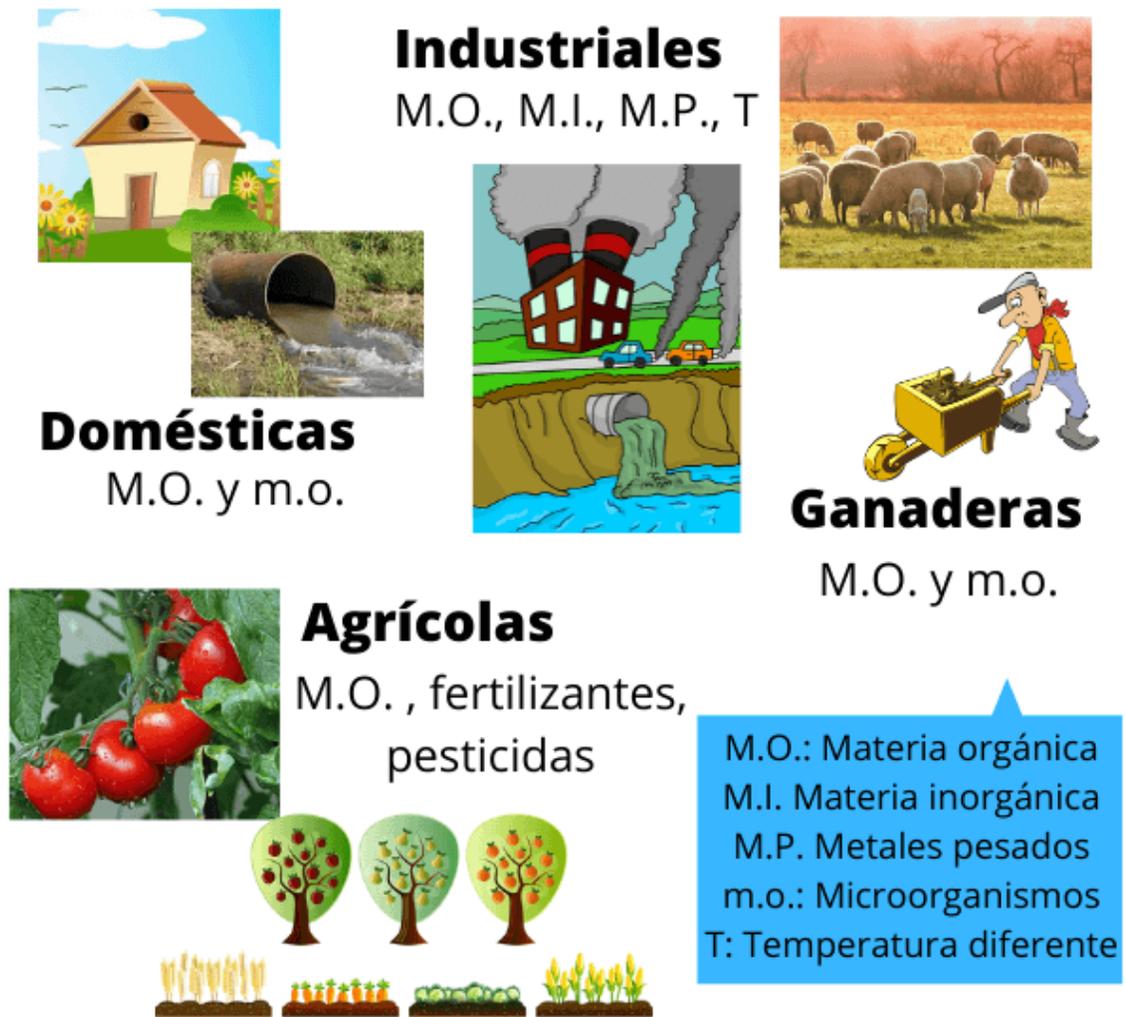
Las aguas residuales son una mezcla de residuos sólidos y líquidos de diferentes naturalezas, de acuerdo a su origen, se componen según el tipo de comunidad y sistema de recolección, dentro de ellos se encuentran:

- Aguas residuales domesticas las cuales son provenientes de actividades con fines higiénicos, entre estas se encuentran: sanitarios, lavanderías, cocinas, entre otros.
- Aguas residuales comerciales las cuales son el resultado de las actividades comerciales, por ejemplo, oficinas, restaurantes.
- Aguas residuales industriales son todas aquellas que son desechadas luego de un proceso industrial.
- Aguas residuales agrícolas estas son producidas por la producción ganadera o procesamiento de productos agrícolas.
- Aguas de infiltración y conexiones ilícitas son todas aquellas en las que debido a alguna fisura en la tubería puedan ingresar a la misma agua o fluidos del suelo. Además, las conexiones se refieren si en algún caso en una vivienda se conecta voluntaria o involuntariamente alguna conducción de agua de lluvia.

La cantidad y calidad de las aguas residuales se determina por diversos factores. No todos los humanos o empresas generan efluentes con características similares, ni en las mismas cantidades. Sin embargo, las aguas residuales domésticas, generalmente, son más homogéneas que las industriales, dependiendo de la calidad y estilo de vida de las personas o procesos que las generan.

Figura 2.

Composición de las aguas residuales



Lacontaminacion.org

Nota. Tipos de aguas residuales según su fuente de generación. Obtenido de C. Pire (2019). *Las aguas residuales: tipos y características.* (<https://lacontaminacion.org/aguas-residuales/>), consultado el 10 de febrero de 2023. De dominio público.

Básicamente los constituyentes dependen de la población, por tanto, es precisamente de esta manera desechada el agua de abastecimiento, posterior al uso y de esta manera ocurre la contaminación en la que incurre la transformación del agua potable en aguas residuales.

El volumen como los porcentajes de las sustancias que se contengan, varían con base en el origen de las aguas, costumbres y forma de vida de los humanos. Sin embargo, en la mayor parte del agua y en un porcentaje muy pequeño (0,1 %) se encuentran los sólidos, sean estos disueltos o suspendidos, son los que representan el mayor inconveniente para el tratamiento y disposición de las aguas residuales.

2.2.1. Características de las aguas residuales

Como se mencionó anteriormente las aguas residuales contienen un 0,1 por ciento de sólidos. Este porcentaje el que conlleva al análisis de las aguas, pues en él se encuentran las características que tiene el agua residual de una población.

Las características de las aguas residuales o aguas negras están asociadas a sus propiedades físicas, químicas y biológicas, entre las que resaltan:

- Características físicas: color, presencia de olores, sólidos y temperatura.
- Características químicas: proteínas, carbohidratos, grasas y aceites, compuestos orgánicos volátiles, pesticidas, metales pesados, nutrientes, pH, gases disueltos (sulfuro de hidrógeno, metano, oxígeno).
- Características biológicas: animales, plantas, microorganismos (bacterias, hongos) y virus.

Tabla 1.

Características de las aguas residuales

Tipo de agua residual	Olor	Apariencia
Fresca	Olor a moho (razonablemente soportable)	Tonalidad grisácea
Séptica	Olor a huevo podrido (insoporable y atribuido a la formación de sulfuro de hidrogeno)	Tonalidad de gris a negra
Mezclada con influentes industriales	Olor a productos descompuestos, productos rancios, materia fecal o excretas, entre otros)	Tonalidad variada con predominación de coloración de productos utilizados en la industria

Nota. Las aguas residuales se definen según su olor y apariencia. Elaboración propia, realizado con Word.

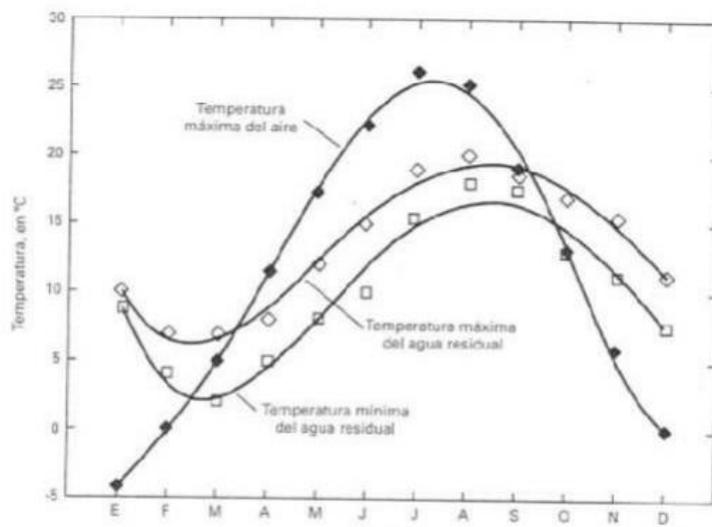
2.2.2. Propiedades físicas

Las aguas residuales son una mezcla compleja de diferentes sustancias y materiales que se generan como resultado del uso humano, industrial y comercial del agua. Sus propiedades físicas pueden variar ampliamente según su origen y composición, pero en general, presentan algunas características físicas comunes. A continuación, se describen algunas de las propiedades físicas más relevantes de las aguas residuales:

- Olor: el olor del agua residual suele ser desagradable debido a la presencia de materia orgánica en descomposición y sustancias químicas volátiles. El olor puede variar desde fétido hasta sulfuroso.
- Color: las aguas residuales pueden tener una amplia gama de colores, desde tonos claros y amarillos hasta oscuros y marrones, dependiendo de los contaminantes y las sustancias disueltas presentes en el agua.

- Turbidez: la turbidez se refiere a la cantidad de sólidos en suspensión en el agua residual, lo que afecta su claridad visual. Aguas residuales con alta turbidez pueden tener un aspecto opaco o turbio.
- Densidad: la densidad del agua residual también puede variar en función de la concentración de sólidos y otras sustancias disueltas. En general, las aguas residuales tienen una densidad mayor que la del agua pura debido a su contenido de solutos.
- Temperatura: la temperatura de las aguas residuales puede fluctuar según su origen y el ambiente donde se generan. En áreas industriales, las aguas residuales pueden tener temperaturas más altas debido a los procesos de enfriamiento industrial, mientras que, en áreas urbanas, tienden a reflejar la temperatura ambiente.

Figura 3.
Temperatura



Nota. Variaciones mensuales típicas de la temperatura del agua residual. Obtenido de METCALF & EDDY, INC. (1995). *Ingeniería de aguas residuales*. (p.71). McGraw-Hill, Inc.

- HP: el pH es una medida de la acidez o alcalinidad del agua. Las aguas residuales pueden tener valores de pH que varían entre ácidos y alcalinos, lo que influye en la solubilidad y estabilidad de los compuestos presentes.
- Conductividad Eléctrica: la conductividad eléctrica de las aguas residuales se relaciona con la concentración de iones disueltos, como sales y minerales. Aguas residuales con alta concentración de sales y minerales presentarán una mayor conductividad eléctrica.
- Transmitancia: es una propiedad por medio de la cual el agua residual puede ser capaz de transmitir o absorber la luz de una longitud de onda específica. Esta medida sirve para conocer si puede ser posible la desinfección por medio de radiación UV.

Es importante tener en cuenta que las propiedades físicas de las aguas residuales pueden cambiar significativamente dependiendo de la fuente de origen, las actividades humanas asociadas y los procesos industriales involucrados. Por esta razón, el tratamiento adecuado de las aguas residuales es esencial para eliminar o reducir los contaminantes presentes y asegurar su adecuada disposición o reutilización, evitando así posibles impactos negativos en el medio ambiente y la salud pública.

2.2.3. Propiedades químicas

El estudio de las características químicas de las aguas residuales se aborda en la materia orgánica, la medición del contenido orgánico, la materia inorgánica y los gases que se encuentran presentes en las aguas residuales.

Sus propiedades químicas pueden variar ampliamente según su origen y composición. A continuación, se describen algunas de las propiedades químicas más comunes que se encuentran en las aguas residuales:

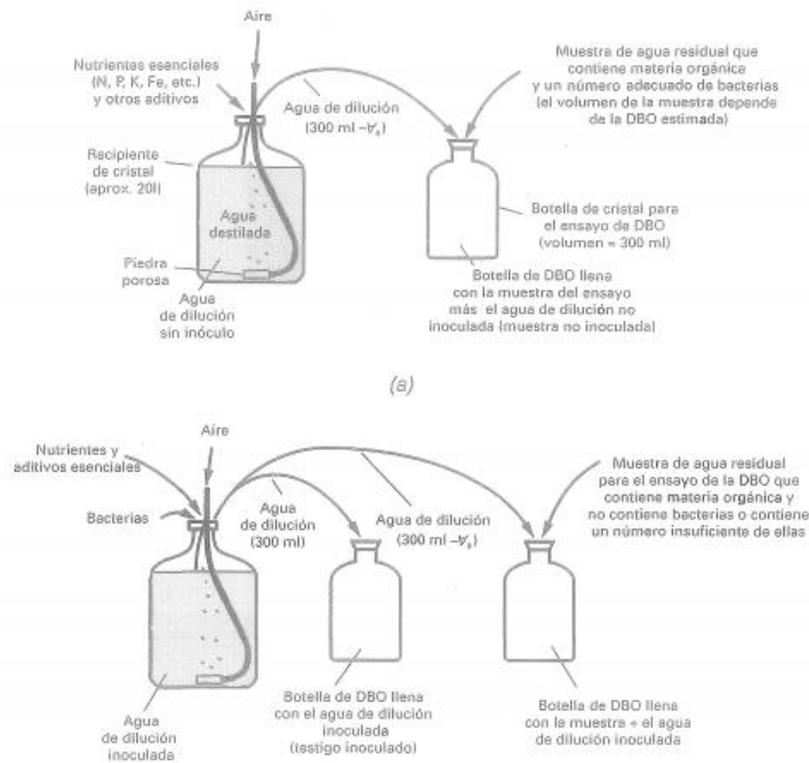
- **Materia orgánica:** las aguas residuales contienen una variedad de materia orgánica disuelta y en suspensión, como carbohidratos, grasas, proteínas, aceites y otros compuestos orgánicos. Estos pueden ser de origen humano, residuos de alimentos, productos de limpieza o desechos industriales.
- **Nutrientes:** las aguas residuales también pueden contener nutrientes como nitrógeno y fósforo, que provienen de productos químicos utilizados en fertilizantes, detergentes y otros productos. Estos nutrientes pueden provocar problemas ambientales, como la eutrofización de cuerpos de agua, si no se eliminan adecuadamente.
- **Sustancias Inorgánicas:** las aguas residuales pueden contener una variedad de sustancias inorgánicas, como sales minerales, metales pesados, ácidos y bases. Estas sustancias pueden provenir de procesos industriales, actividades agrícolas o desechos domésticos.
- **Contaminantes Químicos:** las aguas residuales pueden contener contaminantes químicos diversos, como productos químicos tóxicos, disolventes, pesticidas y otras sustancias peligrosas que ingresan al sistema de alcantarillado desde industrias o actividades humanas.
- **Oxígeno Disuelto:** el contenido de oxígeno disuelto en las aguas residuales es importante ya que afecta la capacidad de los organismos acuáticos para sobrevivir. El agotamiento del oxígeno disuelto puede ocurrir debido a la descomposición de la materia orgánica, lo que puede llevar a condiciones de baja oxigenación en los cuerpos receptores de las aguas residuales tratadas.
- **Contaminantes Emergentes:** las aguas residuales también pueden contener contaminantes emergentes, que son sustancias químicas nuevas o poco conocidas, como productos farmacéuticos, productos de cuidado personal y productos de uso industrial, que pueden tener efectos potenciales en el medio ambiente y la salud humana.

- Medida de contenido orgánico: la medida de contenido orgánico de las aguas residuales está sujeta a distintas interpretaciones ya que no contiene ningún parámetro analítico definido. Según la técnica a implementar se pueden cuantificar más o menos cantidad de compuestos que conforman el contenido de la materia orgánica I del agua residual. La medida de materia orgánica se puede llevar a cabo, fundamentalmente, por las conocidas técnicas de la DQO, DBO5, Absorbancia-UV o incluso el COT (o COD).

Se pueden utilizar distintos métodos para analizar la materia orgánica entre los cuales podemos encontrar los métodos volumétricos, colorimétricos y gravimétricos.

El contenido de materia orgánica representa variaciones cualitativas y cuantitativas según sea su naturaleza, consiste en compuestos orgánicos, los cuales representan distintos grados de resistencia a la oxidación y descomposición tanto en los reactivos oxidantes como en las reacciones químicas.

Figura 4.
Medida de contenido orgánico



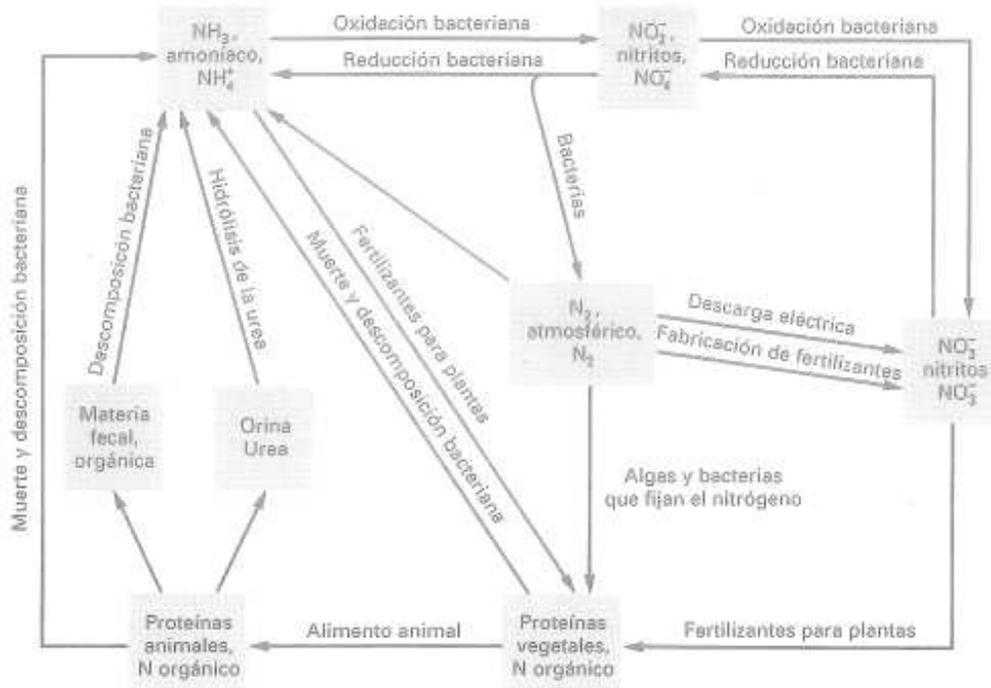
Nota. Procedimiento de preparación de botellas para el ensayo de la DBO. Obtenido de METCALF & EDDY, INC. (1995). *Ingeniería de aguas residuales*. (p.82). McGraw-Hill, Inc.

- **Materia inorgánica:** la materia orgánica en el agua está compuesta por miles de componentes: partículas macroscópicas, coloides o macromoléculas disueltas.

Caracterizar la materia orgánica disuelta en el agua para abastecimiento humano es esencial para establecer sus condiciones físicas y los índices de contaminación del agua. La materia orgánica disuelta en 49 muestras de agua subterránea cercanas a la zona industrial Toluca-Lerma (Valle de

Toluca, Toluca, Estado de México) fueron caracterizadas a través de la demanda química de oxígeno (DQO) y por espectroscopia de fluorescencia 3D. De acuerdo con los datos, el 100 % de las muestras alcanzó valores de DQO entre 1 y 35 mg/L. Se asume la posible interferencia de material inorgánico oxidable sobre las medidas de DQO. Aproximadamente el 60 % de las muestras de fluorescencia mostró contaminación por materia orgánica de origen antrópico.

Figura 5.
Materia inorgánica



Nota. Ciclo del nitrógeno. Obtenido de METCALF & EDDY, INC. (1995). *Ingeniería de aguas residuales.* (p.99). McGraw-Hill, Inc.

- Gases: los gases que generan mayor preocupación en las plantas de tratamiento de aguas residuales son: metano, sulfuro de hidrógeno y oxígeno (o la falta de este).

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno (N₂), el oxígeno (O₂), el dióxido de carbono (CO₂), el sulfuro de hidrógeno (H₂S), el amoníaco (NH₃), y el metano (CH₄). Los tres primeros son gases de común presencia en la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Si bien no se encuentran en el agua residual sin tratar, existen también otros gases. Tal es el caso, por ejemplo, del cloro (Cl₂) y el ozono (O₃) (desinfección y control de olores), y los óxidos de azufre y nitrógeno (procesos de combustión). En las aguas residuales crudas, el amoníaco se encontrará como ion amonio en la mayoría de los casos.

Es importante destacar que la composición química de las aguas residuales puede variar significativamente dependiendo de la fuente y la mezcla de actividades humanas e industriales involucradas. Por esta razón, el tratamiento adecuado de las aguas residuales es esencial para eliminar o reducir los contaminantes presentes y asegurar su adecuada disposición o reutilización, minimizando así los impactos negativos en el medio ambiente y la salud pública.

2.2.4. Propiedades biológicas

Este análisis es de fundamental importancia, pues las enfermedades causadas por los microorganismos que puedan tener las aguas residuales son

de riesgo para el ser humano. En este rango se encuentran los microorganismos patógenos como las bacterias, virus, protozoos, helmintos entre otros.

Es necesario mencionar que estos necesitan ciertos parámetros para sobrevivir y es por ello el tratamiento de las aguas residuales, en donde se alteraran las condiciones para que estos patógenos no sobrevivan.

Los microorganismos requieren para su funcionamiento normal de nutrientes, carbono y energía, así como oxígeno, ya sea la presencia o ausencia de este. La temperatura y acidez (PH) son también factores de importancia para la sobrevivencia y desarrollo de las poblaciones bacterianas.

- Protozoos: existen varios tipos de protozoarios, dentro de los cuales por ejemplo el *Cryptosporidium parvum* y la *Giardia lamblia* son residentes del intestino grueso, que al ser expulsados y sobrevivir en las aguas residuales pueden llegar nuevamente a la ingestión humana. Los alimentos, moscas u otros son causantes de enfermedades tales como *balantidiasis*, *criptosporidiasis*, *ciclosporiasis*, amebiasis y giardiasis.

Los síntomas de estas enfermedades son diarrea, dolor de estómago, náuseas, indigestión, vómitos, abscesos en el hígado e intestino delgado y disentería. A pesar de ello algunos protozoos son utilizados para que se alimenten de bacterias y materia orgánica particulada, como un proceso de tratamiento biológico en las aguas residuales.

- Rotíferos: estos se encuentran en las aguas residuales aeróbicas, consumen bacterias floculantes y disgregadas, así como algunas de materia orgánica. La existencia de ellas en las aguas es un indicio de eficiencia en los procesos de purificación biológica.

- Bacterias: estas pueden ser de diversas clases, aunque existen tanto inofensivas como patógenas. Las primeras viven en el tracto intestinal del ser humano sin causar daño y frecuentemente son excretadas.

Así mismo, las patógenas son expulsadas por alguna persona infectada, la cual contamina de esta manera las aguas residuales.

Las enfermedades que algunas bacterias provocan son: gastroenteritis, legionelosis, leptospirosis, fiebre tifoidea, salmonelosis, shigelosis, cólera y yersinosis. Las bacterias pueden ser transmitidas por el agua, ya sea en su consumo o contacto, como lo pueden ser las piscinas o ríos contaminados con aguas residuales. Aunque, como se mencionó algunas bacterias son patógenas, otras pueden ser utilizadas para el tratamiento de las aguas residuales.

- Virus: son parásitos intracelulares forzados que se reproducen solo dentro de una célula huésped.

Estos también son expulsados por el ser humano infectado, los síntomas de estos son: ictericia, fiebre y vómitos. Son causantes de enfermedades respiratorias, gastroenteritis, anomalías cardíacas, meningitis, hepatitis infecciosa e infecciones en los ojos.

Existen más de 100 clases diferentes de virus que se reproducen en el tracto intestinal de sus huéspedes, de entre ellos los más importantes son: el enterovirus, virus Norwalk, rotavirus, adenovirus, virus de hepatitis A, calicivirus y reo virus.

- Helminths: algunos de estos son los gusanos, gusano intestinal alargado, infestación de gusanos intestinales, lombriz de ovejas, tenia enana, tenia de cerdo o buey; mismos que dependiendo de su estado (huevo, larva o adulto) pueden sobrevivir a condiciones adversas, además de algunos tratamientos usuales de desinfección.

Sin embargo, pueden ser eliminados por otros procesos tales como: lagunas de estabilización, sedimentación y filtración. Las enfermedades comunes debido a los helmintos son: teniasis, ascariasis, fascioliasis, trichuriasis, hymenolepiasis y enterobiasis.

- Algas: estas pueden presentar algunos inconvenientes en las aguas superficiales, pero resultan eficaces para algunos tratamientos biológicos, principalmente en las lagunas de estabilización debido a su forma de producción del oxígeno. Además de dar un aspecto natural.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales suelen ser ricas en nutrientes biológicos, la descarga del efluente en los lagos provoca su enriquecimiento.

Tabla 2.*Propiedades biológicas*

Organismo	Enfermedad	Comentario
Bacteria		
<i>Escherichia coli</i> (enteropatógena)	Gastroenteritis	Diarrea
<i>Legionella pneumophila</i>	Legionelosis	Enfermedades respiratorias agudas
<i>Leptospira</i> (150 esp.)	Leptospirosis	Leptospirosis, fiebre (enfermedad de Weil)
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea	Fiebre alta, diarrea, úlceras en el intestino delgado
<i>Salmonella</i> (~1.700 esp.)	Salmonelosis	Envenenamiento de alimentos
<i>Shigella</i> (4 esp.)	Shigelosis	Disentería bacilar
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	Diarreas extremadamente fuertes, deshidratación
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Yersinosis	Diarrea
Virus		
Adenovirus (31 tipos)	Enfermedades respiratorias	
Enterovirus (67 tipos, p.e. polio, eco y virus Coxsackie)	Gastroenteritis, anomalías cardíacas, meningitis	
Hepatitis A	Hepatitis infecciosas	Leptospirosis, fiebre
Agente Norwalk	Gastroenteritis	Vómitos
Reovirus	Gastroenteritis	
Rotavirus	Gastroenteritis	
Protozoos		
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis	Diarrea, disentería
<i>Cryptosporidium</i>	Criptosporidiosis	Diarrea
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (disentería amébrica)	Diarreas prolongadas con sangre, absesos en el hígado y en el intestino delgado
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis	Diarrea, náuseas, indigestión
Helmintos^b		
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis	Infestación de gusanos
<i>Enterobius vericularis</i>	Enterobiasis	Gusanos
<i>Fasciola hepatica</i>	Fascioliasis	Gusanos (tercera)
<i>Hymenolepis nana</i>	Hymenlepiasis	Tenia enana
<i>Taenia saginata</i>	Teniasis	Tenia (buey)
<i>T. solium</i>	Teniasis	Tenia (cerdo)
<i>Trichuris trichiura</i>	Trichuriasis	Gusanos

^a Adaptado parcialmente de la bibliografía [3, 19].

^b Los helmintos citados son aquellos de implantación a nivel mundial.

Nota. Agentes infecciosos potencialmente presentes en el agua residual doméstica bruta. Obtenido de METCALF & EDDY, INC. (1995). *Ingeniería de aguas residuales*. (p.107). McGraw-Hill, Inc.

2.3. Tratamiento del agua residual

Las aguas residuales son producto de la utilización de agua potable por el ser humano, para diferentes usos de la vida diaria, tanto en hogares o a nivel industrial, lo que produce que esta sufra de alteraciones en su composición produciendo contaminación. Por medio del tratamiento de aguas residuales es posible eliminar los contaminantes presentes en el agua a nivel físico, biológico y químico.

El tratamiento de aguas residuales puede involucrar varios pasos, dependiendo del nivel de purificación que se pretenda proporcionar al agua. El procesamiento del líquido residual puede ser tan simple como un proceso de asentamiento y filtrado, hasta procesos más complejos como la purificación total del agua. El método elegido dependerá en gran medida del acceso que se tenga a plantas de tratamiento.

Con la finalidad de aprovechar el mayor consumo de agua limpia, se han desarrollado increíbles sistemas de tratamientos de aguas residuales. El ser humano ha influido de manera negativa en la contaminación del agua, de allí la necesidad en mejorar y construir plantas de tratamientos que eliminen al mayor grado la contaminación de ellas.

El concepto de tratamiento de agua residual se refiere a una serie de procesos químicos, físicos y biológicos que se le suministra al agua residual y que al procesarse logra eliminar todos los contaminantes que son desprendidos por el uso diario de las personas, las empresas, los comercios y la lluvia.

El beneficio del tratamiento del agua residual es, poder producir en gran medida agua efluente del tratado o agua limpia que sea reutilizable y que esté convenientemente disponible para el rehúso.

Figura 6.

Tratamiento de agua residual



Nota. Ejemplo de PTAR. Obtenido de F. Arregui (2022). *Importancia del tratamiento de aguas residuales.* (<https://contyquim.com/blog/importancia-del-tratamiento-de-aguas-residuales>), consultado el 12 de mayo de 2023. De dominio público.

El tratamiento de aguas residuales es importante para conservar el ciclo del agua, el medio ambiente y las vertientes naturales, de este modo nos permiten un mayor acceso al agua potable, evitando los problemas de salud por la exposición a los componentes de las aguas residuales, reduce los niveles de contaminación, ayuda a mantener un balance ecológico, protege la biosfera y el ambiente.

2.3.1. Sistemas de tratamiento

Las obras de tratamiento comúnmente utilizadas en Guatemala son convencionales. Las expuestas son solo algunas de las soluciones brindadas en un nivel macro, pues es de recordar que el objetivo del presente trabajo está enfocado hacia aguas residuales propiamente ya sean domesticas o industriales.

Por ello no se harán expuestas otras muchas soluciones que requieren, ya sea un mayor tamaño tanto de la obra como del terreno a utilizar, así como sistemas en los cuales los costos son elevados y que generalmente son utilizados por industrias, debido a las sustancias que estas vierten en las aguas.

Cabe mencionar que el sistema de tratamiento cuenta con tres tipos de desglose de obras, los cuales llegan a conformar un sistema de tratamiento de drenaje.

- Obras de captación
- Obras de tratamiento
- Obras de descarga

Las obras de tratamiento son elementos que por separado realizan una actividad de limpieza a las aguas residuales.

Los procesos de tratamiento pueden dividirse en operaciones físicas, biológicas o químicas. Estas basadas en el tipo de remoción a utilizar.

Tabla 3.*Sistema de tratamiento*

Tipos de tratamiento	Procesos	Método	Características
Tratamiento físico	<ul style="list-style-type: none"> • Sedimentación • Flotación • Filtración • Evaporación • Absorción por carbón activado • Des absorción • Extracción por líquido 	Con este método se aprovecha la acción de la fuerza de gravedad, los movimientos brownianos, viscosidad, densidad, temperatura entre otros parámetros.	Son aquellos en los cuales no se incurre con ninguna acción de algún compuesto químico o de origen biológico.
Tratamiento biológico	<ul style="list-style-type: none"> • Lodos activados • Lagunas aeróbicas • Lagunas anaeróbicas • Biodiscos • Filtros bacterianos 	Este tipo de método consiste en la aireación durante un periodo de tiempo para reducir el contenido de materia orgánica, formándose a su vez un lodo flocúleno.	Son aquellos en los cuales se utilizan microorganismos que favorecen a la eliminación de materia que es indeseable.
Tratamiento químico	<ul style="list-style-type: none"> • (Coagulación-floculación) • Precipitación química • Reacción de oxidación-reducción 	En este método se utilizan especies químicas que garantizan la purificación del agua residual.	Este tratamiento se utiliza cuando se requiere una mayor efectividad en la limpieza del agua.

Nota. Tipos de tratamiento, procesos, métodos y características. Elaboración propia, realizado con Word.

Los tratamientos físicos, químicos y biológicos se pueden dividir, como también relaciona mediante niveles o etapas que usualmente están ligados con el tipo de tratamiento.

2.3.2. Tratamiento físico

El tratamiento físico de aguas residuales es una etapa importante en el proceso general de tratamiento para eliminar sólidos y partículas suspendidas presentes en el agua. Este tratamiento se enfoca en procesos físicos que facilitan

la separación de los contaminantes sólidos del agua, dejándola más clara y reduciendo su carga de materia en suspensión. Algunos de los métodos físicos más comunes utilizados en el tratamiento de aguas residuales son los siguientes:

- Cribado: es la primera etapa del tratamiento físico y consiste en pasar el agua residual a través de una serie de rejillas o tamices que retienen objetos grandes, como palos, plásticos y otros desechos sólidos, evitando que ingresen al sistema de tratamiento.
- Desarenado: en esta etapa, se utiliza un tanque de sedimentación para permitir que las partículas más pesadas, como arena, gravilla y otras partículas inorgánicas, se asienten en el fondo del tanque y se eliminen del agua.
- Desengrasado: se emplea para separar las grasas y aceites flotantes presentes en el agua residual. En un tanque de desengrasado, las grasas y aceites se acumulan en la superficie y se retiran para su posterior tratamiento o disposición.
- Sedimentación primaria: esta es otra etapa de sedimentación, pero en esta ocasión, se realiza para eliminar sólidos suspendidos más finos que no fueron capturados en las etapas anteriores. En un tanque de sedimentación primaria, las partículas sólidas se asientan en el fondo y forman lodos, que posteriormente se extraen para su tratamiento adicional.
- Flotación por aire disuelto (DAF): este método utiliza microburbujas de aire para hacer que las partículas suspendidas se adhieran a ellas y floten en la superficie, donde se retiran como lodos flotantes.

Es importante tener en cuenta que el tratamiento físico generalmente se complementa con otras etapas de tratamiento, como el tratamiento biológico y químico, para lograr una depuración completa del agua residual. La combinación de estos procesos es esencial para eliminar una amplia gama de contaminantes

y lograr que el agua residual cumpla con los estándares de calidad antes de su liberación al medio ambiente o su reutilización para otros fines.

2.3.3. Tratamiento biológico

El tratamiento biológico de aguas residuales es una etapa esencial en el proceso de tratamiento que se enfoca en la eliminación de la materia orgánica disuelta y en suspensión mediante la actividad de microorganismos. Estos microorganismos, principalmente bacterias, descomponen la materia orgánica presente en el agua residual en productos más estables, como dióxido de carbono, agua y nuevos microorganismos. Este proceso biológico es conocido como "biodegradación" y es una parte clave en la purificación del agua residual. A continuación, se describen algunos de los métodos más comunes utilizados en el tratamiento biológico de aguas residuales:

- **Lodos activados:** es uno de los métodos biológicos más utilizados. En este proceso, el agua residual se mezcla con lodos activados, que son un conjunto de microorganismos aerobios (requieren oxígeno) en un tanque de aireación. Los microorganismos se alimentan de la materia orgánica presente en el agua residual, y una vez que han metabolizado y descompuesto los contaminantes, los lodos se separan del agua mediante sedimentación y se recirculan nuevamente al tanque de aireación para seguir tratando el agua.
- **Reactores biológicos aerobios y anaerobios:** estos reactores son utilizados para el tratamiento de aguas residuales en condiciones aerobias (con oxígeno) o anaerobias (sin oxígeno), según el tipo de microorganismos y las reacciones biológicas que se deseen promover. En el caso de los reactores aerobios, los microorganismos descomponen la materia orgánica en presencia de oxígeno, mientras que, en los reactores

anaerobios, la degradación se realiza en ausencia de oxígeno y produce biogás como subproducto.

- Reactores biológicos aerobios y anaerobios: estos reactores son utilizados para el tratamiento de aguas residuales en condiciones aerobias (con oxígeno) o anaerobias (sin oxígeno), según el tipo de microorganismos y las reacciones biológicas que se deseen promover. En el caso de los reactores aerobios, los microorganismos descomponen la materia orgánica en presencia de oxígeno, mientras que, en los reactores anaerobios, la degradación se realiza en ausencia de oxígeno y produce biogás como subproducto.
- Humedales artificiales: los humedales artificiales, también conocidos como "humedales construidos", utilizan la actividad biológica de plantas acuáticas y microorganismos para tratar el agua residual. El agua pasa a través de la zona de raíces de las plantas, donde se produce la biodegradación de contaminantes, y el sistema actúa como un filtro natural para limpiar el agua.

El tratamiento biológico es una etapa clave para lograr una depuración efectiva y sostenible de las aguas residuales. Complementa otras etapas del proceso de tratamiento y ayuda a reducir la carga orgánica y la demanda de oxígeno en el agua, lo que contribuye a la protección del medio ambiente y la salud pública.

2.3.4. Tratamiento químico

El tratamiento químico de aguas residuales es una etapa importante en el proceso de tratamiento que se enfoca en la eliminación de contaminantes específicos mediante reacciones químicas. Esta etapa complementa los tratamientos físicos y biológicos para lograr una depuración más completa del

agua residual. Algunos de los métodos más comunes utilizados en el tratamiento químico de aguas residuales son los siguientes:

- **Coagulación y floculación:** en esta etapa, se agregan productos químicos coagulantes, como sulfato de aluminio o cloruro férrico, al agua residual. Estos productos químicos forman coágulos que atrapan partículas y sólidos en suspensión en el agua. Luego, mediante la floculación, se agregan productos químicos floculantes, como polímeros, que aglutinan los coágulos para formar flóculos más grandes y pesados, lo que facilita su sedimentación y separación del agua.
- **Neutralización:** algunas aguas residuales pueden ser ácidas o alcalinas debido a las actividades industriales o domésticas. En la etapa de neutralización, se agregan productos químicos para ajustar el pH del agua a un valor cercano a la neutralidad, lo que mejora la eficiencia de los procesos de tratamiento posteriores.
- **Precipitación química:** se utiliza para eliminar compuestos específicos, como fosfatos y metales pesados, que pueden ser contaminantes importantes en el agua residual. Se agregan productos químicos que reaccionan con estos compuestos para formar precipitados sólidos que pueden separarse del agua.
- **Oxidación química:** en este proceso, se utilizan agentes oxidantes, como el cloro o el peróxido de hidrógeno, para descomponer compuestos orgánicos difíciles de biodegradar en productos más estables y menos tóxicos.
- **Adsorción:** se emplean adsorbentes, como carbón activado o zeolitas, que tienen una alta capacidad de adsorber compuestos orgánicos y metales pesados presentes en el agua residual, lo que ayuda a purificar el agua.

El tratamiento químico es útil para eliminar contaminantes específicos que pueden no ser eliminados por completo con los métodos físicos y biológicos. Además, puede mejorar la eficiencia general del tratamiento y garantizar que el agua tratada cumpla con los estándares de calidad requeridos antes de su liberación al medio ambiente o su reutilización. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el uso de productos químicos en el tratamiento de aguas residuales debe realizarse con cuidado y siguiendo las regulaciones ambientales para evitar posibles impactos negativos en el medio ambiente y la salud pública.

2.4. Tipos de sedimentadores

La elección de sedimentadores en Guatemala, al igual que en cualquier otro lugar, dependerá de las necesidades específicas de tratamiento de aguas y las características de las aguas a tratar. En Guatemala, como en muchos otros países, los sistemas de tratamiento de aguas pueden variar en función de la escala y la aplicación.

Los sedimentadores son dispositivos utilizados en el tratamiento de aguas residuales y en procesos industriales para separar partículas sólidas suspendidas del agua mediante sedimentación. Hay varios tipos de sedimentadores, cada uno diseñado para satisfacer necesidades específicas en función de la aplicación y las características del agua a tratar. Algunos de los tipos de sedimentadores más comunes son:

2.4.1. Sedimentadores de flujo horizontal

Los sedimentadores de flujo horizontal son comunes en plantas de tratamiento de aguas residuales y se utilizan para permitir que las partículas

sólidas se sedimenten en el fondo del tanque mientras el agua fluye horizontalmente.

Algunos aspectos a considerar en la implementación de sedimentadores de flujo horizontal en Guatemala podrían incluir:

- Tamaño y escala: dependiendo de la escala del proyecto y la cantidad de agua a tratar, se seleccionará el tamaño adecuado del sedimentador.
- Tipo de suelo: las características del suelo en la ubicación del proyecto pueden influir en el diseño y la eficacia del sedimentador.
- Carga de sólidos: es esencial tener en cuenta la carga de sólidos presentes en el agua a tratar para dimensionar correctamente el sedimentador y garantizar una sedimentación efectiva.
- Normativas locales: cumplir con las regulaciones y normativas ambientales locales es crucial. Las autoridades guatemaltecas pueden tener requisitos específicos para la implementación de sistemas de tratamiento de aguas.
- Mantenimiento: planificar un programa de mantenimiento regular es fundamental para garantizar el rendimiento a largo plazo del sedimentador.
- Asesoramiento profesional: contar con la asesoría de ingenieros y expertos locales en tratamiento de aguas puede ser beneficioso para diseñar un sistema eficiente y que cumpla con los estándares locales.

La implementación de sedimentadores de flujo horizontal en Guatemala debería llevarse a cabo considerando estos factores específicos para garantizar la eficacia del tratamiento de aguas y cumplir con las normativas ambientales y de salud locales. Es posible que los proyectos de tratamiento de aguas sean gestionados por entidades gubernamentales, empresas privadas o instituciones especializadas, dependiendo de la escala y la naturaleza del proyecto.

La forma específica del sedimentador puede variar dependiendo del diseño y las necesidades del proyecto. A continuación, se mencionan algunas formas comunes de sedimentadores de flujo horizontal:

- Rectangulares: los sedimentadores rectangulares son tanques alargados con secciones rectangulares. Estos pueden ser de flujo horizontal, donde el agua entra en un extremo y fluye hacia el otro extremo, permitiendo la sedimentación de partículas.
- Canales abiertos: en algunas aplicaciones, especialmente en tratamientos de aguas pluviales o en instalaciones más grandes, se pueden utilizar canales abiertos de flujo horizontal. Estos son canales alargados donde el agua fluye horizontalmente, permitiendo la sedimentación.
- Lentas de arena: las lentas de arena son un tipo de sedimentador de flujo horizontal utilizado específicamente para la remoción de partículas gruesas, como arena, del agua. Estos sedimentadores suelen tener una forma rectangular o cuadrada.
- Zanjas de sedimentación: las zanjas de sedimentación son estructuras lineales con un flujo horizontal. Son comúnmente utilizadas en la gestión del agua de escorrentía y en aplicaciones agrícolas.
- Estanques de sedimentación: en algunos casos, especialmente en proyectos más grandes, se pueden utilizar estanques de sedimentación con flujo horizontal. Estos estanques pueden tener formas variadas, como rectangulares, cuadradas o incluso irregulares.
- Canal Parshall: el canal Parshall es un tipo específico de estructura de flujo horizontal utilizada para medir el caudal en canales abiertos, pero también puede proporcionar cierta capacidad de sedimentación.
- Inclínados o inclinados hacia arriba: algunos sedimentadores de flujo horizontal pueden tener una ligera inclinación hacia arriba a lo largo de su longitud para mejorar la sedimentación.

La elección de la forma del sedimentador dependerá de factores como el tipo y la cantidad de partículas a sedimentar, la carga de sólidos en el agua, y la eficiencia requerida en la clarificación del agua. Además, la topografía del sitio y el espacio disponible también influirán en la selección de la forma del sedimentador.

2.4.2. Sedimentadores de flujo vertical

Podrían ser implementados en instalaciones donde el agua fluye verticalmente a través del tanque, facilitando la sedimentación de partículas.

Algunos aspectos a considerar al implementar sedimentadores de flujo vertical podrían incluir:

- Carga de sólidos: evaluar la carga de sólidos en el agua a tratar para dimensionar adecuadamente el sedimentador y asegurar una eficiente sedimentación.
- Tipo de agua: considerar las características específicas del agua, como la presencia de contaminantes y partículas, para seleccionar el tipo de sedimentador más adecuado.
- Normativas locales: cumplir con las regulaciones y normativas ambientales y de salud locales es fundamental. Las autoridades guatemaltecas pueden tener requisitos específicos para el diseño y operación de sistemas de tratamiento de aguas.
- Mantenimiento: establecer un plan de mantenimiento regular para garantizar el rendimiento continuo del sedimentador a lo largo del tiempo.
- Asesoramiento técnico: contar con la asesoría de ingenieros y profesionales especializados en tratamiento de aguas puede ser esencial para el diseño e implementación exitosa del sistema.

- Topografía del terreno: la topografía del lugar donde se instalará el sedimentador también puede influir en el diseño y la eficiencia del sistema.

2.4.2.1. Características típicas de un sedimentador vertical

- Diseño cilíndrico o Cono-inferior: los sedimentadores verticales suelen tener un diseño cilíndrico o cono-inferior que permite la sedimentación de partículas en el fondo del tanque.
- Entrada y distribución del agua: cuentan con sistemas de entrada y distribución del agua que facilitan un flujo uniforme y controlado a través del tanque, maximizando la eficiencia de la sedimentación.
- Sistema de recolección de sólidos: incluyen un mecanismo de recolección de sólidos sedimentados en el fondo del tanque, que puede ser una tolva o un raspador para retirar los lodos acumulados.
- Baffles o Placas inclinadas: pueden incorporar baffles o placas inclinadas en el tanque para aumentar la distancia que las partículas deben recorrer, mejorando así la eficiencia de la sedimentación.
- Sistema de salida de agua clara: tienen un sistema para la salida del agua clarificada, que generalmente se encuentra en la parte superior del tanque.
- Floculación (en algunos casos): en algunos sedimentadores verticales, se puede utilizar floculación química para facilitar la aglutinación de partículas y mejorar la eficiencia del proceso.
- Desnatador (en algunos casos): en aplicaciones donde se busca eliminar aceites y grasas, se pueden incorporar desnatadores para capturar estos contaminantes en la superficie del agua.
- Control de niveles: pueden incluir sistemas de control de niveles para garantizar un funcionamiento eficiente y evitar desbordamientos.

- Materiales de construcción: los sedimentadores suelen construirse con materiales resistentes a la corrosión, como acero inoxidable o plásticos reforzados con fibra de vidrio.
- Mantenimiento: se diseñan con acceso para facilitar las labores de mantenimiento y limpieza.
- Tamaño y capacidad: varían en tamaño y capacidad para adaptarse a diferentes aplicaciones y volúmenes de agua a tratar.

Cabe destacar que las características específicas pueden variar según el diseño del fabricante y las necesidades particulares del proyecto. La selección del tipo de sedimentador y sus características dependerá de factores como la carga de sólidos, la calidad del agua de entrada y los objetivos de tratamiento.

Los sedimentadores de flujo vertical pueden ser de diversas formas, en las cuales tenemos las más comunes:

- Cilíndricos: los sedimentadores cilíndricos son tanques con forma de cilindro en los cuales el agua fluye verticalmente. Estos tanques pueden tener un diseño simple con una sección transversal circular.
- Cónicos: los sedimentadores cónicos tienen una sección transversal que se estrecha hacia abajo, formando un cono invertido. Este diseño facilita la sedimentación de las partículas hacia el fondo del tanque.
- Tubulares: los sedimentadores tubulares son estructuras alargadas con una sección transversal tubular. El agua fluye verticalmente a través de estos tubos, lo que facilita la sedimentación.
- Placas inclinadas: algunos sedimentadores de flujo vertical pueden tener placas inclinadas en su interior para aumentar la superficie de sedimentación y mejorar la eficiencia del proceso.

- Torres de sedimentación: en aplicaciones industriales, especialmente en el tratamiento de efluentes gaseosos, se pueden utilizar torres de sedimentación de flujo vertical para la eliminación de partículas en suspensión.
- Columnas empacadas: algunos sedimentadores utilizan columnas empacadas con material poroso o relleno para proporcionar una mayor superficie de contacto entre el agua y las partículas en suspensión.
- Canaletas verticales: en ciertos casos, se pueden utilizar canaletas verticales para facilitar el flujo vertical del agua y mejorar la sedimentación.
- Múltiples etapas: algunos sedimentadores de flujo vertical pueden tener múltiples etapas o compartimentos para mejorar la eficiencia y permitir un mayor tiempo de residencia del agua.
- Diseño de flujo ascendente: en un diseño de flujo ascendente, el agua fluye hacia arriba a través del sedimentador, permitiendo que las partículas más pesadas se sedimenten.
- Estructuras modulares: algunos sedimentadores pueden tener un diseño modular que permite la expansión o contracción según las necesidades del tratamiento.

La elección de la forma específica dependerá de factores como la carga de sólidos, la velocidad del flujo de agua, la eficiencia requerida y las limitaciones del espacio. Cada tipo de sedimentador tiene sus propias ventajas y desventajas, y la elección del diseño dependerá de las condiciones específicas del proyecto y los objetivos de tratamiento.

2.4.3. Sedimentadores de alta velocidad

Los sedimentadores de alta velocidad son dispositivos diseñados para acelerar el proceso de sedimentación, permitiendo que el agua fluya rápidamente

a través del tanque para lograr una separación más eficiente de las partículas sólidas. Estos sedimentadores son comúnmente utilizados en instalaciones donde se busca una clarificación rápida del agua.

Aquí algunas consideraciones:

- Carga de sólidos y volumen de agua: la capacidad del sedimentador de alta velocidad debe ser dimensionada de acuerdo con la carga de sólidos y el volumen de agua a tratar en el proyecto específico.
- Diseño y geometría del sedimentador: el diseño del sedimentador debe ser apropiado para garantizar una eficiente sedimentación a alta velocidad. Pueden tener formas específicas, como canales o tanques con configuraciones que favorezcan la rápida separación de sólidos.
- Entrada y distribución del agua: es importante contar con sistemas eficientes de entrada y distribución del agua para garantizar un flujo uniforme y controlado a través del sedimentador.
- Sistema de recolección de sólidos: el sistema de recolección de sólidos en un sedimentador de alta velocidad es crucial para asegurar una operación eficiente y la eliminación efectiva de las partículas sedimentadas. Estos sistemas están diseñados para recoger y retirar los sólidos que se acumulan en el fondo del sedimentador durante el proceso de clarificación del agua. Aquí hay algunas características comunes del sistema de recolección de sólidos en un sedimentador de alta velocidad:
 - Tolva de recolección: un componente fundamental es la tolva de recolección ubicada en la parte inferior del sedimentador. La tolva está diseñada para acumular los sólidos sedimentados.

- Sistema de raspado: puede incorporarse un sistema de raspado mecánico que se desplaza a lo largo del fondo de la tolva para recolectar los sólidos y dirigirlos hacia una abertura de descarga.
 - Abertura de descarga: en la parte inferior de la tolva, hay una abertura de descarga que permite la salida controlada de los sólidos sedimentados. Esta abertura puede estar equipada con compuertas o válvulas para regular el flujo.
 - Transportador de sólidos: para evacuar los sólidos recolectados, algunos sedimentadores de alta velocidad utilizan un transportador que lleva los sólidos desde la tolva hacia un punto de recolección o disposición.
 - Sistema automatizado: en algunos casos, el sistema de recolección de sólidos puede estar automatizado, con sensores que monitorean el nivel de acumulación y activan el proceso de raspado y evacuación según sea necesario.
 - Control de niveles: se pueden incorporar sistemas de control de niveles para evitar desbordamientos y garantizar un funcionamiento eficiente del sedimentador.
 - Sensores y monitoreo: la instalación de sensores y sistemas de monitoreo puede ayudar a mantener un seguimiento constante de la acumulación de sólidos y activar el proceso de recolección cuando sea necesario.
- Asesoramiento técnico: contar con la asesoría de ingenieros y profesionales especializados en tratamiento de aguas es fundamental para el diseño e implementación exitosa del sistema.

La forma específica de estos sedimentadores puede variar según el diseño, aquí hay algunas formas comunes de sedimentadores de alta velocidad:

- Sedimentadores de flujo horizontal de alta velocidad: son similares a los sedimentadores de flujo horizontal convencionales, pero están diseñados para un flujo más rápido del agua. Pueden tener una forma rectangular o de canal y están optimizados para una alta velocidad de sedimentación.
- Sedimentadores de flujo vertical de alta velocidad: también pueden adoptar la forma de torres o columnas de flujo vertical, pero están diseñados para un flujo más rápido del agua, lo que acelera el proceso de sedimentación.
- Conos de alta velocidad: algunos sedimentadores de alta velocidad adoptan la forma de conos invertidos para mejorar la eficiencia de la sedimentación.
- Diseño de flujo paralelo: en algunos casos, los sedimentadores de alta velocidad pueden tener un diseño de flujo paralelo, donde el agua sigue un camino más directo a través del sedimentador, acelerando así la sedimentación.
- Canal Parshall de alta velocidad: un canal Parshall modificado para un flujo más rápido puede utilizarse como un sedimentador de alta velocidad.
- Diseño de rampa de flujo rápido: puede incluir una rampa de flujo rápido que dirige el agua a través del sedimentador de manera eficiente para lograr una sedimentación más rápida.
- Sedimentadores de canal laminar: pueden tener una forma de canal laminar que aprovecha un diseño específico para mantener un flujo laminar y mejorar la velocidad de sedimentación.

- Diseño de flujo ascendente de alta velocidad: en algunos casos, los sedimentadores de alta velocidad pueden utilizar un diseño de flujo ascendente para lograr una sedimentación más rápida.
- Estructuras compactas: los sedimentadores de alta velocidad a menudo tienen diseños más compactos para optimizar la eficiencia y ahorrar espacio.
- Sedimentadores tubulares de alta velocidad: pueden adoptar una forma tubular para maximizar la velocidad del flujo y, por ende, la tasa de sedimentación.

Es fundamental considerar la velocidad del flujo de agua, la carga de sólidos y otros factores relevantes para seleccionar la forma y el diseño más adecuado para un sedimentador de alta velocidad en un proyecto particular.

2.4.4. Sedimentadores de clarificación

Estos sedimentadores permiten que las partículas más pesadas se asienten en el fondo del tanque, mientras que el agua clarificada se recoge en la parte superior. Aquí están algunas características comunes de los sedimentadores de clarificación:

- Placas inclinadas o Lamelas: muchos sedimentadores de clarificación incorporan placas inclinadas o lamelas dentro del tanque para aumentar la superficie de sedimentación y mejorar la eficiencia del proceso.
- Sistema de floculación: en algunos casos, se utiliza un sistema de floculación química para aglutinar partículas pequeñas en flóculos más grandes, facilitando así su sedimentación.

- Desnatador superficial: algunos sedimentadores de clarificación pueden tener un desnatador superficial para eliminar aceites y grasas que flotan en la superficie del agua.
- Baffles internos: los baffles internos pueden ser utilizados para dirigir el flujo del agua de manera que favorezca la sedimentación eficiente de las partículas sólidas.
- Entrada y distribución del agua: cuentan con sistemas de entrada y distribución del agua para asegurar un flujo uniforme a través del tanque.
- Sistema de recolección de sólidos: incorporan un sistema para la recolección y remoción eficiente de los sólidos sedimentados en el fondo del tanque.
- Sistema de desagüe de agua clarificada: disponen de un sistema para la salida controlada del agua clarificada, que generalmente se encuentra en la parte superior del tanque.
- Materiales de construcción: suelen construirse con materiales resistentes a la corrosión, como acero inoxidable o plásticos reforzados con fibra de vidrio.
- Control de niveles y desbordamiento: pueden incluir sistemas de control de niveles para evitar desbordamientos y garantizar un funcionamiento eficiente.
- Mantenimiento: el diseño debe facilitar el acceso para realizar tareas de mantenimiento y limpieza de manera efectiva.

Los sedimentadores de clarificación son fundamentales en el tratamiento de aguas residuales, plantas de tratamiento de agua potable, y en diversas aplicaciones industriales donde la clarificación del agua es esencial.

Podemos encontrar diversas formas que quedan adoptar este tipo de sedimentadores entre las cuales tenemos las siguientes más comunes:

- Rectangulares: los sedimentadores rectangulares son tanques alargados con secciones transversales rectangulares. Este diseño es común en plantas de tratamiento de agua y aguas residuales para facilitar la sedimentación de partículas.
- Circulares: los sedimentadores circulares tienen una sección transversal redonda o circular. Este diseño puede ser eficiente para la sedimentación y clarificación del agua en ciertos casos.
- Forma de V: algunos sedimentadores tienen una forma en V, lo que puede ayudar a dirigir el flujo de agua hacia el centro, favoreciendo la sedimentación en el fondo.
- Forma de Hopper (Embudo): los sedimentadores con forma de embudo o hopper tienen una sección transversal que se estrecha hacia abajo, similar a un embudo, lo que mejora la eficiencia de la sedimentación.
- Lentas de arena: las lentas de arena son un tipo específico de sedimentador de clarificación, comúnmente rectangular, utilizado para eliminar partículas gruesas, como arena, del agua.
- Sedimentadores de placas inclinadas: algunos sedimentadores de clarificación pueden incorporar placas inclinadas o lamelas para aumentar la superficie de sedimentación y mejorar la eficiencia.
- Sedimentadores tubulares: los sedimentadores tubulares tienen una forma tubular y son utilizados en algunas aplicaciones específicas para mejorar la clarificación del agua.
- Diseño de flujo ascendente: en algunos casos, los sedimentadores de clarificación pueden tener un diseño de flujo ascendente, donde el agua fluye hacia arriba, permitiendo que las partículas se asienten en el fondo.
- Sedimentadores de lecho expandido: algunos sedimentadores de clarificación utilizan un lecho expandido para aumentar la eficiencia en la retención de partículas y mejorar la clarificación.

- Formas específicas para procesos industriales: en aplicaciones industriales específicas, los sedimentadores pueden tener formas adaptadas a los requisitos del proceso y a las características del agua a tratar.

3. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

El proceso constructivo de una planta de tratamiento anaeróbica de agua residual que emplea un sedimentador tipo lamella sigue una serie de pasos para asegurar su eficiencia y funcionamiento adecuado, que van desde el diseño y la planificación hasta el monitoreo y cumplimiento de normas.

Cabe mencionar que el proceso constructivo puede variar dependiendo del tamaño de la planta, la tecnología utilizada y los requisitos específicos del sitio. La supervisión y el seguimiento profesional son esenciales en todas las etapas para garantizar una planta de tratamiento anaeróbica segura y efectiva.

3.1. Diseño y planificación

Antes de empezar la construcción, se debe realizar un estudio detallado de las necesidades de tratamiento de aguas residuales y determinar la capacidad requerida de la planta. Esto incluye el caudal de entrada, la carga orgánica y otros parámetros relevantes.

Con base en esta información, se procede al diseño de la planta, donde se determina la ubicación de los equipos, la configuración del sedimentador tipo lamella y otros componentes del sistema.

El diseño y planificación de una planta de tratamiento anaeróbica con un sedimentador tipo lamella requiere una serie de pasos y consideraciones para asegurar su eficiencia y funcionamiento adecuado. A continuación, se presentan los aspectos clave a tener en cuenta durante este proceso:

3.1.1. Estudio de factibilidad y caracterización de las aguas residuales

Antes de iniciar el diseño, es necesario realizar un estudio de factibilidad para determinar la viabilidad técnica y económica de la planta de tratamiento. También se debe realizar una caracterización detallada de las aguas residuales que serán tratadas, incluyendo el caudal, la carga orgánica, la concentración de sólidos suspendidos y otros parámetros relevantes.

3.1.2. Selección del tipo de planta anaeróbica y sedimentador lamella

Existen diferentes tipos de plantas anaeróbicas y sedimentadores lamella disponibles en el mercado. Es importante seleccionar el tipo de planta que mejor se adapte a las características de las aguas residuales y a las necesidades específicas del proyecto.

3.1.3. Diseño del proceso anaeróbico

El diseño del proceso anaeróbico incluye la selección del tipo de reactor anaeróbico más adecuado, como el reactor RAFA (Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente) o el reactor de manto de lodos. Se deben determinar parámetros clave, como el tiempo de retención hidráulica (HRT) y el tiempo de retención del lodo (SRT), para lograr una adecuada descomposición de la materia orgánica y la generación de biogás.

3.1.4. Diseño del sedimentador tipo lamella

El sedimentador tipo lamella es un componente clave en la planta de tratamiento. Su diseño debe considerar el caudal de diseño, la concentración de sólidos suspendidos y la inclinación adecuada de las placas lamella para garantizar una sedimentación eficiente y una separación efectiva de los lodos.

3.1.5. Diseño de los sistemas de bombeo y agitación

Es importante diseñar correctamente los sistemas de bombeo para transportar las aguas residuales dentro de la planta y los sistemas de agitación para asegurar la mezcla adecuada en el reactor anaeróbico.

3.1.6. Consideraciones de seguridad y medio ambiente

Durante el diseño, es fundamental tener en cuenta las normativas y regulaciones ambientales, así como las medidas de seguridad para prevenir accidentes y proteger al personal que operará la planta.

3.1.7. Estimación de costos y planificación del cronograma

Se debe realizar una estimación detallada de los costos de construcción, equipos y operación de la planta, así como la planificación de un cronograma realista para la ejecución del proyecto.

3.1.8. Evaluación de sostenibilidad y reutilización de recursos

Se pueden explorar oportunidades para maximizar la sostenibilidad de la planta, como la reutilización del biogás producido para generación de energía o la reutilización del agua tratada para riego agrícola o usos industriales.

3.1.9. Monitoreo y seguimiento

Se deben establecer planes de monitoreo y seguimiento para evaluar el desempeño de la planta y realizar ajustes cuando sea necesario para asegurar su operación eficiente y cumplimiento de los estándares de calidad.

El diseño y planificación de una planta de tratamiento anaeróbica con sedimentador tipo lamella requiere de la participación de ingenieros especializados y profesionales en tratamiento de aguas residuales. Es un proceso complejo que garantizará un tratamiento eficiente y sostenible de las aguas residuales, contribuyendo a la preservación del medio ambiente y la utilización responsable de los recursos naturales.

3.2. Preparación del terreno

Una vez aprobados los planos y permisos necesarios, se procede a preparar el terreno donde se construirá la planta de tratamiento. Esto incluye la nivelación del suelo, la construcción de cimientos y la instalación de servicios básicos como agua y electricidad.

La preparación del terreno para una planta de tratamiento anaeróbica con un sedimentador tipo lamella es un paso esencial antes de iniciar la construcción

de la instalación. A continuación, se describen los pasos que se deben seguir para preparar el terreno de manera adecuada:

3.2.1. Limpieza y remoción de obstrucciones

Se debe limpiar el terreno de cualquier vegetación, rocas u otros objetos que puedan interferir con la construcción de la planta. También es necesario retirar cualquier tipo de obstrucción o escombros que puedan estar presentes en el área.

3.2.2. Estudio geotécnico

Antes de iniciar cualquier trabajo en el terreno, es importante realizar un estudio geotécnico para evaluar las características del suelo y determinar su capacidad de carga. Esto ayudará a identificar posibles problemas de estabilidad y proporcionará información valiosa para el diseño de las cimentaciones y estructuras de la planta.

3.2.3. Nivelación del terreno

Es importante nivelar el terreno para asegurar una base uniforme y adecuada para la construcción de las estructuras de la planta. Esto se puede lograr mediante la excavación y relleno del terreno según sea necesario.

3.2.4. Establecimiento de cimentaciones

Las cimentaciones son fundamentales para proporcionar estabilidad y soporte a las estructuras de la planta, como los tanques de tratamiento y el sedimentador tipo lamella. Se deben diseñar y construir cimentaciones

adecuadas de acuerdo con el estudio geotécnico y las especificaciones de ingeniería.

3.2.5. Instalación de servicios básicos

Se deben instalar servicios básicos, como acceso a agua y electricidad, para asegurar el funcionamiento adecuado de la planta de tratamiento. También se pueden requerir conexiones de alcantarillado y sistemas de drenaje apropiados.

3.2.6. Planificación de espacios y accesos

Se debe planificar el diseño del sitio para permitir una operación eficiente de la planta y asegurar un flujo adecuado de las aguas residuales hacia el sistema de tratamiento. Además, se deben considerar los accesos y vías de circulación para el personal y el equipo.

3.2.7. Consideraciones ambientales y regulaciones

Es esencial cumplir con las regulaciones ambientales y obtener los permisos y autorizaciones necesarios antes de iniciar cualquier trabajo de construcción en el sitio. Además, se deben considerar medidas de protección ambiental durante la preparación del terreno para evitar impactos negativos en el entorno natural.

3.2.8. Seguridad en el sitio

Se deben implementar medidas de seguridad adecuadas en el sitio de construcción para proteger al personal y garantizar que se realicen las operaciones de manera segura.

Una vez completada la preparación del terreno, la construcción de la planta de tratamiento anaeróbica con sedimentador tipo lamella puede avanzar según el diseño y planificación previos. La preparación adecuada del terreno es crucial para garantizar una construcción exitosa y una operación eficiente y segura de la planta de tratamiento.

3.3. Conformación de plataformas para (PTAR)

La formación de una plataforma para la construcción de una planta de tratamiento con implementación de sedimentador tipo lamella es un paso importante para asegurar una base sólida y estable sobre la cual se construirá la instalación, ya teniendo la evaluación del terreno y su respectiva limpieza. A continuación, se presentan los pasos para formar la plataforma:

3.3.1. Nivelación del terreno

La nivelación del terreno es crucial para proporcionar una superficie uniforme y estable. Se debe realizar una excavación y relleno adecuado para lograr una superficie nivelada y libre de desniveles que puedan afectar la construcción y el funcionamiento de la planta, en este caso teniendo en cuenta que la distribución de agua residual se llevara a cabo por medio de gravedad, debe tomarse en cuenta pendiente desde el reactor anaeróbico de flujo ascendente hacia la descarga.

3.3.2. Compactación del suelo

Después de la nivelación, es necesario compactar el suelo para aumentar su resistencia y mejorar la capacidad de carga. La compactación se puede lograr mediante el uso de equipos especializados, como compactadoras de rodillos o placas vibratorias.

3.3.3. Diseño y construcción de cimentaciones

Las cimentaciones son fundamentales para proporcionar soporte a las estructuras de la planta, incluido el sedimentador tipo lamella. Se debe realizar un diseño adecuado de las cimentaciones de acuerdo con las especificaciones de ingeniería y el estudio geotécnico previo.

3.3.4. Drenaje

Es importante considerar el sistema de drenaje en la plataforma para evitar problemas de acumulación de agua en el sitio. Se deben instalar canales de drenaje y sistemas de desagüe adecuados para asegurar que el agua de lluvia o aguas residuales no interfiera con la construcción o la operación de la planta.

3.3.4.1. Consideraciones de seguridad y medio ambiente

Durante la formación de la plataforma, es esencial seguir las medidas de seguridad adecuadas para proteger al personal y prevenir accidentes. Además, se deben cumplir con las regulaciones ambientales y tomar medidas para proteger el entorno natural durante el proceso de construcción.

3.3.5. Planificación de espacios y accesos

Se debe planificar el diseño de la plataforma para permitir un flujo eficiente de las aguas residuales hacia el sistema de tratamiento. Además, se deben considerar los accesos y vías de circulación para el personal y el equipo.

La formación adecuada de la plataforma es crucial para garantizar una construcción exitosa y una operación eficiente y segura de la planta de tratamiento.

Figura 7.

Conformación de plataformas



Nota. La PTAR tendrá un sistema por bombeo hasta el tanque RAFA y un sistema de limpieza por gravedad. Elaboración propia.

Figura 8.

Preparación del armado de las losas de cimentación



Nota. Las plataformas se impermeabilizaron con lodocreto con el fin de que el suelo al entrar en contacto con el concreto, este último no absorba humedad. Elaboración propia.

3.4. Desarenador

Un desarenador es una estructura que se utiliza en algunas plantas de tratamiento de aguas residuales anaeróbicas para la eliminación de arena y otros materiales inorgánicos gruesos presentes en el agua residual. El desarenador es un componente importante del proceso de pretratamiento, cuya función es separar y eliminar los sólidos pesados y abrasivos antes de que el agua residual entre al reactor anaeróbico.

El desarenador se ubica generalmente en la etapa inicial del tratamiento y funciona mediante un proceso de sedimentación y decantación. El agua residual se hace fluir lentamente a través del desarenador, lo que permite que los sólidos más pesados, como arena, grava, piedras y otros materiales inorgánicos, se asienten en el fondo del tanque debido a la fuerza de gravedad. Los sólidos más livianos y la materia orgánica permanecen suspendidos en el agua y son llevados al siguiente paso del tratamiento.

Una vez que los sólidos pesados se han asentado, se eliminan del desarenador mediante sistemas de recolección, como rastrillos o bombas. Es importante remover regularmente los materiales acumulados para evitar la obstrucción del desarenador y garantizar su eficiente funcionamiento.

El desarenador es un elemento esencial en el pretratamiento de las aguas residuales antes de ingresar al reactor anaeróbico, ya que la presencia de arena y otros materiales abrasivos puede causar daños a los equipos y reducir la eficiencia del proceso anaeróbico. Además, la eliminación de arena y sólidos pesados ayuda a proteger los reactores y sistemas de tratamiento posteriores, como los sedimentadores tipo lamella o los filtros percoladores, de posibles obstrucciones y daños.

En resumen, el desarenador es una parte importante de la planta de tratamiento anaeróbica que se encarga de eliminar los materiales inorgánicos gruesos, como arena y grava, para proteger el sistema de tratamiento y asegurar una operación eficiente del proceso anaeróbico.

Figura 9.

Desarenador



Nota. En esta fase del tratamiento, los sólidos más gruesos como arenas y basuras quedan retenidas en estos canales. Elaboración propia.

El sistema de tratamiento contará con medición directa del flujo de agua residual que llega a la planta mediante un vertedero Triangular ubicado en la caja de toma de muestras.

Figura 10.

Toma de muestras



Nota. Diseño de la sección para toma de muestras de una PTAR. Obtenido de WATER SYSTEM MANAGEMENT, S.A. (2022). *Planta de tratamiento de aguas residuales – tramo SB2 VAS.* (p.10). WASYMA, S.A.

3.5. Pretratamiento

El pretratamiento en una planta de tratamiento de aguas residuales anaeróbicas es una etapa esencial que se realiza antes de que el agua residual entre al reactor anaeróbico principal. Su objetivo principal es eliminar los sólidos gruesos, la arena, la grasa y otros materiales inorgánicos que puedan dañar o afectar negativamente el funcionamiento del reactor anaeróbico y los procesos biológicos asociados.

El pretratamiento en una planta de tratamiento anaeróbica puede incluir varios componentes y procesos, que pueden variar dependiendo de la naturaleza y el origen del agua residual tratada.

La salida del Tratamiento Primario descarga directamente – Bombeado- dentro de dos tanques con 486.20 m³ de capacidad en su totalidad, en el cual se buscan varios objetivos:

- Separar gases del agua tratada.
- Separar y sedimentar lodos según sea este más denso o disperso creando un manto de lodos.
- Servir como punto de contacto entre el lodo reciclado del Clarificador Final y el agua cruda que llega a la planta, acelerando el proceso de biodegradación y disminuyendo el potencial de crecimiento de bacterias filamentosas.

Algunos de los componentes comunes en el pretratamiento son:

3.5.1. Desarenador

Se utiliza para eliminar arena y otros materiales inorgánicos pesados presentes en el agua residual. La arena se asienta en el desarenador debido a la gravedad y se elimina para evitar obstrucciones y daños en los equipos.

3.5.2. Trampa de grasa

Se utiliza para separar y eliminar la grasa y los aceites presentes en el agua residual, que podrían formar capas flotantes en el reactor anaeróbico y dificultar el tratamiento biológico.

3.5.3. Rejas o tamices

Se utilizan para retener y eliminar sólidos gruesos y grandes objetos que podrían obstruir los conductos y equipos en el sistema de tratamiento.

Figura 11.

Pretratamiento



Nota. En esta fase las aguas residuales crudas ingresan y los sólidos más gruesos como arenas y basura quedan retenidos por sedimentación en las rejillas y los canales antes de llegar al tanque que alimentará al tanque de tratamiento primario. Elaboración propia.

Tabla 4.*Caudales*

Caudales en L/seg. para vertedero triangular de 90°								
H [cm]	Q [L/seg.]	H [cm]	Q [L/seg.]	H [cm]	Q [L/seg.]	H [cm]	Q [L/seg.]	H [cm]
1	0.01	6.5	1.51	12	6.98	17.5	17.94	23
1.5	0.04	7	1.81	12.5	7.73	18	19.24	23.5
2	0.08	7.5	2.16	13	8.53	18.5	20.61	24
2.5	0.14	8	2.53	13.5	9.37	19	22.03	24.5
3	0.22	8.5	2.95	14	10.27	19.5	23.51	25
3.5	0.32	9	3.40	14.5	11.21	20	25.04	25.5
4	0.45	9.5	3.89	15	12.20	20.5	26.64	26
4.5	0.60	10	4.43	15.5	13.24	21	28.29	26.5
5	0.78	10.5	5.00	16	14.34	21.5	30.01	27
5.5	0.99	11	5.62	16.5	15.48	22	31.78	27.5
6	1.23	11.5	6.28	17	16.68	22.5	33.62	28

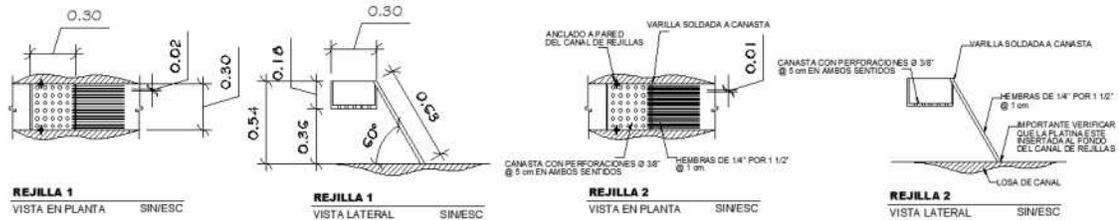
Nota. Cálculo del caudal de acuerdo a la sección transversal. Obtenido de WATER SYSTEM MANAGEMENT, S.A. (2022). *Planta de tratamiento de aguas residuales – tramo SB2 VAS.* (p.10). WASYMA, S.A.

A la entrada de las aguas residuales se instalarán dos canales de rejillas, para atrapar los sólidos gruesos no biodegradables. Estas serán limpiadas manualmente diariamente y por lo menos 3 veces al día.

Los sólidos gruesos serán retirados manualmente - de forma periódica - y dispuestos con otros residuos sólidos del proyecto. Los mismos serán siempre embolsados y llevados a un colector de basura dentro del área de la Planta, para que sea recogida por el recolector público de basuras.

Figura 12.

Canal de rejas y desarenador



Nota. Diseño de rejillas para un desarenador. Obtenido de WATER SYSTEM MANAGEMENT, S.A. (2022). *Planta de tratamiento de aguas residuales – tramo SB2 VAS.* (p.10). WASYMA, S.A.

3.6. Construcción de Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA)

La construcción de un reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA), también conocido como UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), es un proceso que requiere de una planificación detallada y la ejecución adecuada para asegurar un funcionamiento eficiente y seguro.

Los reactores anaeróbicos son utilizados para la degradación de materia orgánica en ausencia de oxígeno.

A continuación, se describen los pasos principales para la construcción de un reactor RAFA:

3.6.1. Excavación y preparación del sitio

Se debe excavar el terreno para crear el espacio necesario para el reactor de flujo ascendente (RAFA). Es importante asegurarse de que el terreno sea

estable y adecuado para soportar la estructura del reactor. Se puede requerir la formación de una base nivelada y resistente.

Figura 13.

Preparación de sitio Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente



Nota. Las dimensiones del reactor fueron de 12.5 m de ancho y 11.50 m de largo. Elaboración propia.

3.6.2. Construcción del tanque del reactor

El tanque del reactor anaeróbico de flujo ascendente RAFA puede construirse utilizando diferentes materiales, como concreto reforzado, acero inoxidable o polímeros reforzados con fibra de vidrio (PRFV). El tipo de material dependerá de factores como el presupuesto, la durabilidad y las condiciones ambientales.

En este caso para el diseño requerido del reactor se utilizó concreto reforzado de 3000 PSI con agregado grueso de 3/8", e le coloco acero de refuerzo

grado 60 No.4 longitudinal y transversal No.5 en ambas camas del cimiento corrido en cual contenía un espesor de 0.40 cm. Las vigas de camina-miento están compuestas por acero de refuerzo longitudinal No.4 y estribos No.3.

Figura 14.

Refuerzo Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente



Nota. Para el refuerzo según el cálculo estructural se utilizaron barras No. 5 para la cimentación y barras No. 4 para el refuerzo de las paredes a doble cama. Elaboración propia.

Figura 15.

Construcción Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente



Nota. Acabado final del RAFA y del reactor anóxico. Elaboración propia.

3.6.3. Instalación de tuberías y conexiones

Se deben instalar las tuberías de entrada y salida del agua residual, así como las conexiones para el suministro y recolección del biogás. También se deben instalar los sistemas de recirculación y recogida de lodos para mantener una distribución uniforme en el reactor.

Para el reactor que implementamos en esta planta de tratamiento, en la tubería de entrada y salida de agua residual se utilizó PVC de \varnothing 4" y para recirculación y recogida de lodos se utilizó PVC \varnothing 6".

Figura 16.

Instalación de tubería entrada de agua residual



Nota. Parte frontal terminada del RAFA. Elaboración propia.

Figura 17.

Instalación de tubería recirculación y recogida de lodos



Nota. Se muestran las pilas para la toma de muestras de los lodos activados. Elaboración propia.

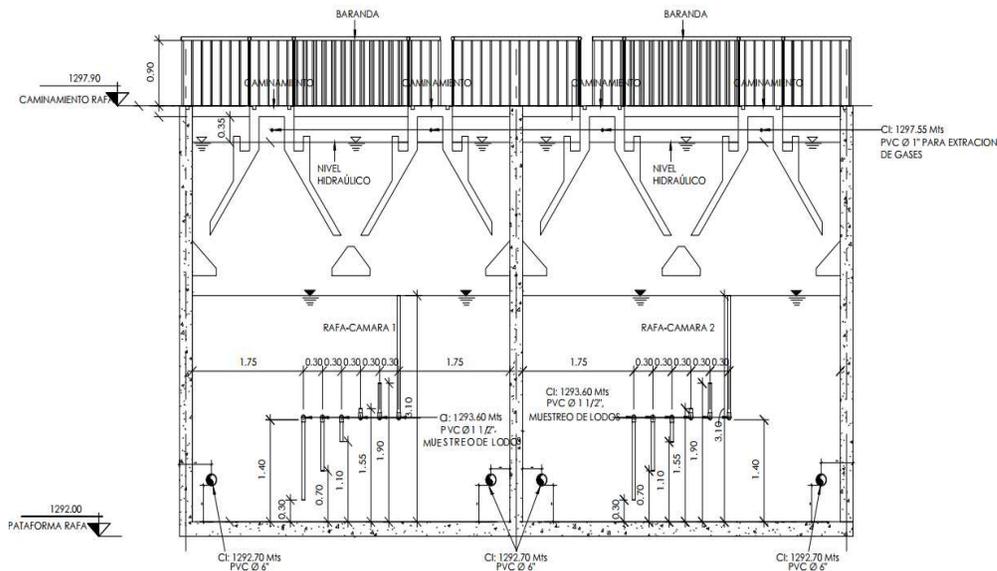
3.6.4. Colocación de sistemas de distribución

Es importante instalar adecuadamente los sistemas de distribución de flujo ascendente para garantizar una distribución uniforme del agua residual a lo largo del reactor.

La construcción de un reactor anaeróbico de flujo ascendente es un proceso complejo que requiere de la participación de ingenieros especializados y profesionales en tratamiento de aguas residuales. Es fundamental seguir las especificaciones de diseño y las normativas ambientales para asegurar una construcción exitosa y una operación eficiente y segura del RAFA.

Figura 18.

Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente



Nota. El plano muestra los diferentes diámetros que se instalaron en el RAFA. Obtenido de WATER SYSTEM MANAGEMENT, S.A. (2022). *Planta de tratamiento de aguas residuales – tramo SB2 VAS.* (p.3). WASYMA, S.A.

3.7. Campanas

Las campanas en un reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA), son una característica clave que ayuda a mejorar el rendimiento del proceso y la separación de sólidos. Las campanas, también llamadas deflectores o baffles, son placas o estructuras verticales que se encuentran dentro del reactor y que están diseñadas para guiar el flujo ascendente del agua residual y los lodos.

Estas campanas cumplen varias funciones importantes:

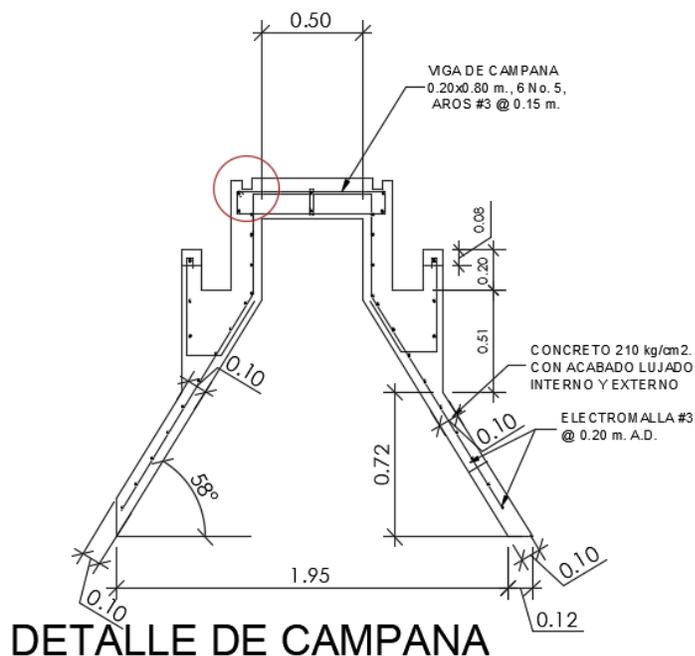
- **Distribución del flujo:** las campanas ayudan a distribuir uniformemente el flujo de agua residual y lodos en el reactor. Al dirigir el flujo hacia arriba, evitan que el agua se desplace de manera desigual, lo que asegura que todos los lodos en el reactor estén expuestos al proceso anaeróbico adecuado.
- **Evitar cortocircuitos hidráulicos:** los cortocircuitos hidráulicos ocurren cuando el flujo de agua y lodos se desvía directamente desde la entrada del reactor hacia la salida sin interactuar adecuadamente con la biomasa anaeróbica presente. Las campanas ayudan a minimizar estos cortocircuitos al mantener el flujo ascendente y permitir que los lodos tengan más tiempo de retención en el reactor.
- **Separación de sólidos:** las campanas también juegan un papel en la separación de sólidos y el mantenimiento de la biomasa dentro del reactor. Al dirigir el flujo hacia arriba, permiten que los lodos se sedimenten en el fondo del reactor, mientras que el agua tratada sale a través de la parte superior del mismo.
- **Retención de lodos:** algunas campanas están diseñadas para retener temporalmente los lodos en el reactor, asegurando un tiempo de retención

adecuado para que los microorganismos realicen la digestión anaeróbica de manera efectiva.

Es importante tener en cuenta que el diseño y la configuración de las campanas pueden variar según el tamaño del reactor, el tipo de biomasa presente y las características específicas del tratamiento anaeróbico. El objetivo principal es lograr una distribución uniforme del flujo y una buena retención de lodos para optimizar el rendimiento del proceso anaeróbico y obtener una eficiente eliminación de la materia orgánica en las aguas residuales.

Figura 19.

Detalle de campana de (RAFA)



Nota. El plano muestra el detalle de refuerzo utilizado para las campanas. Obtenido de WATER SYSTEM MANAGEMENT, S.A. (2022). *Planta de tratamiento de aguas residuales – tramo SB2 VAS.* (p.3). WASYMA, S.A.

3.8. TEA de quemado (RAFA)

Cuando hablamos de TEA de quemado o bien antorcha de quemado para una planta de tratamiento nos referían a un sistema de que es utilizado para disponer de forma segura y amigable con el ambiente los gases o biogases retenidos en el tanque o reactor.

El biogás es un subproducto valioso que se produce durante el proceso de tratamiento anaeróbico en un reactor de flujo ascendente. Durante el tratamiento anaeróbico, los microorganismos descomponen la materia orgánica presente en las aguas residuales en condiciones de ausencia de oxígeno, lo que da lugar a la producción de biogás.

El biogás está compuesto principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), con pequeñas cantidades de otros gases, como sulfuro de hidrógeno (H_2S).

La producción de biogás en un reactor puede ser una ventaja significativa, ya que el metano es un gas de efecto invernadero mucho más potente que el dióxido de carbono. Al capturar y utilizar el biogás producido, se evita su liberación directa a la atmósfera, lo que contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuir el impacto ambiental.

El biogás tiene varias aplicaciones útiles, algunas de las cuales incluyen:

- **Generación de energía:** el biogás se puede utilizar para generar electricidad y calor mediante la combustión en motores o turbinas de gas. Esto puede cubrir parte o la totalidad de las necesidades energéticas de la planta de tratamiento de aguas residuales.

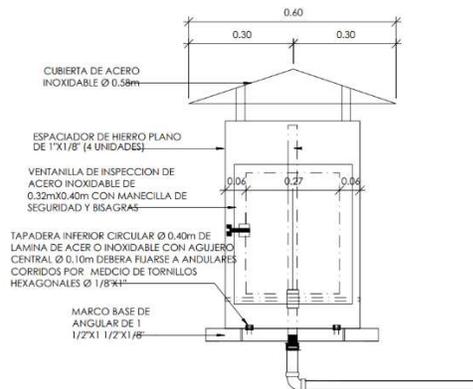
- Cogeneración: al combinar la generación de electricidad con la producción de calor, se puede utilizar el biogás de manera más eficiente, aprovechando tanto la energía eléctrica como el calor residual para calentar las instalaciones de la planta o procesos industriales.
- Quemadores de biogás: el biogás también se puede usar en quemadores para proporcionar calor directo para procesos industriales, secado térmico o calentamiento de agua.
- Uso doméstico o industrial: en algunas comunidades, el biogás puede utilizarse directamente en cocinas para cocinar y en calderas de agua caliente para calefacción y otros fines.

Es importante tener en cuenta que la producción de biogás depende de varios factores, como la carga orgánica del agua residual, el tiempo de retención hidráulica (HRT) y la temperatura del reactor anaeróbico. Para maximizar la producción de biogás, es necesario operar el reactor de manera óptima y mantener las condiciones adecuadas para el crecimiento y actividad de los microorganismos responsables de la digestión anaeróbica. Además, la calidad del biogás producido debe ser monitoreada y tratada para eliminar impurezas, como el sulfuro de hidrógeno, que pueden ser corrosivas o tóxicas.

En el diseño de TEA utilizamos una cubierta de acero inoxidable, ventilación de inspección de acero inoxidable con manecilla de seguridad y bisagras, una tapadera inferior circular con diámetro de 0.40 m de lámina de acero inoxidable, fijado con angulares corridos por medición de tornillos hexagonales.

Figura 20.

TEA de quemado



Nota. El plano muestra el diseño de TEA utilizado para la planta en estudio. Obtenido de WATER SYSTEM MANAGEMENT, S.A. (2022). *Planta de tratamiento de aguas residuales – tramo SB2 VAS.* (p.5). WASYMA, S.A.

Figura 21.

TEA o antorcha de quemado



Nota. El gas que la TEA constantemente quema por ser biogas puede ser utilizado de manera doméstica con una instalación adecuada. Elaboración propia.

3.9. Contactor anóxico

Un contacto anóxico en un reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA) es una etapa específica dentro del proceso de tratamiento de aguas residuales. El contacto anóxico es una zona del reactor donde se promueve una ausencia controlada de oxígeno para favorecer la eliminación de compuestos nitrogenados, específicamente el nitrato (NO_3^-) y el nitrito (NO_2^-), mediante un proceso llamado desnitrificación.

La desnitrificación es una reacción bacteriana que ocurre en condiciones de ausencia de oxígeno, donde los microorganismos utilizan los nitratos y nitritos como fuente de oxígeno para la degradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales. En esta etapa, los nitratos y nitritos se reducen a nitrógeno gaseoso (N_2) y se liberan al ambiente.

El contacto anóxico en un reactor anaeróbico de flujo ascendente se logra mediante el diseño adecuado de la distribución del flujo de agua y la recirculación de los lodos en el reactor. La recirculación de los lodos permite crear una zona en el reactor donde no hay oxígeno disponible, lo que favorece el desarrollo de microorganismos desnitrificantes.

La incorporación de una etapa de contacto anóxico en un reactor anaeróbico de flujo ascendente es especialmente importante cuando las aguas residuales contienen altas concentraciones de nitratos, ya que la desnitrificación ayuda a reducir la carga de nitrógeno que se descargará al medio ambiente, contribuyendo así a la protección de los cuerpos de agua receptores.

El proceso de tratamiento anaeróbico en un reactor anaeróbico de flujo ascendente con una etapa de contacto anóxico ofrece varias ventajas, como la

producción de biogás (metano) durante la etapa anaeróbica y la remoción de compuestos nitrogenados durante la etapa anóxica. Esta combinación de procesos permite un tratamiento más completo y eficiente de las aguas residuales.

Figura 22.

Construcción contactor anóxico



Nota. Luego de pasar por el proceso anaeróbico las aguas pasan al tanque anoxico para luego ser enviadas para oxigenarse al filtro percolador. Elaboración propia.

Figura 23.

Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente y Contactor anóxico



Nota. Vista aérea de los tanques terminados. Elaboración propia.

La PTAR contará con dos bombas sumergible para recirculación de lodos marca EVERGUSH EF, con motor de 7.5 HP, a 230 Voltios la cual se encargará de recircular los lodos hacia el contactor anóxico.

3.10. Filtro percolador

Un filtro percolador es un tipo de sistema utilizado en plantas de tratamiento de aguas residuales para eliminar contaminantes y mejorar la calidad del agua antes de su descarga al medio ambiente o su reutilización. El filtro percolador es una forma de tratamiento biológico que utiliza un medio filtrante para el crecimiento de microorganismos que descomponen la materia orgánica y otros contaminantes presentes en el agua residual.

El proceso de tratamiento en un filtro percolador generalmente se realiza en dos etapas:

- Etapa de sedimentación primaria: en esta etapa, las aguas residuales pasan por un tanque de sedimentación primaria donde ocurre la separación inicial de sólidos suspendidos más grandes. Los sólidos más pesados se asientan en el fondo del tanque, mientras que los líquidos más claros y menos cargados de sólidos continúan hacia la siguiente etapa.
- Etapa de filtro percolador: después de la sedimentación primaria, el agua residual pasa a través de un lecho de medio filtrante, que puede consistir en grava, arena, piedra u otros materiales con alta superficie específica. En este medio filtrante, se forma una biopelícula compuesta de microorganismos, principalmente bacterias, que se adhieren a la superficie del material filtrante.

Su función principal es formar una biopelícula de microorganismos que es responsable de la biodegradación de la materia orgánica presente en el agua residual. Los contaminantes son descompuestos en productos más estables, como dióxido de carbono y agua. A medida que el agua residual percola a través del lecho filtrante, los microorganismos trabajan para limpiar el agua, reduciendo significativamente su carga orgánica y eliminando parte de los contaminantes.

El diseño y la eficiencia del filtro percolador dependen de varios factores, incluyendo el tamaño y tipo del medio filtrante, la velocidad de flujo del agua residual a través del filtro, la temperatura y el contenido de oxígeno en el medio. La recirculación del agua y la aireación también pueden emplearse para optimizar el proceso biológico y mejorar la eficiencia del filtro percolador.

El filtro percolador es una opción efectiva para el tratamiento biológico de aguas residuales, ya que proporciona una superficie grande para el crecimiento de los microorganismos y permite una eliminación eficiente de la materia orgánica y otros contaminantes presentes en el agua.

En el diseño utilizado de filtro percolador para el lecho de medio filtrante se utilizaron rosetones los cuales son elementos de diseño o características arquitectónicas específicas asociadas con los filtros percoladores. Sin embargo, no es común encontrar el uso de rosetones tradicionales en la construcción o diseño de filtros percoladores.

También se utilizaron brazos giratorios para la distribución que funcionará hidráulicamente con la presión que le da el bombeo de alimentación de cada filtro.

Figura 24.

Interior filtro percolador



Nota. Vista interna del filtro percolador antes de su funcionamiento. Elaboración propia.

Figura 25.

Filtro percolador



Fuente: Vista aérea del filtro percolador en funcionamiento. Elaboración propia.

Figura 26.

Brazo giratorio para distribución



Nota. La tolva se encarga de recibir el agua del tanque anóxico para luego distribuirla de manera uniforme en el filtro percolador. Elaboración propia.

3.10.1. Rosetón plástico filtrante

El Rosetón Plástico Filtrante es un anillo con 20 cavidades fabricadas en polipropileno, materiales que garantiza su durabilidad y resistencia al ataque de los hongos y bacterias.

El oxígeno consumido por los microorganismos que descomponen el agua residual se obtiene del aire inducido de manera natural en la medida en que pasa a través del filtro y su sistema de drenaje (falso fondo).

La distribución del flujo se hará de manera uniforme sobre el relleno plástico mediante sistema de riego.

Esto permitirá que el sistema de distribución opere continuamente de manera más eficiente y con menores lapsos entre mantenimientos.

El Medio Filtrante Plástico comparado con el sistema de gravas clasificadas presenta las siguientes ventajas:

- Disminuye la frecuencia de mantenimiento de 2 veces al año cuando el medio es piedra a 1 vez cada 6 años en sistemas convencionales de tratamiento de aguas residuales domésticas.
- El Rosetón Plástico Filtrante tiene un peso de apenas 40Kg/m³ por lo tanto las estructuras de los tanques que sostienen el medio filtrante ya no requieren un refuerzo estructural extremo y el transporte e instalación del material se facilita.
- El área superficial es mayor y por lo tanto favorece el crecimiento de biomasa mejorando la eficiencia de remoción de un 60% cuando el medio es piedra hasta un 80% con medio plástico.

- Gracias a la forma y al diseño del MFP 1, se puede garantizar un área superficial mayor para un crecimiento de bacterias superior puesto que este diseño no permite que se desperdicie área en el contacto entre pieza y pieza, situación que con la grava es imposible puesto que, en el contacto entre roca y roca, se pierde aproximadamente el 60% de área superficial.
- Como el Rosetón Plástico Filtrante tiene un mayor número de vacíos los filtros percoladores y anaerobios requieren un área menor comparados con los filtros que utilizan grava.
- El Rosetón Plástico Filtrante es amable con el medio ambiente, ya que evita la extracción de material (Grava) de los ríos, es de muy larga durabilidad y es reciclable.

Figura 27.

Rosetón plástico filtrante o polipropileno



Nota. Este filtro es un reemplazo por la piedra volcánica. Elaboración propia.

Comparando la efectividad de la roca volcánica, comúnmente implementada en el filtro percolador, y los rosetones, que podrían ser utilizados con fines ornamentales en una planta de tratamiento, son dos elementos distintos con propósitos y funciones diferentes en el contexto de una planta de tratamiento de aguas residuales. A continuación, se realiza una comparación de su efectividad y aplicaciones:

Roca volcánica en el filtro percolador:

- Efectividad: la roca volcánica es un medio filtrante utilizado en el filtro percolador para permitir el crecimiento de una biopelícula de microorganismos que descomponen los contaminantes presentes en el agua residual. La roca volcánica proporciona una superficie porosa y rugosa que favorece la adhesión y proliferación de los microorganismos, lo que mejora la eficiencia del proceso de tratamiento biológico en el filtro percolador.
- Aplicación: la roca volcánica se utiliza específicamente en el filtro percolador para la depuración biológica de las aguas residuales. Su aplicación es funcional y está destinada a mejorar la calidad del efluente tratado.

En resumen, la roca volcánica en el filtro percolador es un elemento funcional y esencial para mejorar la eficiencia del tratamiento biológico en una planta de tratamiento de aguas residuales. Por otro lado, los rosetones al igual que la roca volcánica cumplen con todos los requisitos dando una mayor eficiencia en el crecimiento de biomasa mejorando la eficiencia de remoción hasta un 20 % más que la roca volcánica, ayuda a la disminución de mantenimiento y el costo del mismo, contribuye a las estructuras de los tanques

que sostienen el medio filtrante ya no requieren un refuerzo estructural extrema ya que su peso es menor al de la roca volcánica, además hay que tener presente que los rosetones son amables con el medio ambiente, ya que es uno d los propósitos importantes de una planta de tratamiento de agua residual.

3.11. Construcción del sedimentador tipo Lamella

El sedimentador tipo lamella es un componente clave de la planta de tratamiento anaeróbica. Se construye generalmente en forma de tanques rectangulares con una inclinación específica para facilitar la sedimentación de los sólidos suspendidos presentes en el agua residual. Las placas inclinadas (lamella) en el interior del tanque ayudan a aumentar el área de sedimentación y mejorar la eficiencia del proceso.

Un sedimentador tipo lamella, también conocido como clarificador de placas inclinadas o decantador lamelar, es un dispositivo utilizado en el tratamiento de aguas residuales y en procesos de sedimentación en diversas industrias. Su diseño se basa en la utilización de placas inclinadas con un ángulo específico, que permite aumentar la eficiencia en la separación de sólidos suspendidos del agua.

Estos clarificadores son del tipo Lamella (o de alta tasa), de flujo ascendente, con placas inclinadas a 45° con respecto a la horizontal. La planta cuenta con 4 clarificadores, que cuentan con 72 placas planas de PVC cada uno, de 6 mm de espesor, de 124 cm de largo y 124 cm de ancho, igualmente espaciadas cada 12 cm.

La alimentación al Clarificador se hace por la parte inferior de la unidad, el agua atraviesa de manera ascendente las placas y es recolectada en la parte

superior de la unidad en una canaleta de sección circular, con 6 pulgadas de diámetro y 850 cm de largo en los clarificadores nuevos. La presencia de placas inclinadas mejora la eficiencia de la sedimentación al aumentar la superficie de contacto entre el agua y las partículas sólidas.

Con el fin de mantener la concentración de biomasa deseada dentro del tanque de aireación los lodos retenidos en los clarificadores serán retornados de manera continua al Contactor anóxico. Para ello, los clarificadores cuentan con una bomba para retorno de lodos, de tipo sumergible marca EVERGUSH EF, con motor de 7.5 HP a 230 Voltios. La bomba para retorno de lodos está ubicada en un pozo de bombeo de lodos construido junto al Clarificador, desde donde periódicamente se evacúan lodos hacia el contactor anóxico.

Las principales características y ventajas de un sedimentador tipo lamella son las siguientes:

- Placas inclinadas: el elemento distintivo de este tipo de sedimentador son las placas inclinadas o lamelas que se encuentran en su interior. Estas placas están dispuestas en un ángulo de 45 a 60 grados respecto a la horizontal. Esta inclinación facilita la sedimentación de los sólidos suspendidos, ya que permite que estos se deslicen hacia abajo por las placas y se acumulen en la parte inferior del tanque.
- Mayor superficie de sedimentación: las placas inclinadas aumentan significativamente la superficie de sedimentación disponible en comparación con un sedimentador convencional. Esto permite una separación más eficiente de los sólidos suspendidos, ya que se les proporciona más tiempo para asentarse.
- Reducción de turbulencia: el diseño de placas inclinadas también ayuda a reducir la turbulencia en el agua, lo que contribuye a una sedimentación

más efectiva. La reducción de la turbulencia permite que los sólidos se asienten con mayor rapidez y eficacia.

- Menor espacio requerido: debido a su mayor eficiencia, los sedimentadores tipo lamella ocupan menos espacio en comparación con los sedimentadores convencionales con el mismo rendimiento, lo que puede ser una ventaja en instalaciones con limitaciones de espacio.
- Fácil mantenimiento: el acceso a las placas inclinadas facilita el mantenimiento y la limpieza del equipo.

Los sedimentadores tipo lamella se utilizan en diversas aplicaciones, como en plantas de tratamiento de aguas residuales, en la industria química, en la minería y en otros procesos donde se requiera la separación de sólidos suspendidos del agua. Ayudan a mejorar la eficiencia de la sedimentación y reducir la carga de sólidos en el efluente tratado, lo que contribuye a la protección del medio ambiente y al cumplimiento de regulaciones ambientales.

La eficiencia de un sedimentador tipo lamella depende de varios factores, incluyendo el diseño del equipo, la calidad del agua o efluente a tratar, la velocidad de sedimentación de las partículas suspendidas y la operación adecuada del sistema. A continuación, se describen algunos de los factores que influyen en la eficiencia de un sedimentador tipo lamella:

- Diseño de las placas inclinadas: la eficiencia del sedimentador tipo lamella está influenciada por la geometría y la inclinación de las placas. Un diseño adecuado de las placas es esencial para maximizar la superficie de sedimentación y facilitar la separación de sólidos. El ángulo de inclinación de las placas, la distancia entre ellas y la altura del equipo son aspectos clave del diseño que pueden afectar la eficiencia.

- Carga de sólidos: la cantidad y la naturaleza de los sólidos suspendidos presentes en el agua o efluente a tratar tienen un impacto significativo en la eficiencia del sedimentador. Un alto contenido de sólidos o partículas de tamaño muy pequeño puede reducir la eficiencia de separación.
- Velocidad de sedimentación: la velocidad a la que las partículas suspendidas se asientan en el sedimentador es crucial para su eficiencia. Una velocidad de sedimentación adecuada permite que las partículas se asienten en las placas inclinadas y se separen del agua con eficacia.
- Tiempo de retención: el tiempo que el agua pasa en el sedimentador también es un factor crítico. Un tiempo de retención inadecuado puede limitar la eficiencia de la sedimentación. Es importante que el flujo del agua sea lo suficientemente lento como para permitir que las partículas se asienten en las placas.
- Mantenimiento y limpieza: la eficiencia del sedimentador se puede ver comprometida si las placas inclinadas están obstruidas por acumulaciones de sólidos. El mantenimiento regular y la limpieza de las placas son esenciales para mantener la eficiencia del equipo.
- Control de flujo: la regulación adecuada del flujo de entrada y salida del sedimentador es importante para garantizar una operación eficiente. Un control inadecuado del flujo puede llevar a la sobrecarga o la subutilización del sedimentador.
- Control de coagulantes y floculantes: en algunas aplicaciones, la adición de coagulantes y floculantes puede mejorar la eficiencia de sedimentación al promover la aglomeración de partículas, lo que facilita su separación.

3.11.1. Funcionamiento de sedimentador tipo lamella

El funcionamiento de un sedimentador tipo lamella se basa en la utilización de placas inclinadas o lamelas para separar los sólidos suspendidos del agua o

efluente. Estas placas inclinadas son el componente clave del sedimentador y permiten una sedimentación más eficiente en un espacio reducido. A continuación, se describe el funcionamiento básico de un sedimentador tipo lamella:

- **Entrada de agua:** el agua o el efluente a tratar se introduce en la parte superior del sedimentador. La entrada puede estar diseñada para distribuir el flujo de manera uniforme en la parte superior del equipo.
- **Distribución y flujo laminar:** el agua se distribuye de manera uniforme sobre las placas inclinadas. La disposición de las placas y la inclinación de las mismas crean un flujo laminar dentro del sedimentador, lo que significa que el agua fluye suavemente hacia abajo por las placas, evitando la turbulencia.
- **Sedimentación de sólidos:** a medida que el agua fluye a lo largo de las placas inclinadas, los sólidos suspendidos en el agua tienen la oportunidad de asentarse. Debido a la inclinación de las placas, los sólidos descienden por gravedad hacia la parte inferior del sedimentador, donde se acumulan.
- **Salida de agua tratada:** el agua tratada, que ahora contiene una menor cantidad de sólidos suspendidos, sale por la parte superior o lateral del sedimentador, pasando a través de un vertedero o un dispositivo de control de nivel.
- **Retorno de los sólidos:** los sólidos sedimentados en el fondo del sedimentador se retiran periódicamente. Esto se hace mediante un sistema de rastrillo o un mecanismo de recogida de lodos que raspa los sólidos acumulados y los transporta hacia una tolva de recogida de lodos.

Es importante destacar que el diseño de las placas inclinadas es fundamental para el funcionamiento eficiente del sedimentador tipo lamella. El ángulo de inclinación de las placas, la distancia entre ellas y su diseño en forma de "V" o "W" son aspectos clave para maximizar la superficie de sedimentación y reducir la interferencia entre las partículas en suspensión.

La eficiencia de un sedimentador tipo lamella se logra gracias a la mayor superficie de sedimentación disponible en comparación con un sedimentador convencional, lo que permite una separación más efectiva de los sólidos suspendidos. Además, la disposición de las placas y el flujo laminar contribuyen a minimizar la turbulencia y mejorar el rendimiento de la sedimentación.

Figura 28.

Construcción de sedimentador tipo lamella



Nota. Vista área de la construcción del sedimentador. Elaboración propia.

La construcción de un sedimentador tipo lamella, también conocido como decantador lamelar, es un proceso que requiere de planificación y cuidado para asegurar su correcto funcionamiento. Los sedimentadores tipo lamella son equipos utilizados en el tratamiento de aguas residuales para la separación y eliminación de partículas sólidas suspendidas en el agua. A continuación, se describen los pasos principales para la construcción de un sedimentador tipo lamella:

3.11.2. Diseño y planificación

Antes de iniciar la construcción, es necesario realizar un diseño detallado del sedimentador lamelar y planificar todas las especificaciones técnicas. Se debe determinar el tamaño del sedimentador, el número de placas lamella, el ángulo de inclinación de las placas y otros parámetros de diseño.

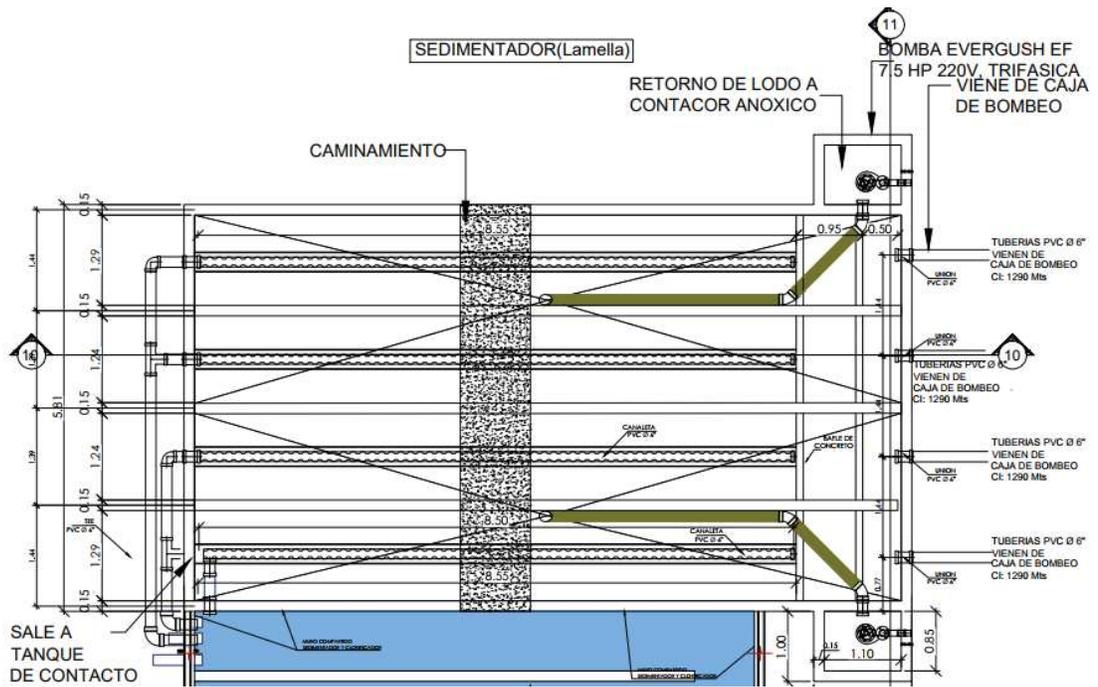
Los sedimentadores tipo lamella tienen una característica distintiva: la presencia de placas inclinadas o lamelas que aumentan significativamente la superficie de sedimentación en comparación con los sedimentadores convencionales. La forma básica del sedimentador tipo lamella puede variar según el diseño específico, pero la presencia de estas placas inclinadas es una constante. Aquí hay algunas formas comunes de sedimentadores tipo lamella:

- Rectangulares con placas inclinadas: esta es una forma común en la que el sedimentador tiene una sección transversal rectangular, pero en el interior cuenta con placas inclinadas o lamelas que ocupan parte del espacio. El flujo del agua se dirige a través de estas placas para facilitar la sedimentación.

- Paralelogramo con placas inclinadas: algunos sedimentadores tipo lamela pueden tener una forma paralelogramo en lugar de un rectángulo e incorporar placas inclinadas para maximizar el área de sedimentación.
- Con Forma de V con Placas Inclinadas: Puede haber sedimentadores tipo lamela con una forma en V, donde el agua fluye a través de un canal en forma de V con placas inclinadas.
- Modular con placas inclinadas: algunos sedimentadores lamelares se diseñan de manera modular, permitiendo la expansión o contracción según las necesidades del proyecto. Estos módulos pueden tener formas específicas.
- Canales empacados con placas inclinadas: en aplicaciones específicas, especialmente en la industria, se pueden utilizar canales empacados con placas inclinadas para crear un área de sedimentación eficiente.
- Diseño de flujo ascendente con placas inclinadas: algunos sedimentadores tipo lamela pueden tener un diseño de flujo ascendente, donde el agua fluye hacia arriba a través de las placas inclinadas para mejorar la sedimentación.
- Forma tubular con placas inclinadas: en ciertos casos, los sedimentadores lamelares pueden tener una forma tubular, y el agua fluye a través de placas inclinadas dispuestas dentro del tubo.

Figura 29.

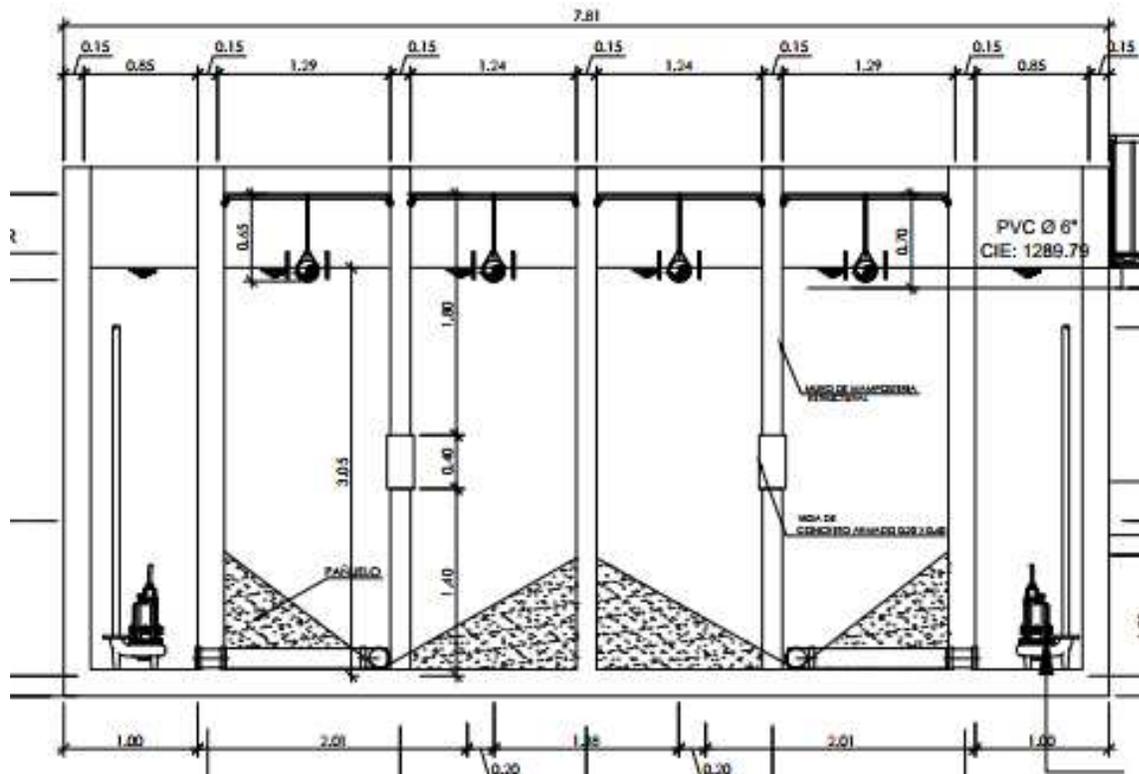
Diseño, planta sedimentador tipo lamella



Nota. El plano muestra el diseño del sedimentador tipo lamella. Obtenido de WATER SYSTEM MANAGEMENT, S.A. (2022). *Planta de tratamiento de aguas residuales – tramo SB2 VAS.* (p.6). WASYMA, S.A.

Figura 30.

Diseño, perfil sedimentador tipo lamella



Nota. El plano muestra el diseño del sedimentador tipo lamella. Obtenido de WATER SYSTEM MANAGEMENT, S.A. (2022). *Planta de tratamiento de aguas residuales – tramo SB2 VAS.* (p.6). WASYMA, S.A.

Cabe mencionar que en la planta de tratamiento de agua residual fue utilizado el diseño de flujo ascendente con placas inclinadas, ya que se adaptaba perfectamente a las necesidades del proyecto.

3.11.3. Preparación del sitio

Se debe preparar el sitio de construcción asegurándose de que esté nivelado y limpio de cualquier obstrucción o vegetación que pueda interferir con la instalación del sedimentador.

Figura 31.

Preparación de sitio Sedimentador Tipo Lamella



Nota. La preparación fue similar a la de los otros dos tanques antes mencionados. Elaboración propia.

3.11.4. Construcción de la estructura

El sedimentador tipo lamella generalmente está construido de acero o concreto. Se debe construir la estructura del sedimentador de acuerdo con el diseño y las especificaciones. Las placas lamella se montan en la estructura para formar canales verticales a lo largo de las cuales el agua se mueve.

El diseño rectangular del sedimentador tipo lamella fue elaborado de concreto reforzado de 3000 PSI, el cual en su interior contiene muros de mampostería tipo B según las normas COGUANOR NTG-41054, canaletas o colectores de lodo de PVC \varnothing 6" en la parte inferior del sedimentador tipo lamella para recoger los sólidos sedimentados y facilitar su extracción.

El sedimentador está compuesto por placas lamella elaborados de concreto reforzado que son elementos clave del sedimentador, ya que proporcionan una gran área superficial para la sedimentación de partículas. Se deben instalar las placas lamella con el ángulo de inclinación adecuado para facilitar el proceso de separación de sólidos y permitir que los sólidos sedimentados se deslicen hacia el fondo del sedimentador.

Podemos encontrar dos sistemas de bombas trifásicas que sirven de retorno de lodo a contactor anóxico, es poco común utilizar bombas trifásicas para el funcionamiento de un sedimentador tipo lamella en una planta de tratamiento de aguas residuales. Las bombas trifásicas están diseñadas para funcionar con sistemas de suministro de energía trifásica, que es comúnmente utilizado en aplicaciones industriales y comerciales donde se requiere una mayor potencia y eficiencia en el consumo de energía.

Es importante seleccionar el tipo de bomba adecuado para la aplicación específica en una planta de tratamiento de aguas residuales. La elección de la bomba depende del caudal y la altura de bombeo requerido, así como de la disponibilidad y tipo de suministro de energía eléctrica en el lugar. Además, se deben considerar factores como la eficiencia energética y el mantenimiento para garantizar un funcionamiento confiable y eficiente de la planta de tratamiento.

Los sedimentadores tipo lamela suelen estar contruidos con materiales resistentes a la corrosión y duraderos, ya que están diseñados para el tratamiento de agua y aguas residuales. Los materiales comunes utilizados en la construcción de sedimentadores tipo lamela incluyen:

- Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV): el PRFV es un material compuesto que combina plástica con fibras de vidrio. Es resistente a la corrosión, ligero y duradero, lo que lo convierte en una opción popular para la construcción de placas lamelares.
- Polipropileno (PP): el polipropileno es un plástico resistente a la corrosión y es comúnmente utilizado en la fabricación de placas lamelares. Es conocido por su resistencia química y durabilidad.
- Acero Inoxidable: el acero inoxidable es un material resistente a la corrosión y se utiliza en aplicaciones donde se requiere una mayor resistencia mecánica. Puede ser utilizado para la construcción de estructuras de soporte y componentes del sedimentador tipo lamela.
- Aluminio: el aluminio es otro material ligero y resistente a la corrosión que puede ser utilizado en la fabricación de placas lamelares. Sin embargo, puede no ser tan resistente a algunos ambientes corrosivos como el acero inoxidable.

- PVC (Cloruro de Polivinilo): el PVC es un plástico que se utiliza a menudo en la construcción de componentes de sedimentadores tipo lamela. Es resistente a la corrosión y proporciona una opción económica.
- UPVC (Cloruro de Polivinilo no plastificado): el UPVC es una variante del PVC que ofrece una mayor resistencia a la temperatura y a algunos productos químicos. También se utiliza en la construcción de placas lamelares.

La elección del material dependerá de diversos factores, como la naturaleza del agua a tratar, las condiciones ambientales, los requisitos de resistencia mecánica y las consideraciones económicas. Es importante seleccionar materiales que sean compatibles con los componentes químicos del agua y que puedan soportar las condiciones específicas del entorno.

Para este diseño en específico se utilizaron materiales de tubería de acero inoxidable, accesorios de polipropileno, PVC para tuberías y Wáterstop fabricada a base de cloruro de polivinilo (PVC) en forma de tira continua de gran flexibilidad y elasticidad.

Cabe mencionar que para este tipo de sedimentadores existen algunas recomendaciones generales sobre las velocidades óptimas de sedimentación para este tipo de dispositivos. Estas velocidades suelen expresarse en términos de la velocidad superficial del agua a través de las placas lamelares y se miden en metros por hora (m/h). Aquí hay una guía general:

- Principio del formulario
 - Velocidades superficiales bajas a moderadas: en muchos casos, las velocidades superficiales recomendadas para sedimentadores tipo

lamela pueden oscilar entre 0.5 y 2.0 m/h. Estas velocidades permiten que las partículas sólidas tengan suficiente tiempo para sedimentar en las placas inclinadas.

- Optimización según la carga de sólidos: la velocidad de sedimentación óptima puede variar según la carga de sólidos en el agua. En situaciones de alta carga, puede ser necesario ajustar la velocidad para permitir una sedimentación efectiva.
- Diseño del sedimentador: el diseño específico del sedimentador tipo lamela, incluyendo la inclinación de las placas y la distancia entre ellas, también influye en la velocidad óptima. Un diseño bien ajustado puede permitir una sedimentación eficiente a velocidades relativamente bajas.
- Consideraciones de aplicación: las velocidades de sedimentación pueden variar según la aplicación. Por ejemplo, en aplicaciones de tratamiento de aguas residuales municipales, las velocidades pueden ser diferentes en comparación con aplicaciones industriales.
- Control de flujo: se debe tener un control preciso del flujo de agua a través del sedimentador para asegurar que las partículas tengan suficiente tiempo de contacto con las placas lamelares.

Se recomienda realizar pruebas piloto o análisis detallados del diseño para determinar la velocidad de sedimentación más eficiente en un contexto particular.

Además, la eficacia del sedimentador no solo depende de la velocidad, sino también de otros factores como la distribución del flujo, la forma y disposición de las placas lamelares, y la calidad del diseño general del sistema. Las cuales fueron consideradas para la elaboración de este sedimentador tipo lamella, así como también las dimensiones del mismo.

Figura 32.

Construcción sedimentador tipo lamella



Nota. El tanque fue construido con muros perimetrales fundidos y sus muros internos con mampostería reforzada con ground. Elaboración propia.

3.12. Contactador de cloro

Un contactador de cloro, también conocido como tanque de cloración o sistema de dosificación de cloro, es un componente importante en algunas plantas de tratamiento de aguas residuales. Su función principal es agregar cloro o compuestos de cloro al agua tratada antes de su descarga al medio ambiente. El cloro se utiliza comúnmente como desinfectante para eliminar organismos patógenos y microorganismos nocivos presentes en el agua tratada, lo que ayuda a garantizar la seguridad sanitaria del efluente antes de su liberación.

En una planta de tratamiento anaeróbica, que emplea procesos biológicos sin oxígeno para eliminar contaminantes orgánicos, el clorador se instala

generalmente después del reactor anaeróbico y de los procesos de tratamiento biológico. Después de la digestión anaeróbica y la separación de los sólidos, el agua residual aún puede contener microorganismos y patógenos que pueden representar un riesgo para la salud pública.

El contactor de cloro permite agregar una cantidad controlada y precisa de cloro al agua tratada para desinfectarla antes de su descarga. Sin embargo, es esencial controlar cuidadosamente la dosis de cloro para evitar la formación de subproductos nocivos, como trihalometanos, que pueden resultar de la reacción del cloro con la materia orgánica residual. Por lo tanto, la dosificación de cloro se realiza de manera controlada y ajustada según las necesidades específicas de desinfección y las características del agua tratada.

Es importante destacar que el uso del cloro para la desinfección debe cumplir con las regulaciones y normativas ambientales para evitar cualquier impacto negativo en el medio ambiente.

Además, en algunas plantas de tratamiento, especialmente aquellas que descargan en cuerpos de agua sensibles o que producen efluentes para la reutilización, se pueden considerar alternativas de desinfección más sostenibles, como el uso de luz ultravioleta (UV) o peróxido de hidrógeno (H₂O₂), que no generan subproductos de cloración. La elección del método de desinfección adecuado dependerá de las condiciones específicas de cada planta de tratamiento y los requisitos regulatorios locales.

Figura 33.

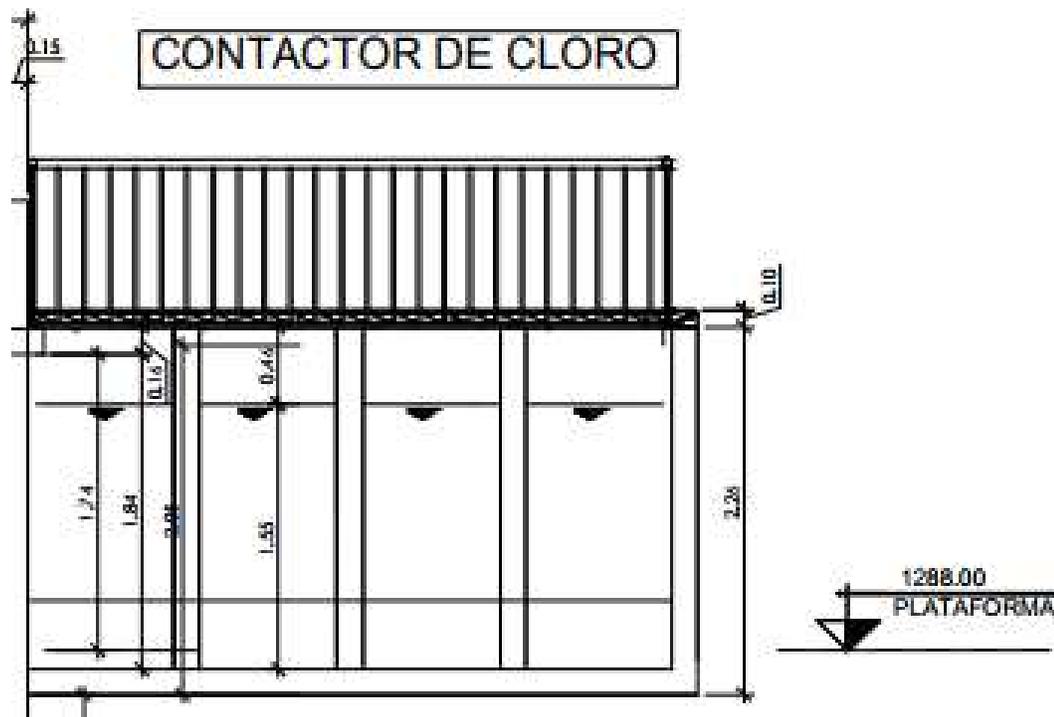
Planta contactor de cloro



Nota. El contactor de cloro es el encargado de terminar de sanear las aguas. Elaboración propia.

Figura 34.

Perfil contactor de cloro



Nota. El plano muestra el diseño del contactor de cloro. Obtenido de WATER SYSTEM MANAGEMENT, S.A. (2022). *Planta de tratamiento de aguas residuales – tramo SB2 VAS.* (p.6). WASYMA, S.A.

Después del proceso, el efluente pasara por un dosificador de cloro y por dos tanques de contacto, los cuales son el existente y el nuevo por construir con dos objetivos, el primero eliminar todas las bacterias presentes en el proceso y segundo cumplir con el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

El dosificador de Cloro está conformado por un tinaco que contiene cloro y este se administra por medio de una bomba directo a la entrada del primer tanque.

Figura 35.

Sedimentador tipo la mella y Contactor de cloro



Nota. Vista área de ambos tanques en funcionamiento. Elaboración propia.

3.13. Patio de secado de lodos

El patio de secado de lodos es una instalación complementaria que se utiliza en algunas plantas de tratamiento de aguas residuales con procesos anaeróbicos para el tratamiento de los lodos resultantes. Después de la etapa de digestión anaeróbica, donde los lodos se descomponen y estabilizan biológicamente, es necesario eliminar el exceso de agua de los lodos para reducir su volumen y convertirlos en un producto más manejable y seguro para su disposición final.

El patio de secado de lodos es un área al aire libre o cubierta donde se extienden los lodos digeridos en capas delgadas para permitir que la mayor parte del agua presente se evapore por acción del sol, el viento y el calor ambiente. A medida que los lodos se secan, el contenido de agua se reduce significativamente, lo que reduce el volumen total de los lodos y mejora su estabilidad física y biológica.

El proceso de secado puede llevar varios días, dependiendo del clima local y las condiciones ambientales. Los lodos secos resultantes tienen un contenido de humedad mucho menor y pueden ser más fáciles de manejar, transportar y disponer de manera segura.

Es importante destacar que, aunque el patio de secado de lodos es una opción efectiva para el tratamiento de los lodos en algunas plantas de tratamiento, no es adecuado en todas las situaciones. Las condiciones climáticas, el espacio disponible y las regulaciones ambientales locales son factores que influyen en la viabilidad de esta práctica. En algunas plantas, se utilizan tecnologías de secado más avanzadas y eficientes, como secadores térmicos, secado por lecho fluidizado o secado por lodos en bandas, que permiten un mayor control sobre el proceso de secado y reducen el tiempo requerido para alcanzar los niveles de humedad deseados. La elección de la tecnología de secado dependerá de los requisitos específicos de cada planta de tratamiento y las condiciones locales.

Figura 36.

Construcción patio de secado de lodos



Nota. El patio es el encargado de recibir la acumulación excesiva de lodos en el RAFA.
Elaboración propia.

Figura 37.

Patio de secado de lodos



Nota. Patio de lodos terminado. Elaboración propia.

3.14. Instalación de equipos y sistemas

Se instalan equipos adicionales necesarios para el funcionamiento de la planta, como bombas para el transporte del agua residual, agitadores para el reactor anaeróbico y sistemas de control y monitoreo. También se incorporan sistemas de seguridad y prevención de accidentes.

3.15. Guardianía

La guardianía en una planta de tratamiento se refiere a la presencia y supervisión constante de personal encargado de velar por el correcto funcionamiento, seguridad y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

La guardianía es esencial para garantizar que todas las operaciones y procesos de la planta se realicen de acuerdo con los procedimientos establecidos, las regulaciones ambientales y los estándares de seguridad. Algunas de las responsabilidades de la guardianía en una planta de tratamiento pueden incluir:

- **Monitoreo y control:** el personal de guardianía supervisa los diferentes equipos y sistemas de la planta para asegurarse de que funcionen correctamente. Esto puede implicar la revisión de indicadores de funcionamiento, lecturas de medidores, monitoreo de caudales y control de parámetros operativos.
- **Mantenimiento preventivo:** la guardianía es responsable de llevar a cabo actividades de mantenimiento preventivo en los equipos y maquinaria de

la planta. Esto incluye revisiones periódicas, lubricación, limpieza y otras tareas para garantizar el buen estado y la eficiencia de los equipos.

- Seguridad: el personal de guardianía se asegura de que se cumplan todas las normas de seguridad en la planta de tratamiento. Esto incluye el uso adecuado de equipos de protección personal (EPP), la identificación y prevención de posibles riesgos y la respuesta a situaciones de emergencia.
- Registro y reporte: los guardianes deben mantener registros detallados de las operaciones y eventos en la planta, así como reportar cualquier problema o incidente que ocurra durante su turno de trabajo.
- Control de accesos: la guardianía también puede encargarse del control de accesos a las instalaciones de la planta para garantizar que solo el personal autorizado tenga acceso a las áreas restringidas.

La guardianía juega un papel fundamental en el buen funcionamiento y la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales. Su presencia constante y atención cuidadosa ayudan a prevenir problemas y garantizar que la planta opere de manera segura y efectiva, lo que a su vez contribuye a la protección del medio ambiente y la salud pública.

Figura 38.

Construcción de guardianía



Nota. El área de guardianía es la encargada de salvaguardar el tablero que acciona las bombas de la PTAR. Elaboración propia.

Figura 39.

Guardianía



Nota. El área de guardianía es la encargada de salvaguardar el tablero que acciona las bombas de la PTAR. Elaboración propia.

En conclusión, la comparación del proceso constructivo entre un sedimentador convencional y un sedimentador tipo lamella muestra diferencias significativas en cuanto a su diseño, construcción y funcionamiento.

El sedimentador convencional es un equipo tradicional que utiliza placas paralelas o tubos para lograr la sedimentación de sólidos suspendidos en el agua residual. Su proceso constructivo implica la instalación de placas o tubos en la parte superior del tanque, lo que requiere un mayor espacio vertical. Además, puede necesitar un mayor tiempo de construcción debido a la disposición y el número de placas que deben colocarse en el tanque.

Por otro lado, el sedimentador tipo lamella es una versión más moderna y compacta del sedimentador convencional. Utiliza placas inclinadas o lamella que se disponen en un ángulo para aumentar la superficie de sedimentación. Su proceso constructivo implica la instalación de las placas lamella en la parte inclinada del tanque, lo que permite un mejor aprovechamiento del espacio vertical y una mayor eficiencia en la sedimentación. Esto resulta en una planta más compacta y menos costosa en términos de infraestructura y espacio requerido.

En resumen, el proceso constructivo del sedimentador tipo lamella ofrece ventajas significativas en comparación con el sedimentador convencional. Es más eficiente en términos de espacio y construcción, lo que permite la implementación de plantas de tratamiento en áreas con limitaciones de espacio. Además, su diseño mejora la capacidad de sedimentación, lo que contribuye a una mayor eficiencia en el tratamiento de aguas residuales.

La elección entre un sedimentador convencional y un sedimentador tipo lamella dependerá de las necesidades específicas de cada planta de tratamiento

y las condiciones del sitio. Ambos tienen sus ventajas y desafíos, por lo que es esencial considerar factores como el caudal de aguas residuales, el espacio disponible y los requisitos de tratamiento para seleccionar la mejor opción para cada proyecto.

4. RESULTADOS

La comparación del proceso constructivo entre un sedimentador convencional y un sedimentador tipo lamella muestra diferencias significativas en cuanto a su diseño, construcción y funcionamiento.

El sedimentador convencional es un equipo tradicional que utiliza placas paralelas o tubos para lograr la sedimentación de sólidos suspendidos en el agua residual. Su proceso constructivo implica la instalación de placas o tubos en la parte superior del tanque, lo que requiere un mayor espacio vertical. Además, puede necesitar un mayor tiempo de construcción debido a la disposición y el número de placas que deben colocarse en el tanque.

Por otro lado, el sedimentador tipo lamella es una versión más moderna y compacta del sedimentador convencional. Utiliza placas inclinadas o lamella que se disponen en un ángulo para aumentar la superficie de sedimentación. Su proceso constructivo implica la instalación de las placas lamella en la parte inclinada del tanque, lo que permite un mejor aprovechamiento del espacio vertical y una mayor eficiencia en la sedimentación. Esto resulta en una planta más compacta y menos costosa en términos de infraestructura y espacio requerido.

En resumen, el proceso constructivo del sedimentador tipo lamella ofrece ventajas significativas en comparación con el sedimentador convencional. Es más eficiente en términos de espacio y construcción, lo que permite la implementación de plantas de tratamiento en áreas con limitaciones de espacio.

Además, su diseño mejora la capacidad de sedimentación, lo que contribuye a una mayor eficiencia en el tratamiento de aguas residuales.

La elección entre un sedimentador convencional y un sedimentador tipo lamella dependerá de las necesidades específicas de cada planta de tratamiento y las condiciones del sitio. Ambos tienen sus ventajas y desafíos, por lo que es esencial considerar factores como el caudal de aguas residuales, el espacio disponible y los requisitos de tratamiento para seleccionar la mejor opción para cada proyecto.

Los resultados de una planta de tratamiento anaeróbica con sedimentador tipo lamella dependerán de varios factores, como el diseño de la planta, el tamaño, la carga de aguas residuales, la calidad del agua de entrada y las condiciones operativas. Sin embargo, en general, se pueden esperar algunos resultados comunes en una planta de este tipo:

- Mayor eficiencia de tratamiento: el sedimentador tipo lamella tiene una mayor superficie de sedimentación debido a las placas inclinadas, lo que mejora la separación de sólidos y permite una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes orgánicos. Esto lleva a una mayor reducción de la materia orgánica y una mejora en la calidad del agua tratada.
- Menor consumo de energía: debido a la mayor eficiencia del sedimentador tipo lamella, se puede requerir menos energía para mantener el flujo ascendente y el proceso de sedimentación. Esto puede traducirse en un menor consumo de energía en comparación con otras tecnologías de sedimentación convencionales.

- Menor generación de lodos: la mayor eficiencia de sedimentación del sedimentador tipo lamella también puede resultar en una menor generación de lodos, ya que se retiene una mayor cantidad de sólidos suspendidos en el proceso anaeróbico. Esto puede reducir los costos asociados con el manejo y disposición de lodos.
- Espacio reducido: el diseño compacto del sedimentador tipo lamella permite ahorrar espacio en la planta de tratamiento, lo que es especialmente valioso en áreas con limitaciones de espacio.
- Mayor estabilidad operativa: la mayor eficiencia y capacidad de sedimentación del sedimentador tipo lamella contribuyen a una mayor estabilidad operativa de la planta de tratamiento, lo que permite manejar mejor las variaciones en la carga de aguas residuales y los cambios en las condiciones de operación.
- Menor tiempo de construcción: la instalación de placas lamella en el sedimentador tipo lamella es más rápida y sencilla en comparación con la disposición de tubos o placas paralelas en sedimentadores convencionales. Esto reduce el tiempo de construcción, lo que resulta en una puesta en marcha más rápida de la planta de tratamiento y una reducción en los costos asociados con el tiempo de construcción.
- Menores costos de operación y mantenimiento: la mayor eficiencia del sedimentador tipo lamella se traduce en menores costos operativos y de mantenimiento a lo largo de la vida útil de la planta de tratamiento. La reducción de sólidos en las etapas iniciales del proceso también implica menores costos de manejo y disposición de los lodos.

El proceso constructivo de una planta de tratamiento utilizando el sedimentador tipo lamella ofrece beneficios significativos en términos de eficiencia del espacio, capacidad de tratamiento, tiempo de construcción, eficiencia en la sedimentación y costos operativos y de mantenimiento. Estas ventajas hacen del sedimentador tipo lamella una opción atractiva y efectiva para el tratamiento de aguas residuales en diversos entornos y aplicaciones.

Es importante tener en cuenta que los resultados pueden variar según las condiciones específicas de cada planta y la calidad del agua tratada. Además, es esencial realizar un monitoreo continuo y un mantenimiento adecuado para garantizar el óptimo rendimiento de la planta de tratamiento anaeróbica con sedimentador tipo lamella.

4.1. Memoria descriptiva

La presente memoria descriptiva tiene como objetivo proporcionar una descripción detallada de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de tipo anaeróbico que implementa un sedimentador tipo lamella. La planta se diseñó para tratar las aguas residuales generadas por una población urbana y se enfoca en la eficiente eliminación de contaminantes orgánicos a través de procesos anaeróbicos y la separación de sólidos suspendidos mediante el uso del sedimentador tipo lamella.

4.1.1. Sistema de recolección y conducción de aguas residuales

El Sistema De drenaje está Diseñado con Criterio de Drenaje de aguas negras.

Existe una caja antes del ingreso a la Planta de tratamiento anaeróbica, esta planta de tratamiento dará Soporte a la descarga de agua Servida para luego descargar a cuerpo receptor.

4.1.2. Características del afluente y efluente

En los siguientes incisos se describen las características del afluente y efluente.

4.1.2.1. Calidad del afluente

La planta de tratamiento anaeróbica trata una carga orgánica, a condiciones de diseño (máxima ocupación), de 1036.80 Kg de Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO5, por día.

Esta carga equivale a tratar aguas residuales domésticas con una concentración media de 600 mg/L de DBO5.

La planta deberá ser capaz de tratar aguas residuales con las características de las siguientes tablas:

Tabla 5.*Características del afluente*

PARAMETRO	VALOR
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	900 mg/L
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO5)	600 mg/L
Grasas Y Aceites	50 mg/L
Potencial Hidrogeno (pH)	6.0 a 9
Temperatura	Rango (15-35 °C)
Sólidos Suspendidos Totales	400 mg/l
Material Flotante	presente
Color	1000 u Pt-C
Nitrógeno Total	85 mg/L
Fósforo Total	30 mg/L
Coliformes Fecales	10 ⁸ NMP /100ml

Nota. Datos de acuerdo al diseño de la PTAR. Elaboración propia, realizado con Excel.

4.1.2.2. Calidad del efluente

La Planta Contará con un porcentaje de eficiencia tal que entregará el efluente de la PTAR (el agua ya tratada) con las características de la Tabla 4:

Tabla 6.*Características del efluente de la planta de tratamiento*

PARAMETRO	VALOR
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	<100 mg/L
Demanda Bioquímica De Oxígeno (DBO5)	<50mg/L
Grasas Y Aceites	(<10 mg/L)
Potencial Hidrogeno (pH)	6.0 a 9
Temperatura	Rango (15-35 °C)
Sólidos Suspendidos Totales	<100 mg/l
Material Flotante	Ausentes
Color	<500 U Pt-C
Nitrógeno Total	<20 mg/L
Fósforo Total	<10 mg/L
Coliformes Fecales	<10 ⁴ NMP/100ml

Nota. Datos de acuerdo al diseño de la PTAR. Elaboración propia, realizado con Excel.

4.1.3. Características de los lodos

Esta planta de tratamiento contara con Patio de secado de lodos para el manejo de lodos tal como lo establece el artículo 47 del Acuerdo Gubernativo 236-2006, reglamento de las descargas y reusó de aguas residuales y de la disposición de lodos.

Figura 40.

Diagrama de flujo



Nota. Datos obtenidos de acuerdo al diseño de la PTAR. Elaboración propia, realizado con Excel.

4.2. Sistema de tratamiento

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, en la subcuenca del Río Guadrón, jurisdicción zona 21, Municipio de Guatemala. Está basada en un sistema de tratamiento de tipo biológico aeróbico de cultivo fijo no sumergido

El proceso de tratamiento aeróbico de aguas residuales, por medio de cultivo fijo no sumergido, tiene las siguientes ventajas:

- Es un proceso de tratamiento aeróbico que no necesita equipo eléctrico.
- Es un proceso altamente eficiente, capaz de entregar un efluente (agua tratada) cumpliendo con el Acuerdo Gubernativo 236-2006, que contienen Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO5, y de Sólidos Suspendidos Totales, SST.
- El proceso de puesta en operación del sistema es bastante rápido, permitiendo tener un efluente de buena calidad luego de dos o cuatro semanas de haber sido puesto en operación.

La PTAR ha sido dimensionada con base en la información suministrada por el diseñador del proyecto. La PTAR manejará un caudal promedio de 20 LPS equivalente a los 1728.00 m³/d aportados por el proyecto.

4.3. Ubicación

La planta de tratamiento se ubicará en un terreno seleccionado estratégicamente cerca de la fuente de aguas residuales a tratar y cumpliendo con todas las regulaciones ambientales y sanitarias aplicables.

CONCLUSIONES

1. En conclusión, el proceso constructivo de una planta de tratamiento anaeróbica con implementación de un sedimentador tipo lamella es una opción altamente eficiente y efectiva para el tratamiento de aguas residuales.
2. El uso de un sedimentador tipo lamella en la planta de tratamiento permite una mayor eficiencia en la sedimentación de sólidos suspendidos y clarificación del agua tratada, todo en un diseño más compacto en comparación con sedimentadores convencionales. Esto resulta en un ahorro de espacio en el sitio de construcción y en la posibilidad de adaptar la planta a áreas con limitaciones de espacio.
3. El proceso anaeróbico y la implementación del sedimentador tipo lamella aseguran una alta remoción de contaminantes orgánicos y sólidos suspendidos en las aguas residuales, garantizando que el efluente tratado cumpla con los estándares ambientales requeridos.
4. La planta de tratamiento anaeróbica tiene el beneficio adicional de la generación de biogás como subproducto. Este biogás puede ser utilizado como fuente de energía en la planta o para otros fines, lo que aumenta la sostenibilidad y la eficiencia energética del proyecto.
5. La eficiencia del sedimentador tipo lamella y la menor generación de lodos pueden reducir los costos operativos a lo largo de la vida útil de la planta

de tratamiento, lo que la hace más económica y sostenible en comparación con otras tecnologías.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un diseño detallado de la planta de tratamiento que incluya el reactor anaeróbico, el sedimentador tipo lamella y otros componentes necesarios. La planificación debe considerar las condiciones específicas del sitio, la calidad del agua residual y los caudales de tratamiento requeridos.
2. Utilizar materiales y equipos de alta calidad y resistencia, especialmente en el sedimentador tipo lamella, para asegurar una construcción duradera y de bajo mantenimiento.
3. Asegurarse de que el terreno esté debidamente preparado antes de la construcción. Esto puede incluir nivelación del terreno, compactación adecuada y consideración de posibles problemas geotécnicos.
4. Realizar la construcción del reactor anaeróbico siguiendo las especificaciones de diseño. Asegurarse de que las estructuras sean impermeables y estén bien selladas para evitar fugas de biogás u otros problemas.
5. Instalar el sedimentador tipo lamella de acuerdo con el diseño y las recomendaciones del fabricante. Asegurarse de que las placas lamella estén correctamente espaciadas y aseguradas para una óptima sedimentación.

6. Implementar sistemas de monitoreo y control para supervisar la operación de la planta de tratamiento. Esto permitirá detectar problemas o desviaciones en el proceso y tomar medidas correctivas de manera oportuna.
7. Capacitar al personal encargado de la operación y el mantenimiento de la planta en el funcionamiento de los equipos y el manejo seguro del biogás.
8. Asegurarse de cumplir con todas las regulaciones y normas ambientales y de seguridad aplicables durante el proceso constructivo y en la operación de la planta.
9. Realizar pruebas integrales para verificar el correcto funcionamiento de la planta antes de la puesta en marcha y la operación regular. Asegurarse de que todos los componentes y equipos estén funcionando correctamente.

REFERENCIAS

- Angulo, M. (2017). *Identificación y evaluación de riesgos ambientales del sistema de tratamiento de aguas residuales domiciliarias en el valle de concepción (Municipio de Uriondo)*. [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho]. Archivo digital. <https://dicyt.uajms.edu.bo/investigacion/index.php/quimica/article/download/242/213>
- Arregui, F. (11 de enero de 2022). *Importancia del tratamiento de aguas residuales*. CONTYQUIM. <https://contyquim.com/blog/importancia-del-tratamiento-de-aguas-residuales>
- HLC SISTEMAS. (10 de diciembre de 2019). *¿Cómo construir una planta de tratamiento de aguas residuales?* HLC Ingeniería y Construcción. <https://www.hlcsac.com/noticias/construir-planta-tratamiento-aguas-residuales/>
- LENNTECH. (s.f.). *Historia del tratamiento de agua potable*. WATER TREATMENT SOLUTIONS. <https://www.lenntech.es/procesos/desinfeccion/historia/historia-tratamiento-agua-potable.htm>
- López, G. (17 de junio de 2016). *Alarmante contaminación en ríos y lagos de Guatemala*. Prensa Libre. <https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/la-alarmante-contaminacion-en-los-rios-y-lagos-de-guatemala/>

Lucero, L., Reismann, R. y Ovando, D. (2 de diciembre de 2001). *Depuración de aguas residuales*. La Webtecnica. <http://lawebtecnica.freevar.com/material/depagua/depagua.html>

METCALF & EDDY, INC. (1995). *Ingeniería de aguas residuales*. McGraw-Hill, Inc.

Pire, C. (5 de diciembre de 2019). *Las aguas residuales: tipos y características*. La Contaminación. <https://lacontaminacion.org/aguas-residuales/>

Teamb. (12 de septiembre de 2019). *Historia de las Plantas de Agua*. Alternativa Aplicada Ambiental. <https://lacontaminacion.org/aguas-residuales/>

WeAreWater. (22 de marzo de 2017). *Aguas negras, el rastro de nuestra historia*. WAWF. <https://www.wearewater.org/es/insights/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia/>