



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

**MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DE LODOS ACTIVADOS EN EDIFICIOS DE LA ZONA 4 DE LA  
CIUDAD DE GUATEMALA**

**Luis Fernando Roca Elias**

Asesorado por el Ing. Luis Antonio Zamora Castillo

Guatemala, febrero de 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DE LODOS ACTIVADOS EN EDIFICIOS DE LA ZONA 4 DE LA  
CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LUIS FERNANDO ROCA ELIAS**

ASESORADO POR EL ING. LUIS ANTONIO ZAMORA CASTILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2020

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Avila
EXAMINADOR	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Dennis Salvador Argueta Mayorga
SECRETARIO	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez a. i.

## 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:

**MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LODOS ACTIVADOS EN EDIFICIOS DE LA ZONA 4 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 25 de octubre de 2018.



**Luis Fernando Roca Elias**

Guatemala, 08 de octubre de 2019

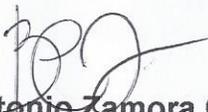
Ingeniero  
Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Jefe del departamento de Hidráulica  
Escuela de Ingeniería civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Estimado Ingeniero Aguilar.

Por este medio informo que he revisado el trabajo de graduación, titulado **“Manual de operación y mantenimiento de planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados en edificios de la zona 4 de la ciudad de Guatemala”**, desarrollado por el estudiante de ingeniería civil Luis Fernando Roca Elias, con carnet No. 200925298, el cual considero un buen aporte para la ingeniería civil, en un campo de alta demanda actual en nuestro país.

Por lo tanto, el contenido cumple los objetivos propuestos y al mismo tiempo sirve como una guía de estudio y aplicación en el ámbito de las aguas residuales, doy mi aprobación al mismo, y así solicitar el trámite respectivo.

Atentamente,



Ing. Luis Antonio Zamora Castillo  
Asesor





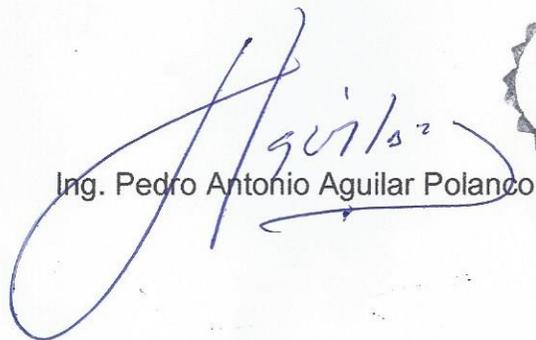
**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



El director de la Escuela de Ingeniería Civil y Jefe del Departamento de Hidráulica, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Luis Antonio Zamora Castillo, al trabajo de graduación del estudiante Luis Fernando Roca Elias **MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LODOS ACTIVADOS EN EDIFICIOS DE LA ZONA 4 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco



Guatemala, octubre 2019

/mrm.



*Más de 138 años de Trabajo y Mejora Continua*

Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref.DTG.057.2020

La Decana 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: **MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LODOS ACTIVADOS EN EDIFICIOS DE LA ZONA 4 DE LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Fernando Roca Elias**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

  
Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, Febrero de 2020

AACE/asga

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis padres**

Aura Marina Elias Estrada, por ser mi gran pilar, mi motor motivacional y a quien le debo el éxito alcanzado día a día; a mi padre Carlos Enrique Roca Orantes, que a través de la distancia siempre me ha apoyado en todo momento.

### **Mi hermano**

Gerson Alejandro Hernández Elias, quien me apoyó a lo largo de este camino con sus cualidades extraordinarias, compañía y consejos.

### **Mi esposa**

Mónica Gabriela Acabal Mayorga, por su infinito amor y quien a pesar de mis defectos y debilidades creyó en mí día a día para este logro alcanzado.

### **Mis abuelos**

Miguel Ángel Elias y Maria Sabina Estrada (q.e.p.d.), por el amor que me dieron en mi niñez y que forjaron en mí la educación, que me ha servido para que cada puerta que toco se abra. Este logro es fruto de sus cuidados y enseñanzas.

### **Mi familia**

Tios, tias, primos y primas, por su apoyo incondicional en cada meta trazada.

**Familia Acabal**

Charly, Letty, Maite y Nancy Acabal, por sus palabras alentadores y apoyarme a no desistir de este logro alcanzado.

**Mis amigos**

Por grandes amigos que la vida me ha regalado, y que han demostrado que la unión hace la fuerza, y que a pesar de las dificultades de la vida, no existen imposibles.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Porque todo lo que hago es para honra de Él, porque nada es imposible en su misericordia infinita.
<b>Mi mamá</b>	Por ser la persona que ha forjado con trabajo y amor a través de los años este logro alcanzado que también es tuyo.
<b>Mi hermano</b>	Por su gran apoyo incondicional en todo momento a lo largo de mis años y motivarme a no rendirme.
<b>Mi esposa</b>	Por ser mi motivación, pensar y crear un futuro prometedor para ambos.
<b>Mi asesor</b>	Luis Antonio Zamora Castillo, por el tiempo dedicado y la buena asesoría para que fuera posible la culminación de este proyecto.
<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Mi alma mater, que me forjó como profesional para ayudar y aportar a la sociedad guatemalteca. En especial, a la Facultad de Ingeniería, que, gracias a los conocimientos adquiridos, puedo afrontar los retos profesionales.

**Colegio Para Varones  
San Sebastián**

Mi primera casa de estudios, donde aprendí lo que son valores para desempeñarme en mi vida personal y profesional. “A tu sombra seremos mejores los alumnos de San Sebastián”.

**Grupo Apolo**

Por abrirme las puertas de su empresa, para poder crecer y desenvolverme profesionalmente llevando a cabo proyectos grandes que Guatemala necesita. Especialmente, al Ingeniero Juan Mini, impulsor de grandes ideas.

**Ing. José David González**

Por su apoyo incondicional, el cual me ha incentivado e inculcado el profesionalismo en la ingeniería civil.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Gestión ambiental en Guatemala y las aguas residuales.....	1
1.1.1. Definición.....	1
1.1.2. Gestión ambiental vigente .....	2
1.2. Aguas residuales .....	3
1.2.1. Composición de las aguas residuales .....	4
1.3. Planta de tratamiento de aguas residuales.....	4
1.3.1. Tipos de tratamiento de aguas residuales .....	7
1.3.1.1. Tratamientos físico – químicos .....	7
1.3.1.2. Tratamientos biológicos.....	8
1.3.1.3. Tratamientos químicos .....	8
1.3.2. Etapas de tratamiento de aguas residuales.....	9
1.3.2.1. Tratamiento preliminar.....	10
1.3.2.2. Tratamiento primario.....	11
1.3.2.3. Tratamiento secundario .....	12
1.3.2.4. Tratamiento terciario.....	13
1.3.2.5. Desinfección .....	13
1.3.2.5.1. Cloración .....	14

	1.3.2.5.2.	Dióxido de cloro .....	14
	1.3.2.5.3.	Hipoclorito de sodio.....	15
	1.3.2.5.4.	Radiación ultravioleta (UV).....	15
	1.3.2.5.5.	Ozono .....	16
1.3.3.		Sistema de tratamiento de agua residual de lodos activados.....	16
	1.3.3.1.	Procesos de un sistema por lodos activados .....	18
1.3.4.		Componentes de planta de tratamiento de lodos activados .....	19
	1.3.4.1.	Componentes básicos.....	20
		1.3.4.1.1. Canal de rejillas .....	20
		1.3.4.1.2. Trampa de grasa.....	20
		1.3.4.1.3. Aireador.....	21
		1.3.4.1.4. Sedimentador.....	21
		1.3.4.1.5. Digestor de lodos .....	22
		1.3.4.1.6. Desinfección del agua tratada .....	22
2.		OPERACIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LODOS ACTIVADOS .....	25
	2.1.	Disposiciones iniciales y puesta en marcha .....	29
		2.1.1. Disposiciones iniciales .....	30
	2.2.	Puesta en marcha .....	31
	2.3.	Revisión del estado de funcionamiento.....	33
	2.4.	Determinación de volúmenes de lodos .....	35
	2.5.	Sistema de retorno de lodos y espumas .....	38
		2.5.1. Retorno de lodos .....	38

2.5.2.	Retorno de espumas ( <i>skimmer</i> ).....	39
2.6.	Retiro de excesos de lodos .....	39
2.7.	Medición de temperatura .....	41
2.8.	Revisión de operación de los sopladores .....	41
2.9.	Registro de operación.....	41
2.9.1.	Registros físicos .....	42
2.9.2.	Registros de desempeño.....	43
3.	MANTENIMIENTO DE PTAR DE LODOS ACTIVADOS.....	45
3.1.	Parámetros básicos de mantenimiento .....	46
3.1.1.	Mantenimiento preventivo.....	46
3.1.2.	Mantenimiento correctivo.....	47
3.1.3.	Programa de mantenimiento.....	47
3.1.3.1.	Estrategias.....	48
3.1.3.1.1.	Mantenimiento programado .....	48
3.1.3.1.2.	Mantenimiento predictivo .....	48
3.1.3.1.3.	Operar hasta la falla .....	49
3.1.3.1.4.	Mantenimiento de oportunidad.....	49
3.1.3.1.5.	Rediseño por obsolescencia.....	49
3.1.3.2.	Técnicas de monitoreo de condiciones.....	49
3.1.3.2.1.	Los sentidos humanos..	50
3.1.3.2.2.	Técnicas ópticas.....	50
3.2.	Plan de mantenimiento .....	50
3.3.	Análisis en campo, monitoreo y control del proceso.....	52

3.4.	Actividades de mantenimiento por unidad.....	53
3.4.1.	Limpieza de caja de rejillas y vertedero de salida del sedimentador.....	53
3.4.2.	Trampa de grasa.....	54
3.4.3.	Tanque de aireación.....	54
3.4.4.	Tanque de sedimentación o clarificador.....	55
3.4.5.	Sopladores ( <i>blower</i> ).....	55
3.4.6.	Mantenimiento de las bombas sumergibles.....	56
3.4.7.	Desinfección y dosificación del cloro.....	57
3.5.	Seguridad industrial e higiene ocupacional en la planta de tratamiento.....	57
3.5.1.	Definición.....	57
3.5.1.1.	Seguridad industrial.....	58
3.5.1.2.	Higiene ocupacional.....	58
3.5.2.	Identificación y clasificación de riesgos en PTAR ...	58
3.5.3.	Equipo y material de seguridad industrial.....	61
3.5.4.	Medidas de higiene.....	63
	CONCLUSIONES.....	67
	RECOMENDACIONES.....	69
	BIBLIOGRAFÍA.....	73
	APÉNDICE.....	75

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Tratamiento de aguas residuales .....	7
2.	Diagrama del sistema de lodos activados .....	17
3.	Soplador o <i>blower</i> de PTAR.....	26
4.	Difusores de membrana .....	27
5.	Tabletas de cloro (hipoclorito de calcio) .....	28
6.	Bomba de trasiego .....	29
7.	Curva de sedimentación.....	37

## TABLAS

I.	Principales contaminantes presentes en aguas residuales.....	5
II.	Etapas y objetivos del tratamiento .....	9
III.	Procesos de lodos activados.....	19
IV.	Indicadores visuales.....	31
V.	Control operacional de la planta de tratamiento .....	34
VI.	Lista y verificación de equipo por unidad de proceso.....	43
VII.	Riesgos, origen y prevención de una PTAR.....	60
VIII.	Equipo y material de seguridad para la operación y el mantenimiento de PTAR .....	62



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Amperaje
<b>HP</b>	Caballo de fuerza
<b>Q</b>	Caudal
<b>cm</b>	Centímetro
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demanda biológica de oxígeno en cinco días
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno
<b>DBQ</b>	Demanda química de oxígeno
<b>P</b>	Fósforo
<b>H</b>	Hora
<b>m</b>	Metro
<b>mL</b>	Mililitro
<b>Min</b>	Minuto
<b>N</b>	Nitrógeno
<b>PTAR</b>	Planta de tratamiento de aguas residuales
<b>PVC</b>	Poli cloruro de vinilo
<b>%</b>	Porcentaje
<b>pH</b>	Potencial hidrógeno
<b>RPM</b>	Revolución por minuto
<b>SST</b>	Sólidos suspendidos totales
<b>SP1</b>	Soplador principal
<b>TA</b>	Tanque de aireación
<b>T</b>	Temperatura (°C,°F,K)
<b>UV</b>	Ultra violeta

V

Voltaje

## GLOSARIO

<b>Afluente</b>	El agua captada por un ente generador.
<b>Aguas residuales</b>	Las aguas que han recibido uso y han sido afectadas negativamente.
<b>Aerobia</b>	Sistema que funciona con oxígeno para el crecimiento de las células que lo componen.
<b>Anaerobia</b>	Sistema que funciona con la propia materia orgánica para el crecimiento de las células que lo componen.
<b>Biodegradable</b>	Característica de algunas sustancias químicas de poder ser utilizadas como sustratos por microorganismos que las emplean para producir energía, en general, por dos vías metabólicas que son respiración aerobia en la que el donador final de electrones es el oxígeno y la respiración anaerobia en la que el donador final de electrones puede ser azufre, fósforo u otro elemento.
<b>Bitácora</b>	Documento de carácter personal, para apuntar con una estructura cronológica que se actualiza regularmente para un tema principal concreto.

<b>Clarificar</b>	Acción que trata de la remoción de turbiedad para aclarar, en especial, un líquido o una sustancia.
<b>Concentración</b>	Relación que existe entre la cantidad de sustancia disuelta y la del disolvente de una disolución.
<b>Cono Imhoff</b>	Recipiente graduado en forma de cono, usado para medir el volumen de sólidos sedimentables en líquidos provenientes de aguas residuales durante distintos tiempos de sedimentación.
<b>Correctivo</b>	Que corrige o atenúa una falta, un defecto o un problema, o es útil para ello.
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demanda bioquímica de oxígeno. La cantidad de oxígeno disuelto consumido en cinco días por las bacterias que realizan la degradación biológica de la materia orgánica.
<b>Drenaje</b>	Sistema de tuberías por el cual se escurren las aguas residuales.
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno. Es la medida indirecta del contenido de materia orgánica e inorgánica oxidable en aguas residuales, que se determina por la cantidad equivalente de oxígeno utilizado en la oxidación química.

<b>Efluente</b>	Las aguas residuales descargadas por un ente generador.
<b>Fisicoquímico</b>	Tratamiento aplicado al agua residual alterando el estado físico con adición de ciertos productos químicos, para convertirlas en partículas susceptibles de separación por sedimentación.
<b>Flóculo</b>	En ingeniería de tratamiento de aguas, un grumo de materia orgánica formado por agregación de sólidos en suspensión.
<b>Fosa</b>	Cavidad donde se recogen las aguas residuales.
<b>Flujo</b>	Fluido que se mueve o se desarrolla en forma ordenada sin obstáculos o interrupciones.
<b>Gestión ambiental</b>	Conjunto de actividades o estrategias que se desarrollan para cuidar el medio ambiente y prevenir los problemas ambientales.
<b>Heterogéneo</b>	Que está formado por elementos de distinta clase o naturaleza.
<b>Higiene</b>	Conjunto de medidas para la limpieza o aseo para conservar la salud o prevenir enfermedades.
<b>Homogéneo</b>	Que está formado por elementos con características comunes referidas a su clase o naturaleza, lo que

permite establecer entre ellos una relación de semejanza y uniformidad.

<b>Lodo</b>	Fluido denso no disuelto del tratamiento de aguas residuales.
<b>Materia orgánica</b>	Producto de la descomposición química de las excreciones de seres vivos y microorganismos, de residuos de plantas o de la degradación de cualquiera de ellos tras su muerte.
<b>Microbiológico</b>	Conjunto de operaciones encaminadas a determinar los microorganismos presentes en una muestra de agua.
<b>Planta de tratamiento</b>	Conjunto de sistemas y operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es que a través de los equipamientos elimina o reduce la contaminación o las características no deseables de las aguas.
<b>Purgar</b>	Remover los sólidos malos o dañinos del sistema.
<b>Recurso hídrico</b>	Son los cuerpos de agua que existen en el planeta, desde los océanos hasta los ríos, pasando por los lagos, los arroyos y las lagunas.

<b>Rutina</b>	Conjunto de actividades normales o habituales que se realizan de un modo determinado, que no requiere que decidir.
<b>Seguridad industrial</b>	Área multidisciplinaria que se encarga de minimizar los riesgos y peligros en la industria con una correcta gestión protegiendo al trabajador.
<b>Seguridad ocupacional</b>	Actividad multidisciplinaria que promueve y protege la salud de los trabajadores, buscando controlar los accidentes y enfermedades mediante la reducción de riesgos.
<b>Turbiedad</b>	Alteración física de un fluido quitando transparencia o claridad. Normalmente de color marrón.



## RESUMEN

El presente trabajo de graduación fue planteado como herramienta para operadores, personas encargadas de mantenimiento o personas que desean introducirse y tener una visión general en operación y mantenimiento de plantas residuales de lodos activados.

En el capítulo uno, que refiere al marco teórico, se inicia con una conceptualización para adentrarse en el tema y tener un conocimiento previo de lo que se hablará posteriormente en los siguientes capítulos. Ya que se componen por fases y tipos el proceso de tratamiento de aguas residuales. También, una reseña de gestión ambiental de las plantas de tratamiento en Guatemala, ya que está regulada por el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.

El capítulo dos describe directamente el objetivo de este trabajo, operación de planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados. Expone dos plantas ubicadas en zona 4, ubicadas en el edificio Campus Tecnológico, torre 2 y torre 3. Describe cada unidad de equipamiento, para entender específicamente la operación en conjunto de la planta de tratamiento. El cual se plantean tablas de registros para un arranque inicial o que se encuentre ya puesta en marcha.

El capítulo tres describe el mantenimiento a que debe someterse la planta de tratamiento, luego de su puesta en marcha. Este mantenimiento puede ser rutinario, preventivo y correctivo, según sea requerido. Se plantea un plan de mantenimiento para el operador, para una eficiente operación.



# OBJETIVOS

## General

Proporcionar un manual teórico-práctico que sirva como fuente y herramienta de consulta para la operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales de lodos activados.

## Específicos

1. Aplicar los conceptos básicos y teóricos para conocer los procesos y etapas de una planta de tratamiento de lodos activados.
2. Identificar y aplicar los procedimientos de operación para la apropiada puesta en marcha del sistema de tratamiento, para facilitar al operador los problemas típicos de las unidades y sus posibles causas.
3. Dar las herramientas cognitivas y prácticas para el mantenimiento rutinario y preventivo del sistema de tratamiento.
4. Proporcionar la documentación para un registro del mantenimiento en orden prioritario y por periodo de actividades.
5. Crear un plan de seguridad y salud ocupacional para las labores de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento.



## INTRODUCCIÓN

Actualmente, la ciudad de Guatemala se encuentra en una etapa de crecimiento constructivo, por lo cual aumenta la demanda de construcciones verticales. La municipalidad de Guatemala solicita a las edificaciones que las aguas residuales sean previamente tratadas para su descarga al sistema de recolección municipal. Esto implica que cada edificio deba contar con una planta de tratamiento.

Por aspectos como: escaso espacio físico, higiene y seguridad, la demanda de plantas de tratamiento de lodos activados normalmente en modalidad aireación prolongada tiene una alta demanda. El tratamiento de las aguas residuales constituye medidas de mitigación, que ayuda a disminuir y controlar la contaminación de los cuerpos de agua. Para que esta medida sea eficiente, se debe contar con obras de infraestructura adecuadas a la naturaleza de las aguas a tratar y con el personal capacitado para llevar a cabo las labores de operación y mantenimiento.

El presente trabajo de graduación desarrolla tres temas claves, primero: un conocimiento previo, generalidades, tipos y características de tratamiento de aguas residuales; segundo: manejo operacional inicial e intermedio, específicamente, de tratamiento de lodos activados; tercero, un plan de mantenimiento requerido y necesario para las plantas de tratamiento de lodos activados. Para lograr operadores técnicamente capacitados para llevar a cabo dichos procesos, y que toda actividad programada o imprevista sea resuelta; se logra de esta manera el funcionamiento eficiente de las plantas de tratamiento.



# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Gestión ambiental en Guatemala y las aguas residuales

Es importante la disponibilidad de servicios de saneamiento, para la calidad de vida de una población y una condición indispensable para alcanzar el desarrollo sostenible. En los últimos años ha crecido la cobertura de agua potable y sistemas de alcantarillado, aún más en el área urbana, pero el tratamiento de las aguas residuales no ha aumentado en la misma proporción.

Las plantas de tratamiento son una medida de mitigación de los impactos que se generan al recurso hídrico, por la descarga de aguas residuales a un cuerpo receptor, pero también su construcción y funcionamiento genera impactos al medio ambiente, por lo que debe contar con estudios de evaluación.

### 1.1.1. Definición

“La gestión ambiental de los sistemas de tratamiento aguas residuales es una estrategia para abordar los impactos ambientales de las actividades necesarias para su operación, teniendo en cuenta las condiciones locales, mejorando con ello el comportamiento integral de los proyectos.”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. *Mejores técnicas disponibles de referencia europea. Sistemas de gestión y tratamiento de aguas y gases residuales en el sector químico.* p. 32.

### 1.1.2. Gestión ambiental vigente

La gestión ambiental en Guatemala se encuentra regulada en diferentes documentaciones legales, como leyes constitucionales, ordinarias, reglamentarias y en acuerdos gubernativos. Es importante saber que la legislación ambiental existe. A continuación, se enlistan los vigentes:

- *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, Acuerdo Gubernativo No.236-2006.
- *Reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental*, Acuerdo Gubernativo 23-2003, del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
- Decreto No. 68-89, *Ley de protección y mejoramiento del medio ambiente*, del Congreso de la República de Guatemala, artículo 8.
- Decreto No. 45-79, *Código de salud*. Artículos 26, 36.
- Decreto 33-96, *Código penal*.
- *Código civil*, Decreto Ley 106.
- *Constitución Política de la República de Guatemala*. Artículo 97: medioambiente y equilibrio ecológico.

Actualmente, la gestión de las aguas residuales en Guatemala está regulada por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, sobre el *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos*, planteando

mediante el Acuerdo Gubernativo 110-2016, una reforma al artículo 24 de este mismo (236-2006).

## **1.2. Aguas residuales**

También llamadas aguas negras, estas son una mezcla compleja que contienen contaminantes orgánicos e inorgánicos, tanto en suspensión como disueltos, los cuales se colectan en un sistema de alcantarillado público. La concentración de estos componentes no siempre es uniforme y depende del tipo de descarga de la cual se origina. Entre las más comunes se encuentra la sanitaria domiciliar o municipal, la industrial y la agropecuaria.

Muchos de los problemas en el control de la calidad del agua, se deben a la presencia de diversos componentes orgánicos e inorgánicos que son vertidos al drenaje. Los mecanismos de depuración que se dan en la naturaleza son ahora incapaces de eliminar las cargas de contaminantes vertidos a los cuerpos receptores; el hombre se ha dado la tarea de implementar sistemas que aceleren la remoción del material orgánico y sustancias contaminantes presentes en el agua.

Según el Acuerdo Gubernativo 236-2006, que rige los parámetros de descarga de aguas residuales en Guatemala, existen dos tipos de aguas residuales:

- Aguas residuales de tipo especiales: las aguas residuales generadas por servicios públicos municipales y actividades de servicios, industriales, agrícolas, pecuarias, hospitalarias y todas aquellas que no sean de tipo ordinario, así como su mezcla.

- Aguas residuales de tipo ordinario: las aguas residuales generadas por las actividades domésticas, tales como el uso de servicios sanitarios, pilas, lavamanos, lavatrastos, lavado de ropa y otras similares, así como su mezcla, que se conduzcan a través de un alcantarillado.

### **1.2.1. Composición de las aguas residuales**

Las aguas residuales consisten de agua, sólidos disueltos y sólidos suspendidos. La cantidad de sólidos es muy pequeña en las aguas residuales domésticas; por lo general, siempre son menores a un gramo por litro de agua.

Aún cuando la fracción de sólidos en el agua es pequeña, es ésta la causa de una diversidad de problemas en los sitios de descarga y los sólidos deberán ser removidos para su tratamiento y disposición adecuada.

Los sólidos de las aguas residuales pueden clasificarse en dos grupos generales, de acuerdo a su composición o a su condición física. De acuerdo a su composición, se dividen en orgánicos e inorgánicos; de acuerdo a su condición física, resultante de su tamaño, se dividen en sólidos suspendidos y sólidos disueltos.

### **1.3. Planta de tratamiento de aguas residuales**

Una planta de tratamiento de agua residual es un conjunto de estructuras y unidades en donde se remueven total o parcialmente los contaminantes contenidos en el agua residual. Esto se logra mediante la utilización de diversos procesos dispuestos en orden creciente de complejidad o combinados, así como variantes de éstos que pueden ser aprovechados para lograr requerimientos específicos de tratamiento.

Se pueden identificar cuatro objetivos generales del tratamiento:

- Evitar la contaminación del cuerpo receptor.
- Producir, mediante tratamiento, un efluente cuyas características permitan su reutilización.
- Cumplir con las normativas ambientales vigentes.
- La protección del medio ambiente.

El primer paso en cualquier diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales, lo constituye sus caracterizaciones; dentro de las caracterizaciones hay que conocer los siguientes contaminantes:

Tabla I. **Principales contaminantes presentes en aguas residuales**

Contaminante	Parámetro	Efectos/importancia	Origen
Basura	Basura	Impiden los usos del cuerpo de agua. Efectos estéticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos domésticos.</li> <li>• Deficiencia en los sistemas de recolección de basura.</li> <li>• Arrastres pluviales.</li> </ul>
Arenas	Arenas	Producen azolves. Erosión de equipo mecánico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arrastres pluviales.</li> </ul>
Grasas y aceites	Grasas y aceites	Impiden el paso de luz y oxígeno. Se adhieren a superficies de tanques y equipos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos domésticos.</li> <li>• Residuos de restaurantes, mercados, industrias, entre otros.</li> </ul>
Material suspendidos	Sólidos suspendidos totales (SST)	Producción de azolves. Se descomponen generando malos olores.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos domésticos (materia fecal).</li> <li>• Residuos de restaurantes, mercados, industrias, entre otros.</li> </ul>

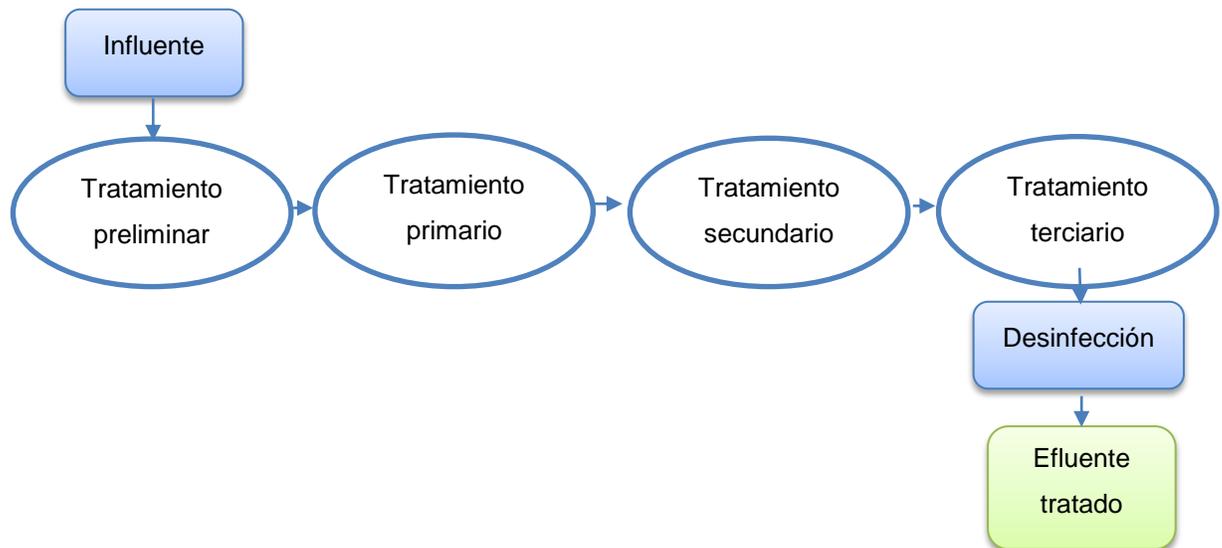
Continuación de la tabla I.

Materia orgánica	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Agotan el oxígeno disuelto, impidiendo la vida acuática. En ausencia de oxígeno disuelto, generan olores (septicidad).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos domésticos (materia fecal y comida).</li> <li>• Residuos de restaurantes, mercados, industrias, entre otros.</li> </ul>
Microorganismos patógenos	Bacterias fecales	Transmiten enfermedades: cólera, hepatitis, diarrea, amibiasis, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuo fecal humano y animal.</li> </ul>
Nutrientes	Nitrógeno (N) y fósforo (P)	Crecimiento de especies no deseadas en los cuerpos de agua: algas, lirio y maleza. Conocido como eutrofización	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nitrógeno: orina, material fecho y fertilizantes.</li> <li>• Fósforo: detergentes y fertilizantes.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

Para el tratamiento del agua residual, se da a conocer el siguiente esquema básico de acuerdo a las necesidades de tratamiento:

Figura 1. **Tratamiento de aguas residuales**



Fuente: elaboración propia.

### 1.3.1. **Tipos de tratamiento de aguas residuales**

Toda agua residual debe ser tratada, tanto para proteger la salud pública como para preservar el medio ambiente; antes de tratar cualquier agua servida se debe realizar una caracterización completa del afluente. El tratamiento es un proceso en el cual se eliminan del agua las sustancias disueltas y suspendidas que contienen (físicoquímicas y microbiológicas), hasta obtener un efluente que pueda ser utilizado para fines agrícolas, recreativos o industriales o verterse a un cuerpo receptor con el fin de generar el mínimo impacto en el mismo.

#### 1.3.1.1. **Tratamientos físico – químicos**

Se basan en las propiedades físicas que incluyen la separación de sólidos sedimentables presentes en las aguas residuales y su estabilización, remoción

de sólidos y arenas, la remoción de partículas flotantes, la retención de partículas de gran tamaño y basura.

### **1.3.1.2. Tratamientos biológicos**

Consisten en una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (entre los que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de componentes solubles en el agua.

Estos procesos aprovechan la capacidad de los microorganismos de asimilar la materia orgánica y los nutrientes (nitrógeno y fósforo) disueltos en el agua residual para su propio crecimiento.

### **1.3.1.3. Tratamientos químicos**

Consisten en la separación o transformación de las sustancias sedimentables, flotantes y disueltas mediante el uso de sustancias químicas.

- Eliminación de fósforo en forma de los fosfatos de las aguas residuales domésticas.
- Eliminación de nitrógeno en forma de nitratos, nitritos y amonio de las aguas residuales domésticas e industriales.

### 1.3.2. Etapas de tratamiento de aguas residuales

Son una serie de procesos a los cuales las aguas residuales son sometidas, cuya finalidad se centra en la depuración de las mismas, antes de ser vertidas en un cauce natural o para su reúso; es una de las principales estrategias para el cuidado del medio ambiente y el aprovechamiento de los recursos naturales.

El tratamiento o depuración de aguas residuales, se divide en 4 etapas:

- Tratamiento preliminar o pre-tratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

En la siguiente tabla se describen los objetivos de cada etapa de tratamiento.

Tabla II. **Etapas y objetivos del tratamiento**

<b>Etapas</b>	<b>Objetivos de tratamiento</b>
Tratamiento preliminar (pretratamiento)	<ul style="list-style-type: none"><li>• Remoción de basura.</li><li>• Remoción de arenas.</li><li>• Regulación de caudal.</li></ul>
Tratamiento primario	<ul style="list-style-type: none"><li>• Remoción de material suspendido.</li></ul>
Tratamiento secundario	<ul style="list-style-type: none"><li>• Remoción de materia orgánica biodegradable.</li></ul>
Tratamiento terciario	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mejorar el efluente de un tratamiento secundario.</li><li>• Remoción de material suspendido.</li><li>• Remoción de nutrientes (N y P).</li><li>• Remoción de otros contaminantes.</li></ul>

Continuación de la tabla II.

Desinfección	<ul style="list-style-type: none"><li>• Eliminación de microorganismos patógenos.</li></ul>
Tratamiento de lodos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Producir lodo apto para su disposición final.</li><li>• Remoción de contenido de agua.</li><li>• Producción de lodo que no se descomponga (lodo estabilizado).</li></ul>

Fuente: elaboración propia.

### **1.3.2.1. Tratamiento preliminar**

Son el conjunto de unidades que tienen como objetivo eliminar materiales que perjudican al sistema de conducción, como material flotante y sólidos inorgánicos en suspensión. Las principales unidades son las rejillas o cribas de barra y el desarenador.

Este primer tratamiento protege al resto de las unidades, y es sumamente importante para evitar problemas posteriores en la planta de tratamiento.

Principales funciones del tratamiento preliminar:

- Separación de grandes sólidos
- Desbaste
- Cribado
- Tamizado
- Desarenado
- Desengrasado
- Regulación
- Preaeración

El efluente de estos sistemas tiene aproximadamente los mismos contaminantes que el influente, exceptuando los sólidos en suspensión.

### **1.3.2.2. Tratamiento primario**

Este proceso, generalmente, se da mediante la sedimentación de los sólidos suspendidos, en un tanque adecuado en el que se mantienen las aguas por un lapso usualmente de media a 3 horas o más. Tiempo suficiente para permitir que entre el 40 % y el 65 % de los sólidos finamente divididos, se depositen en el fondo del tanque, del cual se extraen por medio de válvulas o colectores mecánicos, en forma de lodos.

La sedimentación, primaria es una operación unitaria, diseñada para concentrar y remover sólidos suspendidos orgánicos del agua residual.

Una vez eliminada la fracción mineral sólida, el agua pasa a un depósito de sedimentación donde se depositan los materiales orgánicos, que son retirados para su eliminación. La tasa de sedimentación se incrementa en algunas plantas de tratamiento industrial, que agrega procesos llamados coagulación y floculación química al tanque de sedimentación.

La coagulación es un proceso que consiste en añadir productos químicos, como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico o polielectrólitos. La floculación provoca la aglutinación de los sólidos en suspensión. Ambos procesos eliminan más del 80 % de los sólidos en suspensión.

### **1.3.2.3. Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario se utiliza para eliminar los desechos y sustancias que, con la sedimentación no se eliminaron, y para remover la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>). Este proceso acelera la descomposición de los contaminantes orgánicos.

El procedimiento secundario más habitual es un proceso biológico en el que facilita que las bacterias aerobias digieran la materia orgánica que llevan las aguas. Este proceso se suele hacer llevando el efluente que sale del tratamiento primario, a tanques en los que se mezcla con agua cargada de lodos activados (microorganismos). Estos son tanques que tienen sistemas de burbujeo o agitación y que garantizan condiciones aerobias adecuadas para el crecimiento de los microorganismos.

Posteriormente, se conduce el efluente de esta unidad a tanques, con sección en forma de cono, en los que se realiza la decantación de los lodos. Una parte de estos lodos son recirculados al tanque para que así haya una mayor oxidación de la materia orgánica.

La biomasa generada en el tratamiento secundario constituye una carga orgánica significativa, que es necesario remover para que el efluente pueda ajustarse a las normas correspondientes. En estanques y lagunas, la remoción se logra por sedimentación.

En los sistemas de lodos activados, los sólidos se remueven en sedimentadores secundarios. Debido a las características de los sólidos biológicos en los sistemas de cultivo suspendido y adherido tienen diferencias significativas, el diseño y operación de los sedimentadores secundarios en

estos sistemas también son diferentes. El sedimentador secundario es importante debido a la carga grande de sólidos y a la naturaleza en ellos.

#### **1.3.2.4. Tratamiento terciario**

El tratamiento terciario es el procedimiento más complejo para en el tratamiento de las aguas residuales; esta etapa consiste en un proceso físico-químico que utiliza la precipitación, la filtración y la cloración para reducir drásticamente los niveles de nutrientes orgánicos, especialmente los fosfatos y nitratos del efluente final.

El agua residual que recibe un tratamiento terciario adecuado disminuye considerablemente el crecimiento microbiano. El tratamiento terciario se emplea para mejorar los efluentes del tratamiento biológico secundario.

Se ha empleado la filtración rápida en arena para eliminar mejor los sólidos y nutrientes en suspensión y reducir la demanda bioquímica del oxígeno (DBO<sub>5</sub>).

#### **1.3.2.5. Desinfección**

El impacto de las aguas residuales no tratadas en las fuentes de agua comunitarias ha puesto presente diversas problemáticas de salud y seguridad. Los organismos potencialmente problemáticos en el agua residual doméstica incluyen las bacterias entéricas, los virus y los quistes de protozoarios; los organismos más comunes que se encuentran en el agua residual doméstica y los tipos de enfermedades humanas asociadas con los mismos.

Como respuestas a estas preocupaciones, la desinfección se ha convertido en uno de los mecanismos principales para la desactivación o destrucción de los organismos patógenos. Para que la desinfección sea efectiva, el agua residual debe ser tratada adecuadamente.

#### **1.3.2.5.1. Cloración**

La cloración es un procedimiento adecuado y económico para la eliminación de microorganismos presentes al final del proceso de tratamiento.

El cloro es el desinfectante más usado para el tratamiento del agua residual doméstica, porque destruye los organismos al ser inactivados mediante la oxidación del material celular. El cloro puede ser suministrado en muchas formas, que incluyen, el gas de cloro, las soluciones de hipoclorito y otros compuesto clorinados en forma sólida o líquida.

La dosificación o el tiempo de contacto con el cloro debe ser adecuado y correcto para garantizar una cantidad suficiente de cloro libre residual, ya que el agua con concentración alta de materia orgánica puede generar sustancias cancerígenas (trihalometanos).

#### **1.3.2.5.2. Dióxido de cloro**

El dióxido de cloro es un desinfectante cuya capacidad biocida sobrepasa a la del cloro y sus derivados. Debido a sus cualidades oxidantes selectivas, su aplicación es una alternativa a ser considerada donde además de la desinfección, se requiere mejorar la calidad organoléptica del agua. Tiene un gran efecto en el control del sabor y el olor, así como para destruir sustancias orgánicas que proporcionan color o que son precursoras de trihalometanos. Por

ello se aplica especialmente cuando las aguas crudas contienen altas concentraciones de precursores, que con la cloración tradicional darían lugar a la formación de subproductos de desinfección.

#### **1.3.2.5.3. Hipoclorito de sodio**

El hipoclorito de sodio se puede clasificar en dos grupos: soluciones acuosas con concentración de cloro activo inferior al 10 % y soluciones acuosas con concentración de cloro activo superior al 10 %. Las soluciones acuosas de hipoclorito de sodio poseen un ligero color amarillo, y un olor característico a cloro. En general, los hipocloritos son agentes oxidantes fuertes, con mayor fuerza que el peróxido de hidrógeno o el dióxido de cloro. Su carácter de oxidante fuerte le permite actuar como agente de blanqueo y desinfección, estas propiedades se aprovechan para el tratamiento de fibras y la eliminación de microorganismos en el agua.

#### **1.3.2.5.4. Radiación ultravioleta (UV)**

El sistema de desinfección con luz ultravioleta (UV) transfiere energía electromagnética desde una lámpara de vapor de mercurio al material genético del organismo. Cuando la radiación UV penetra en las paredes de la célula de un organismo, ésta destruye la habilidad de reproducción de la célula. La radiación UV, generada por una descarga eléctrica a través de vapor de mercurio, penetra al material genético de los microorganismos y retarda su habilidad de reproducción.

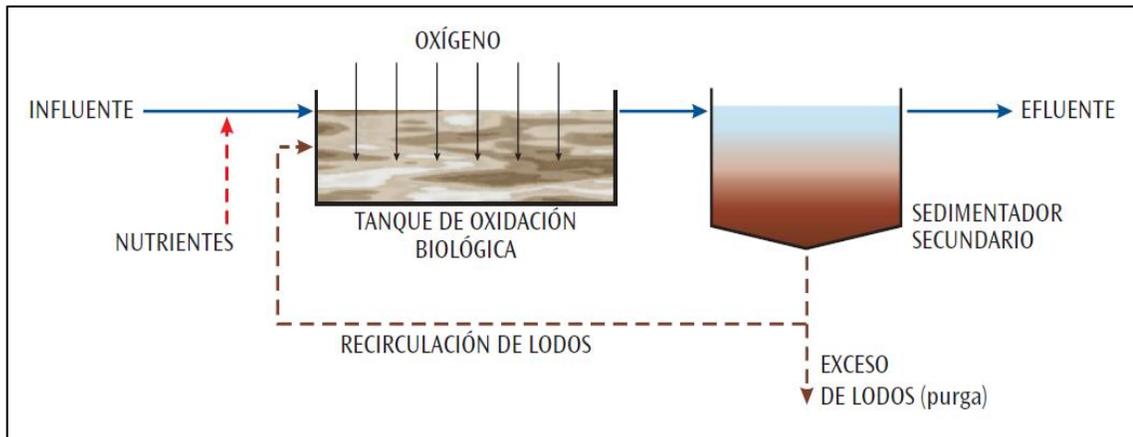
#### **1.3.2.5.5. Ozono**

El ozono, dado que es el mayor oxidante conocido después del flúor, es más rápido en su actuar; es a su vez inodoro e insípido, y no se le conocen derivados que puedan ser perjudiciales para la salud. El ozono es el oxidante más potente que puede producirse industrialmente de forma económica. Las razones para que se haya divulgado y generalizado el uso del cloro frente al del ozono han sido el precio, era más barato en un inicio. De forma general, las ventajas del ozono son: eliminación del color, olor y sabor del agua; reducción de la turbiedad, contenida en sólidos en suspensión y las demandas químicas (DQO) y bioquímica del oxígeno ( $DBO_5$ ); el ozono no solo elimina las bacterias patógenas, sino que, además inactiva los virus y otros microorganismos que no son sensibles a la desinfección con cloro.

#### **1.3.3. Sistema de tratamiento de agua residual de lodos activados**

El tratamiento por lodos activados es un proceso biológico de tratamiento de aguas residuales que utiliza microorganismos para llevar a cabo la descomposición de residuos. Debido a que los microorganismos crecen y son mezclados por la agitación del aire, estos se agrupan formando flóculos que a su vez forman una masa microbiana activa llamada lodo activado. El término activado se refiere a la capacidad de este lodo para metabolizar la materia orgánica soluble y coloidal, a dióxido de carbono y agua. La mezcla de los lodos activados y del agua residual se denomina licor mezclado.

Figura 2. **Diagrama del sistema de lodos activados**



Fuente: *Diagrama del sistema de lodos activados*. <http://littlewaves.co/diagrama-de-flujo-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales.html>. Consulta: 15 de octubre de 2018.

En el proceso por lodos activados, los microorganismos se encuentran flotando; por esta razón, los procesos por lodos activados se conocen como proceso con microorganismos en suspensión.

Cuando los lodos activados están en contacto con el agua residual, los microorganismos se alimentan con las partículas presentes en el agua contaminada, lo que se conoce como oxidación, y como consecuencia se generan algunos productos como el dióxido de carbono, el agua y más microorganismos.

Debido a esta producción, más y más materia orgánica es eliminada del agua; sale esta del reactor con mejor calidad. Al reproducirse los microorganismos, se aglomeran en partículas más grandes llamadas flóculos, las cuales serán removidas en el sedimentador o clarificador secundario, como lodo a través de las purgas.

En el proceso por lodos activados convencionales, el agua residual junto con los lodos activados recirculados, entran por un extremo del tanque de aireación. La mezcla se lleva a cabo por medio de difusores que proporcionan aire o por medio de aireación mecánica.

La aireación debe ser uniforme en todo el tanque. Posteriormente, los lodos activados se separan en un sedimentador de donde se obtiene el fluyente clarificador.

#### **1.3.3.1. Procesos de un sistema por lodos activados**

Los procesos de un sistema de tratamiento están integrados por una serie de operaciones unitarias, los cuales se integran en forma ordenada para obtener el agua tratada.

Dependiendo de la calidad del agua requerida, las operaciones o procesos se han clasificado en:

Tabla III. **Procesos de lodos activados**

<b>Proceso primario</b>	<b>Proceso secundario</b>	<b>Proceso terciario</b>
<p>Son los que se utilizan para acondicionar el agua antes de entrar a un proceso biológico. Se elimina el material grueso, normalmente no biodegradable, así como se lleva a cabo la separación física de la grasa y de arena, algunas unidades a encontrarse son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cribado o debaste</li> <li>• Desarenador</li> <li>• Tamizado</li> <li>• Trampa de grasa</li> </ul>	<p>Se denominan a los tratamientos realizados por medio de microorganismos. Se lleva a cabo la digestión biológica del material orgánico, la asimilación a través de los microorganismos de la contaminación biológica, algunas unidades a encontrarse son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanque de aireación</li> <li>• Digestor aeróbico</li> <li>• Clarificador</li> <li>• Sedimentador</li> </ul>	<p>Se ubican después de los tratamientos secundarios y se utilizan con el fin de dar una mejor calidad del agua, ya sea para descarga o reúso. En este proceso se desinfecta el efluente y deshidratan los lodos, actividad que lo realiza una empresa especializada, algunas unidades a encontrarse son:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digestor aeróbico</li> <li>• Vertederos de desinfección (verticales y horizontales)</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

#### **1.3.4. Componentes de planta de tratamiento de lodos activados**

Generalmente, una planta de tratamiento de lodos activados, debe contener componentes básicos para cumplir su proceso, como la captación, tratamiento y evacuación de las aguas residuales. El tratamiento se compone básicamente de cuatro etapas:

- Aireación
- Sedimentación
- Digestión de lodos
- Desinfección del agua tratada

### **1.3.4.1. Componentes básicos**

A continuación, se muestran los componentes básicos de la planta de tratamiento.

#### **1.3.4.1.1. Canal de rejas**

Es la primera operación unitaria que tiene lugar en las plantas de tratamiento. Este componente tamiza el flujo de agua previo a su ingreso al proceso de tratamiento; el propósito es retener objetos de tamaño considerable que podrían provocar obstrucciones en conducciones y difusores, y que no sean sujetos a degradación orgánica.

#### **1.3.4.1.2. Trampa de grasa**

Este componente separa físicamente la grasa que ingresa con el agua cruda por acción de la gravedad. Su principio de funcionamiento se basa en reducir la velocidad del flujo de aguas negras; consta de dos canales en paralelo, cada uno con el fondo más profundo que la invert de salida del mismo; por lo que se encuentra a un nivel inferior a la línea piezométrica del flujo, logrando que se depositen las arenas o cualquier material más pesado que el agua en el fondo.

Cuando al mismo se ingieren descargas provenientes de inodoros, se usa un tiempo de retención mínima para evitar condiciones sépticas. También, se aprovecha este componente para atrapar sólidos más pesados que el agua; cumple una función de desarenador.

#### **1.3.4.1.3. Aireador**

Este es un compartimiento, en este se desarrolla una población de bacterias que se alimentan de la materia orgánica, transformándola en productos no contaminantes. En esta unidad se agrega aire limpio a través de sopladores y difusores montados en el fondo de la estructura, lo que permite una adecuada transferencia de oxígeno, el cual es utilizado por las bacterias para la digestión de materia orgánica.

El agua entra al compartimiento de aireación en donde se llevan a cabo los procesos biológicos a través de los cuales se convierte la materia orgánica disuelta en CO<sub>2</sub> y agua. Se lleva a cabo la nitrificación, es decir, que los nitritos y nitratos son convertidos a través de un proceso biológicos (las bacterias que convierten los nitritos y nitratos a nitrógeno gaseoso, se llama nitrosomas) a nitrógeno gaseoso, el cual se separa del agua; se reduce de esta forma el contenido de nitrógeno total.

#### **1.3.4.1.4. Sedimentador**

También, llamado clarificador, la función es separar los sólidos de lodos activados del líquido mezcla, por medio de la decantación. La separación de los sólidos es el último paso en la producción de un efluente estable, bien clarificado, y con bajo contenido en DBO y sólidos suspendidos.

El agua clarificada sale del sedimentador por la parte superior. Los lodos acumulados en el fondo son retornados a la aireación para mantener una alta población microbiana y mantener un balance adecuado de lodos en el sistema. El exceso de lodos es purgado fuera del sistema hacia una etapa denominada

digestión de lodos, donde se continúa con su estabilización para reducir su volumen y facilitar su manejo posterior.

#### **1.3.4.1.5. Digestor de lodos**

En este compartimiento se almacenan los lodos en exceso provenientes del proceso de tratamiento biológico y se les insufla aire por medio de difusores para que el lodo se digiera y se espese.

Cumple la función de reducir el volumen de lodos y hacerlos inocuos, removiendo sólidos, materia orgánica y microorganismos que se encuentran en los lodos. Esta reducción o eliminación del contenido de las sustancias contaminantes se da por medio del proceso aeróbico o anaeróbico.

Los procesos aeróbicos se llevan a cabo en presencia de oxígeno (tanque Imhoff, zanjas de oxidación, biodiscos, filtros percoladores, humedales o pantanos), y el proceso anaeróbico se da en ausencia de oxígeno (reactor anaerobio de flujo ascendente, fosa o tanque séptico, lagunas de estabilización).

Después de digeridos, los lodos se deberán evacuar de la planta de tratamiento a través de un camión cisterna de una empresa externa, que debe contar con todos sus permisos y licencias.

#### **1.3.4.1.6. Desinfección del agua tratada**

En esta etapa el agua clarificada pasa por gravedad en una unidad que elimina el remanente de bacterias y virus para cumplir con las normas sanitarias. En Guatemala, según el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006, se

requiere cumplir con un número determinado de coliformes fecales de 10 000 NMP/100 ml. Se realiza por último la disposición final del efluente.



## **2. OPERACIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LODOS ACTIVADOS**

Para la definición del caso de este manual, se exponen dos plantas de tratamiento, ambas con sistema de lodos activados, ubicadas en la zona 4, de la ciudad de Guatemala.

Una en el edificio Campus Tecnológico Torre 2, y la segunda en Campus Tecnológico Torre 3. Ambas ubicadas en el sótano 5, de cada edificio.

Las dos PTAR están construidas de concreto armado. El tratamiento es aeróbico (las bacterias utilizan oxígeno del aire para degradar la materia orgánica); en ambas plantas, de acuerdo al monitoreo, el efluente cumple con la normativa vigente y los lodos generados son estables.

Para conocer y comprender la operación de la PTAR de lodos activados, se describe cada compartimiento y su respectivo equipamiento. El cual se exponen a continuación, en orden secuencial.

- Caja de rejillas: este es el espacio donde es captado el influente, de toda la red de drenaje del edificio, cabe destacar que solo se recolectan y tratan aguas negras residuales, no pluviales. Aquí se retienen sólidos gruesos mayores a 2,5 centímetros de diámetro; estos sólidos son no biodegradables. Esta caja de rejillas es de fibra de vidrio, la cual tiene una vida útil de diez años.

- Trampa de grasa: este espacio permite eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes, más ligeros que el agua, que pueden distorsionar el proceso posterior (tratamiento aeróbico). Consta de dos tees de PVC; una capta el influente de la caja de rejillas y la otra transporta el influente hacia el tanque de aireación.

Figura 3. **Soplador o *blower* de PTAR**



Fuente: *Soplador o blower de PTAR*. <http://aquatec-ecosys.com/producto/sopladores/>. Consulta: 18 de noviembre de 2018.

- Tanque de aireación: es un compartimiento rectangular de 50 metros cúbicos aproximadamente. El soplador o *blower* (figura 3) es el equipo principal, el cual realiza la inyección de aire limpio, por medio de tuberías en acero al carbón, cédula 40. Estas tuberías alimentan a los dieciocho difusores de burbuja tipo campana (figura 4) ubicados al fondo del tanque de aireación, que permite una adecuada transferencia de oxígeno para lograr el proceso de digestión aeróbica. Los difusores van montados en un *manifold* que permite inspeccionarlos, limpiarlos y cambiarlos sin necesidad de vaciar o dejar fuera de funcionamiento el sistema de tratamiento. Pueden ser más o menos difusores, dependiendo de la

demanda o el volumen del tanque. El efluente del tanque de aireación pasa al tanque de sedimentación.

Figura 4. **Difusores de membrana**



Fuente: *Difusores de membrana*. [http://www.ews.com.gt/user\\_files/uploads/Air-Seal\\_Diffuser\\_-\\_Commercial\\_Plant\\_-\\_Español.pdf](http://www.ews.com.gt/user_files/uploads/Air-Seal_Diffuser_-_Commercial_Plant_-_Español.pdf). Consulta: 18 de noviembre de 2018.

- Sedimentador o clarificador: este es un compartimiento de forma de cono, donde el lodo es sedimentado en el fondo. En este compartimiento se encuentra el sistema de recirculación de lodos o llamado también *air lift*, que tienen la función del retorno de lodos activos acumulados en el fondo de esta unidad al compartimiento del tanque aireador, para mantener una alta población microbiana y otras son purgadas fuera del sistema hacia un compartimiento llamado digestor de lodos. El agua clarificada que se encuentra sobre la superficie del compartimiento, pasa por un vertedero al compartimiento de desinfección, donde se elimina el remanente de bacterias y virus para cumplir con la norma sanitaria vigente. En este mismo compartimiento se encuentran un removedor de flotantes o comúnmente llamado *skimmer*, su función es retornar los flotantes que puedan estar presentes en el sedimentador hacia el tanque aireador.

- Clorador: en esta unidad es donde se da el proceso de desinfección. La desinfección se da por contacto con tabletas de cloro (figura 5), que es una de las formas más usadas debido a su bajo costo. Este contacto es por un tiempo aproximado de 8 a 12 minutos, debido a que el cloro requiere un tiempo de reacción; con un tanque de contacto con más de dos cortinas horizontales o verticales para generar un flujo laminar e inducido a través del todo el volumen del tanque, que logra que se genere la desinfección parcial del efluente. Posteriormente, pasa al compartimiento de bombeo.

Figura 5. **Tabletas de cloro (hipoclorito de calcio)**



Fuente: *Tabletas de cloro (hipoclorito de calcio)*. <https://freitec.cl/home/22-cloro-tabletas-1-kg.html>. Consulta: 19 de noviembre de 2018.

- Compartimiento de bombeo: en este espacio, se encuentran normalmente dos bombas de sólidos (figura 6); pueden ser tres, para que trabajen alternadas o por demanda. Son las encargadas de bombear el efluente hacia la red municipal.

Figura 6. **Bomba de trasiego**



Fuente: *Bomba de trasiego*. <https://spanish.alibaba.com/f/bomba-para-el-s%C3%B3tano.html>.

Consulta: 19 de noviembre de 2018.

- **Digestor de lodos:** los lodos purgados hacia este compartimiento, son el exceso de lodos del sedimentador, se conducen a esta unidad para ser deshidratados. Estos lodos acumulados deben ser retirados de la planta de tratamiento, para lo cual se contrata a una empresa especializada y autorizada en manejo de desechos peligrosos.

## **2.1. Disposiciones iniciales y puesta en marcha**

Se debe designar a la persona que operará y mantendrá en funcionamiento la planta de tratamiento, para que conozca a detalle el funcionamiento; esta persona debe ser instruida por el proveedor del equipamiento de la PTAR, a fin que pueda ejecutar la labor efectivamente.

### **2.1.1. Disposiciones iniciales**

- Asegurarse que no existan conexiones cruzadas entre las redes de agua pluvial y aguas residuales, aguas arriba de la planta para evitar inundación y desvío de contaminantes. Se debe garantizar que en la planta de tratamiento únicamente ingrese influente por medio de la tubería diseñada para captación de aguas residuales.
- Verificar que la planta no tenga acceso libre para evitar accidentes o vandalismo, únicamente debe contar con un acceso, para mayor control.
- Verificar que la planta cuente con una toma de agua potable y una presión adecuada para limpieza rutinaria.
- Realizar pruebas hidráulicas al sistema de tuberías.
- Identificar visualmente cada elemento que compone la PTAR, y localizarlas según fueron descritas anteriormente.
- Cuando se inicia el monitoreo de los procesos, se utilizan indicadores visuales. Los indicadores visuales proveen información sobre la calidad y actividad de los microorganismos presentes en el proceso (tabla IV).

Tabla IV. **Indicadores visuales**

<b>Indicador visual</b>
Color (transparente, café claro, café chocolate, gris, negra)
Olor (leve, fuerte, de origen químico)
Espuma (transparente, blanca, normal, turbulenta, voluminosa, ligera)
Crecimiento de algas (verdes claras, verdes oscuras, poco crecimiento, crecimiento grande)
Comportamiento de los aireadores (constante, pausado, irregular)
Claridad del efluente (turbio, gris, claro)
Burbujas (grandes, pequeñas)
Materia flotante (mucho, normal, mínima)
Acumulación de sólidos (mucho, normal, mínima)
Patrones de flujo (disperso, ondulado, burbujas)
Turbulencia (máxima, normal, mínima)

Fuente: elaboración propia.

## **2.2. Puesta en marcha**

Esta es la etapa en que la planta, después de culminar su construcción y equipamiento, empezará el proceso de tratamiento de las aguas residuales.

El arranque de cualquier proceso biológico, entre ellos el de lodos activados, conlleva tiempo para lograr su estabilización, porque los microorganismos aún no degradan totalmente las proteínas presentes en el agua.

El arranque se realiza con agua potable, hasta que el compartimiento de aireación esté lleno.

- Inicialmente se debe realizar un listado de todos los equipos electromecánicos por cada unidad de proceso.
- Asegurar el suministro de energía eléctrica, y que todo el sistema interno mecánico de la planta esté conectado al tablero principal asignado.
- Realizar prueba de arranque y paro, proceso en el que se verifica el giro de motores, esto con la finalidad de constatar que no estén obstruidos o pegados.
- Verificar que el voltaje coincida con el que indica la placa del motor, los sopladores y demás equipos eléctricos de la planta.
- Verificar que los soplados estén rotando en la dirección correcta (hacia la derecha normalmente).
- Verificar que las fajas de los sopladores tengan la tensión correcta, el nivel de aceite sea el indicado y estén correctamente alineados.
- Iniciar el funcionamiento de los sopladores hasta que la planta esté completamente llena.
- Al inicio se genera mucha espuma, la cual desaparece a la semana, conforme se alcance la carga de sólidos normales.
- Las válvulas de aire deben ajustarse de tal forma que se logre una mezcla uniforme en el compartimiento de aireación; esto se logra descargando la mayor cantidad de aire en el frente del compartimiento de

aireación, disminuyendo conforme se avanza hacia el compartimiento de clarificación.

- Asegurarse que el sistema de desinfección esté cargado con las pastillas de cloro; el compartimiento normalmente es de 10 unidades.
- Durante el arranque, cierta carga de lodo se pega inevitablemente a las paredes internas de la planta hasta que se alcanza su nivel de funcionamiento normal; cuando se logra es necesario raspar diariamente con un rastrillo dichas paredes para evitar la acumulación de dicho lodo.

Las siguientes indicaciones son guía para mantener una buena calidad en el efluente de la planta y un correcto mantenimiento de los equipos.

- Abrir la tapa del tablero eléctrico, en su interior hay un reloj horario programable; este permite el funcionamiento en modo automático del tablero, lo que permitirá que el soplador y las bombas involucradas funcionen de acuerdo a la programación establecida.
- La programación normalmente es que la PTAR opere 45 minutos y descanse 15 minutos, repitiendo el ciclo a lo largo del día. Hay PTAR que son de mayor potencia, o no tienen una alta demanda; entonces, operan 30 minutos y descansan 30 minutos. Mantienen siempre un tiempo de operación y descanso.

### **2.3. Revisión del estado de funcionamiento**

La tabla V presenta una guía simple para controlar la planta. Revisar una vez por semana el estado y realizar las correcciones o ajustes de acuerdo a lo

indicado. Debido a que la planta reacciona lentamente a las operaciones que en ella se realizan, los resultados a los cambios realizados se verán en un lapso de dos o tres semanas una vez se ha tomado una solución correctiva.

Tabla V. **Control operacional de la planta de tratamiento**

Condición de operación	Estado en la aireación	Color	Olor	Volumen de lodo	Calidad del efluente	Posibles causas	Acciones correctivas
Planta en puesta en marcha	Transparente o café claro y espuma blanca.		Ninguno	< 100 ml/l	Turbio.	Condición normal de partida.	Ninguna, esperar 4 u 8 semanas desde la partida.
Operación normal	Café chocolate, buena turbulencia, leve espuma café claro.		Ninguno	100-300 ml/l, sobrenadante claro y con posibles sólidos flotantes.	Claro.	Condición normal.	Ninguna, seguir realizando las rutinas.
Operación normal	Café chocolate, buena turbulencia, leve espuma café.		Ninguno	Sobre 200 ml/l y en aumento.	Turbio, aumento en los coliformes fecales.	Poca cantidad de lodos desviados al digestor.	Aumentar el tiempo diario de desvío de lodos al digestor.
Operación normal	Café claro, buena turbulencia.		Ninguno	En descenso, bajo 100 ml/l.	Turbio	Mucho lodo desviado al digestor.	Disminuir el tiempo diario de desvío de lodos al digestor.
Operación normal	Café claro, buena turbulencia		Ninguno	< 50 ml/l, no hay formación de floculos	Turbio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escasa materia orgánica (posible descenso en la población).</li> <li>• Bacterias filamentosas presentes debido a poca materia orgánica.</li> </ul>	Instalar un estanque selector en el compartimento de aireación.

Continuación de la tabla V.

Operación normal.	Gris o negro		Leve a fuerte.	50 a 300 ml/l	Turbio	Falta de oxígeno por falla en el sistema de aireación o por exceso de caudales o materia orgánica (posible aumento en la población).	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Verificar los sopladores, filtros de aire y difusores.</li> <li>- Verificar el nivel de aceite de los sopladores.</li> <li>-Verificar fugas de aire.</li> <li>-Verificar si hay exceso de caudales y de materia orgánica entrante. Si es así, aumente el retiro de lodos.</li> </ul>
Planta previamente operando en condiciones normales; repentinamente opera mal.	Gris a negro, buena turbulencia, posible presencia de materias flotantes.		Ninguno u olor de origen químico.	0 - 500 ml/l	Turbio a gris	Bacterias muertas debido a descarga tóxica.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Identificar y eliminar la fuente tóxica.</li> <li>2. Vaciar la planta y retome la puesta en marcha.</li> </ol>

Fuente: elaboración propia.

#### 2.4. Determinación de volúmenes de lodos

- Para la determinación de volúmenes de lodos, inicialmente, se debe airear el agua por lo menos durante quince minutos.
- Con el soplador funcionando, sacar una muestra de 2 litros de agua del estanque de aireación, tomada en un punto alejado de la entrada del estanque de aireación, a una profundidad aproximada de 60 cm. Para poder comparar los resultados de esta prueba, tomar siempre la muestra en el mismo punto.

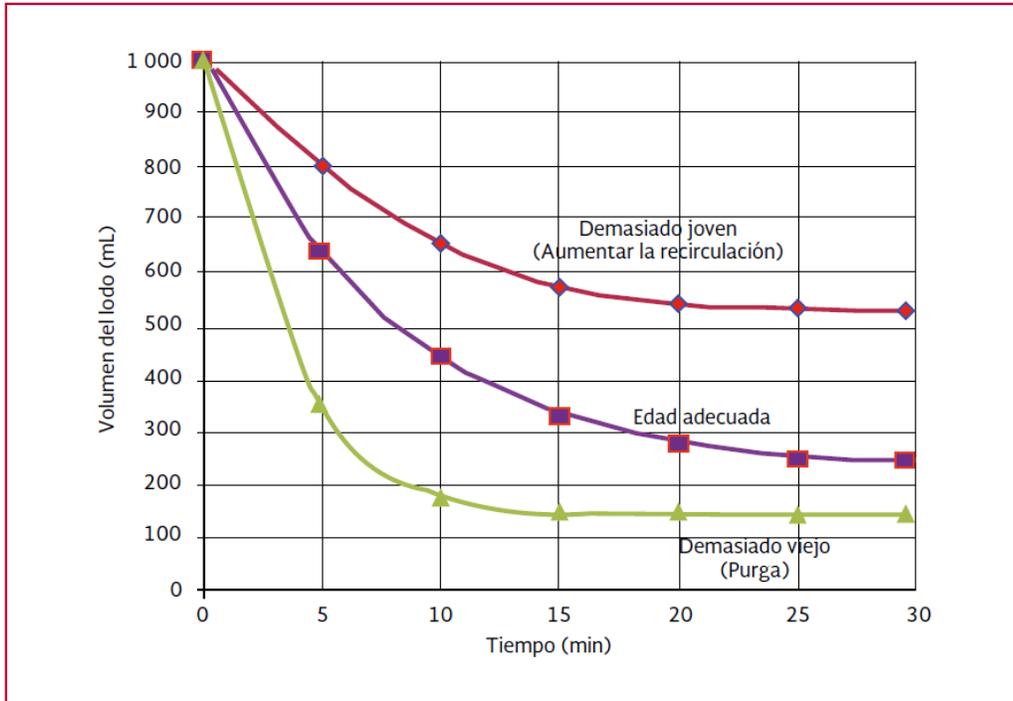
- Colocar un litro de esta muestra en un cono Imhoff transparente o vaso de precipitado, no agitar la muestra durante el proceso, reposándola por 30 minutos.
- Leer el volumen de lodos en la graduación del cono al nivel de la interface entre lodo decantado y agua. El valor leído serán los ml/l. (valor adecuado entre 100 y 300 ml/l).

La determinación de esta prueba puede revelar mucha información si se realiza de una manera correcta, tomando en consideración lo siguiente:

- El comportamiento de los microorganismos no es igual en la mañana, al medio día, por la tarde o por la noche.
- Se deberá establecer si se realizará una o varias veces al día.
- Se deberá realizar a la misma hora todos los días o los días asignados, con la finalidad de que los resultados sean comparables.
- Se deberá realizar a la sombra, ya que la temperatura afecta la velocidad de sedimentación.
- Se deberá tomar la lectura del volumen de lodo de forma periódica, por ejemplo, cada 3 o 5 minutos.
- Los datos obtenidos se graficarán, para obtener una curva de sedimentación (figura 8), que dará una idea del tipo de lodo que se tiene en el tanque de aireación.

- Durante la prueba se podrá apreciar la forma del flóculo, su color y olor.

Figura 7. **Curva de sedimentación**



Fuente: *Curva de sedimentación*. [http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2078-55932012000100005&script=sci\\_arttext](http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S2078-55932012000100005&script=sci_arttext). Consulta: 20 de noviembre de 2018.

- Línea roja: corresponde a un lodo esponjoso, de color café claro y que posiblemente sea de un lodo joven (valor entre 500 a 900 ml/l).
- Línea violeta: representa a un lodo maduro, de flóculo bien formado, de color café achocolatado, con olor a tierra húmeda (valor entre 150 a 400 ml/l).

- Línea verde: corresponde a un lodo viejo con características de excelente sedimentabilidad pero con un clarificado turbio. El color del lodo es de café oscuro o cercano a negro (valor menor a 150 ml/l).

## **2.5. Sistema de retorno de lodos y espumas**

Los lodos que decanten en el compartimento de sedimentación son retornados a través de una bomba de aire, compuesta por una tubería de suministro de aire y una de succión de lodo; además, hay un sistema de retorno de espumas que funciona con el mismo sistema. El objetivo principal de regresar los lodos al tanque de aireación es el de mantener una concentración constante, ya que estos salen más rápido de lo que se reproducen; por lo que si no se realiza esta actividad de retorno se corre el riesgo de que en el reactor vaya disminuyendo paulatinamente la concentración de microorganismos, repercute finalmente en la calidad del agua tratada.

### **2.5.1. Retorno de lodos**

Los lodos deberán ser retornados en todo momento; habrá que asegurarse de regular las válvulas de modo que el nivel de lodo, a la salida de la válvula (que debe estar abierta), coincida con una altura de un quinto del diámetro de la tubería.

Eventualmente, los sistemas de retorno podrán taparse; deben limpiarse de la siguiente forma:

- Circular el máximo de aire por la cañería donde está instalada la válvula.

- Si el punto anterior no funciona, cerrar la válvula y abrir los tapones instalados en el sistema de retorno de lodos, e introducir una varilla de ¼“ de diámetro, preferiblemente con agua a presión, con el fin de diluir los lodos acumulados en el fondo del clarificador.
- El sistema de bombeo por aire para el retorno de espumas se limpia del mismo modo.

### **2.5.2. Retorno de espumas (*skimmer*)**

Es normal que en este tipo de plantas se generen sólidos flotantes que disminuyen la calidad del agua tratada. Para evitar esto, el compartimento de sedimentación cuenta con un sistema de succión por aire que retorna las espumas al compartimento de aireación (*skimmer*).

Para evitar acumulación de sólidos flotantes mantener el sistema siempre operando, abriendo la válvula que suministra el aire al sistema de forma que se produzca un flujo pequeño y continuo hacia la boquilla de succión, que deberá estar 5 o 10 milímetros bajo la superficie del agua.

### **2.6. Retiro de excesos de lodos**

A partir del primer mes de operación, todos los días, habrá que abrir la válvula del retorno hacia el digestor, tres veces al día. Cada vez por aproximadamente 2 minutos (teniendo las válvulas de los conos hacia el digestor abiertas y la de regreso al tanque de aireación cerrada).

Esto permite mantener la cantidad de lodos en el estanque de aireación en un nivel constante. Verificar frecuentemente con la prueba del volumen de lodos (2.1.3) y modificar el tiempo de apertura diario de la válvula, si es necesario.

- Nota importante: los minutos de retiro de lodo indicados son referenciales. Pueden ser aumentados o disminuidos, de acuerdo a lo indicado por la prueba de determinación de volumen de lodos y la tabla V.

Cuando el estanque digestor de lodos comienza a llenarse, mantener abierta la válvula de aire del digestor en todo momento. Mientras la altura de agua en el estanque digestor sea menor a la del estanque de aireación, se regula la válvula de modo que se observe similar turbulencia en ambos compartimentos.

Cuando el estanque esté lleno se debe realizar las siguientes actividades:

- Espesar el lodo acumulado y cuando esto no sea posible retirar el lodo de este, cerrar la válvula de suministro de aire y dejar sedimentar por 1 hora.
- Con la bomba sumergible transferir el agua clarificada al compartimento de aireación.
- Si luego de 1 hora no sedimenta el lodo, se debe retirar hacia el compartimento de digestor de lodos, para su disposición final. Realizar la extracción de lodos por contratación de servicios conforme al artículo 47 del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

## **2.7. Medición de temperatura**

Durante la operación normal de la planta, verificar diariamente la temperatura del agua en el estanque de aireación. La temperatura tiene un efecto directo en el nivel de actividad de las bacterias. Debe estar dentro del rango 15 a 35 grados Celsius.

Es necesario tomar en cuenta que, a mayor temperatura en el agua el oxígeno disuelto permanecerá menor tiempo en el sistema; y por el contrario, a menor temperatura el oxígeno permanecerá mayor tiempo.

## **2.8. Revisión de operación de los sopladores**

El tiempo de funcionamiento del soplador debe ser más que 18 horas al día e idealmente igual a 20 horas. Se puede modificar la programación de los arranques y paros de los equipos, modificando la programación de los relojes programables ubicados en el tablero eléctrico. Considerar que es conveniente airear en momentos en que existe vertimiento y detener cuando no existe vertimiento. Realizar la programación de modo que entre detenciones del soplador al menos transcurran 45 minutos.

## **2.9. Registro de operación**

Una de las funciones más importantes de un operador es la preparación y mantenimiento adecuado del registro de los datos que se generan en la misma. Los registros de operación pueden ser separados en dos categorías:

### **2.9.1. Registros físicos**

Estos registros describen las instalaciones y los equipos de la planta de tratamiento, que incluyen:

- Criterios de diseño: básicamente es la memoria de cálculo y en ella están las bases bajo las cual se diseñó.
- Planos de la planta: comprende el juego de planos arquitectónicos, los cuales indican cómo está construida toda la estructura.
- Manual de operación: este manual es proporcionado por la empresa que equipa la PTAR, o la construye si fuera el caso.
- Registro de operación de equipos electromecánicos que incluya:
  - Nombre del proveedor.
  - Fecha de compra o instalación.
  - Modelo y capacidad (incluye la medición de amperaje y voltaje).
  - Principales características (breve descripción de cómo funciona el equipo).
  - Registro de arranque y funcionamiento efectivo.
  - Registro de fallas de equipo.

Crear una tabla (tabla VI) por cada equipo que se registrará.

Tabla VI. **Lista y verificación de equipo por unidad de proceso**

Área donde se encuentra el equipo (aireador, sedimentador, digestor de lodos, trasiego de efluente, entre otros)						
Proveedor	Fecha de compra o instalación	Modelo y capacidad (amperaje y voltaje)	Principales características	Arranca		Registro de falla
				Sí	No	Si es negativo, identificar posible causa

Fuente: elaboración propia.

### 2.9.2. Registros de desempeño

Estos registros describen la operación de la planta y proporcionan información al operador, como a cualquier persona que lo requiera. Porque es un registro histórico. Son utilizados para resolver problemas presentes y a necesidades futuras, también pueden ser requeridos por entidades legales.

Estos registros son:

- Datos básicos
- Recepción de agua residual
- Evaluación de indicadores visuales
- Prueba de sedimentación
- Determinación de índice volumétrico de lodos
- Lista de cotejos de actividades realizadas con frecuencia
  - Diaria
  - Semanal
  - Mensual



### **3. MANTENIMIENTO DE PTAR DE LODOS ACTIVADOS**

Al completar la operación de arranque de la planta de tratamiento, debe recibir un mantenimiento rutinario. El mantenimiento rutinario puede parecer un trabajo adicional insignificante, pero es muy valioso, porque proporciona mejores resultados.

Una planta debe mantenerse siempre limpia, esto favorece el ánimo del operador; además, el aspecto que proyectan hacia los usuarios o personas que son parte de la edificación donde se encuentra la PTAR.

Cuando se habla de mantenimiento, significa todas las actividades desarrolladas con el fin de conservar las instalaciones y equipos en condiciones de funcionamiento seguro, eficiente y económico.

Una de las actividades más importantes para que subsista y permanezca activa una PTAR en su totalidad, es la realización de mantenimiento preventivo en tiempo y forma, por lo que es importante tener un programa. Es importante que la continuidad del proceso de mantenimiento no debe afectarse por la falla o falta de algún equipo. El programa debe ser diseñado para asegurar la operación satisfactoria de la planta, bajo cualquier condición, preventivo, rutinario o de emergencia.

### **3.1. Parámetros básicos de mantenimiento**

Los parámetros básicos contribuyen por todos los medios disponibles, reducir en lo posible el costo de operación y cumplir de manera adecuada con el objetivo de construcción.

De lo anterior, se desprende un objetivo técnico que trata de conservar en condiciones de funcionamiento seguro y eficiente todo el equipo, tanto equipamiento como estructuras, como de tratamiento de agua residual.

El operador debe comprender tanto el aspecto humano que es evitar accidentes, como el aspecto técnico. Por lo técnico, el equipamiento y las instalaciones con mantenimiento adecuado no provocan pérdidas económicas y facilitan la producción continua de agua tratada en forma eficiente.

Comúnmente se manejan dos tipos de mantenimiento: preventivo y correctivo.

#### **3.1.1. Mantenimiento preventivo**

Es el conjunto de actividades que se realizan en un equipo, instrumento o estructura, con el objetivo de operar en su máxima eficiencia, para evitar paros forzados o imprevistos. Requiere de una organización para elaborar un plan de inspección para los distintos equipos, a través de:

- Planificación.
- Programación.
- Control.

- Ejecución de actividades para encontrar y corregir deficiencias que causen daños más graves posteriormente.

Un hecho muy recurrente, es que el operador no registra el trabajo que está desarrollando; deja a la memoria trabajar y puede fallar cuando transcurren las semanas y meses; por eso se deben considerar dos herramientas principales para cumplir los puntos anteriores:

- Calendarización de actividades
- Bitácoras de actividades

### **3.1.2. Mantenimiento correctivo**

Es el conjunto de actividades que se realizan cuando un equipo, instrumento o estructura ha tenido un paro forzado o imprevisto, debido al funcionamiento inadecuado. Este es el que se debe evitar; lamentablemente es frecuente por falta de conocimiento y organización.

Cuando se hace mantenimiento preventivo dentro de un sistema correctivo, se le llama mantenimiento rutinario. Cuando se hace mantenimiento correctivo a un sistema preventivo, se llama corrección de falla. En la práctica no es posible tener a los dos sistemas como procesos totalmente diferenciados.

### **3.1.3. Programa de mantenimiento**

A continuación, se muestra el programa de mantenimiento.

### **3.1.3.1. Estrategias**

Se plantean cinco estrategias diferentes. Puede ser una combinación de estas.

#### **3.1.3.1.1. Mantenimiento programado**

Las acciones llevadas mediante esta estrategia se realizan en intervalos regulares de tiempo. Este mantenimiento es el mejor, usualmente cuando los equipos se sacan de operación.

Esta actividad requiere sacar de funcionamiento el equipo y así ser planificada, para el cambio de repuestos si fuera requerido. Sin embargo, este tipo de mantenimiento solo es efectivo cuando la falla es dependiente del tiempo de operación, aunque este no es común.

Las actividades que siempre son factibles de programar son, la lubricación y la limpieza de equipo mecánico. Para realizar esta actividad, los fabricantes indican la frecuencia que se requiere. Con esta información se puede establecer la programación correspondiente.

#### **3.1.3.1.2. Mantenimiento predictivo**

El mantenimiento predictivo no es dependiente de las características de la falla y es más efectivo cuando el modo de falla es detectable por monitoreo de las condiciones de operación. Este se realiza en forma periódica y rutinaria, no requiere la puesta fuera de los equipos de operación. Entre las técnicas usadas en esta estrategia están las inspecciones, la verificación de condiciones y el análisis de tendencias.

#### **3.1.3.1.3. Operar hasta la falla**

Esta estrategia no requiere de planes por adelantado o de otra actividad más que asegurar que en el momento de la falla, se contará con personal, herramientas y repuestos necesarios para atender la emergencia en el menor tiempo posible. Otro punto de vista es la estrategia menos deseable, se emplea como la única a seguir.

#### **3.1.3.1.4. Mantenimiento de oportunidad**

Esta es una manera efectiva de mantenimiento, se usan los tiempos de paro de equipos, debido a otras estrategias empleadas, o paros en la operación de la planta. Se usan los tiempos muertos. El esfuerzo que se debe aplicar a esta estrategia puede ser muy efectiva desde el punto económico.

#### **3.1.3.1.5. Rediseño por obsolescencia**

Esta es la mejor alternativa cuando las fallas son demasiado frecuentes y la reparación de los equipos o repuestos son costosos. Si se ejecuta bien, es una actividad que se realiza una vez; todas las demás son actividades repetitivas.

#### **3.1.3.2. Técnicas de monitoreo de condiciones**

El principal objetivo de esta técnica es la facilidad con que se realiza y el método utilizado es el no invasivo, porque no requiere parar las máquinas. Se escogen como técnicas adecuadas aquellas que no requieren detener la operación de los equipos.

### **3.1.3.2.1. Los sentidos humanos**

Tocar, ver, oler y oír generalmente se olvidan cuando se escribe la lista de los métodos para monitorear condiciones de operación. Esto sucede porque los sentidos siempre están presentes en las acciones. Es frecuente en mantenimiento que una apreciación subjetiva, usando los sentidos humanos, inicia un análisis objetivo y exhaustivo de un problema.

Esta ventaja refleja la gran variedad de parámetros que puede detectar ruido, vibraciones, temperatura, luz y olores.

### **3.1.3.2.2. Técnicas ópticas**

El uso de la visión se menciona en el punto anterior. El ojo humano aumenta la potencia como el uso de lupas u otros instrumentos ópticos. El objeto que se quiere inspeccionar no se encuentra accesible por lo que se requiere equipo especializado para visualizarlo.

## **3.2. Plan de mantenimiento**

En el proceso de desarrollar el plan de mantenimiento se determina el mejor procedimiento para cada parte, se debe notar que la mayor subdivisión de una planta es en unidades para propósitos de operación y de mantenimiento, pero los procedimientos de mantenimiento deben ser desarrollados por partes. Al juntar los diferentes planes de mantenimiento para las unidades se obtiene el plan de mantenimiento para la planta de tratamiento en general. El cual se presenta y divide en etapas. El desarrollo debe ser considerado como un proceso o actividad permanente y continua para mejorar el desempeño de la planta y alcanzar los propósitos de la administración.

- Determinar las unidades críticas en el proceso, con base en el diagrama de flujo de la planta o por los procesos que lleva una a otro según planos. Se realiza un análisis de la función que la unidad desempeña en el proceso y se pondera su importancia.
- Determinar la disponibilidad de las unidades, haciendo uso del historial de mantenimiento que se disponga, se realiza un análisis de la confiabilidad de la unidad.
- Determinar las partes críticas y su modo de falla, se utiliza el historial de mantenimiento y la base de datos de confiabilidad disponibles, para ubicar cuáles son los modos de falla de cada una de las partes de la unidad en estudio.
- Seleccionar el procedimiento de acuerdo con el modo de falla; una vez conocido el modo de falla o mediante el uso de técnicas de monitoreo de las condiciones de operación, se selecciona la estrategia apropiada.
- Ensamblar el plan para cada unidad, se confecciona el plan para cada una de las unidades dentro de las ventanas de producción, el cual puede constar de una combinación de todas las estrategias.
- Ensamblar el plan para toda la planta. Se utilizan las ventanas de producción de todas las fuentes y recursos de mantenimiento para ensamblar un plan general para toda la planta.

La evaluación y el control constante proporciona la requerida retroalimentación, para que el plan se actualice y mejore con eficiencia la experiencia generada.

### **3.3. Análisis en campo, monitoreo y control del proceso**

El análisis en campo indica las condiciones de funcionamiento de las unidades de la planta, recorriéndolas, basándose en el programa aleatorio de mediciones e inspección que permiten un control cruzado de la labor del operador y administrador. Todo el control del proceso se basa en la información recibida.

Esta es una etapa permanente del sistema y es la más importante; permite la retroalimentación para corregir cualquier deficiencia que se presente en la aplicación del programa de mantenimiento. Los resultados obtenidos del programa deberán ser evaluados para determinar que no exista ni exceso ni defecto del mantenimiento. También, un análisis de costos contra satisfacción de usuarios representa un buen método de evaluación del mantenimiento.

Se plantea una estrategia adecuada para cada unidad de la PTAR. Se debe hacer un diagrama de flujo de la planta. Con el diagrama de flujo se realiza un recorrido de la planta que permite identificar los equipos y las unidades.

La codificación empieza por asignar letras de código a cada una de las unidades, así como su equipamiento, por ejemplo:

- Equipo: soplador principal (SP1)
- Unidad: tanque aireador (TA)
- Unidad en el flujo: número secuencial (3)

Estos códigos pueden ser adecuados según el gusto del codificador. Lo importante es que se convierta en un léxico común al operador que está a cargo del mantenimiento para no tener confusiones.

Como segundo paso se procede al llenado de las fichas técnicas para todos los equipos y las estructuras existentes. Este formato se hace a todas y cada una de las partes de la planta de tratamiento.

Se tienen también las hojas de mantenimiento de equipos, normalmente es semanal, mensual y anual; es utilizada como una forma de mantener registrada toda actividad de mantenimiento realizada por el operador y que se mantenga al día con las actividades que ya se realizaron atendiendo el programa de mantenimiento y las necesidades extraordinarias que se presentan. Estas hojas de mantenimiento deben ser usadas por el operador (simple), técnico especializado (básico) o por la empresa proveedor (complejo).

### **3.4. Actividades de mantenimiento por unidad**

Se presentan actividades por unidades relevantes que son parte del plan de mantenimiento preventivo y rutinario.

#### **3.4.1. Limpieza de caja de rejillas y vertedero de salida del sedimentador**

Con un rastrillo, se debe limpiar y recoger la basura retenida en las rejillas. Retirla y depositarla en la criba para que escurra, o simplemente retirarla y dejarla secar. Una vez escurrida se recoge y se deposita en una bolsa para llevarla al sitio establecido. Verificar periódicamente si existe corrosión en las rejillas, si existiera programar lijado y aplicación de pintura anticorrosiva.

Los sólidos y grasas adheridos a la rejilla deben limpiarse a mano cuando sea necesario, raspar tanto las rejillas como las paredes del compartimiento para eliminar totalmente los sólidos y grasas.

Para el vertedero de salida del sedimentador, verificar la continuidad del efluente clarificado y limpiar periódicamente con un rastrillo o canasta para recoger los sólidos flotantes del vertedero.

#### **3.4.2. Trampa de grasa**

En este compartimiento se atrapan las grasas, y se separan del agua, quedando en la superficie superior, estas se enfrían y solidifican. Se deben retirar las grasas con un rastrillo o canasta y depositar en una bolsa para llevarla al sitio establecido. Al retirarlas constantemente, se evita que se sature el compartimiento y que pueda cumplir su función eficientemente.

#### **3.4.3. Tanque de aireación**

En este se da la inyección de aire por medio de difusores, el cual tiene una válvula individual de control; deben ajustarse para controlar el mezclado y asegurar el movimiento total del contenido del tanque, mismo que es necesario para un tratamiento eficiente del agua.

El operador debe abrir y cerrar las válvulas para lograrlo. El objetivo principal en este compartimiento con los difusores consiste en revisar diariamente la distribución del aire asegurando que este salga libre y uniforme por los difusores, asegurándose que no existan fugas.

Por ningún motivo se debe utilizar la válvula de aire para estrangular o limitar el volumen de aire de la planta, ya que es exclusivamente para ajustar el mezclado y el movimiento del agua.

Al igual que otras unidades de la PTAR, se deben limpiar entradas y salidas de agua y retirar la materia flotante.

#### **3.4.4. Tanque de sedimentación o clarificador**

La sedimentación se realiza en tolva, donde prácticamente no existe movimiento y por gravedad se asientan los lodos, y el resto regresa al tanque de aireación por medio de la recirculación o retorno de lodos.

Para prevenir la acumulación de lodos en sedimentación, las paredes inclinadas de la tolva deben rasparse semanalmente, el operador debe utilizar un rastrillo para mover suavemente el lodo hacia la unidad de digestión de lodos. Se debe tener la precaución de no agitar más de lo necesario el contenido del tanque de sedimentación.

Remover los sólidos acumulados en la entrada y salida del agua, en mamparas, vertedores y caja de recolección de natas, así como, cepillar las canaletas de recolección de agua.

#### **3.4.5. Sopladores (*blower*)**

El mantenimiento de los sopladores consiste en cambiar el aceite de lubricación, la grasa y los filtros de aire. El primer paso y más importante, desconectar y apagar la corriente eléctrica.

- Lubricación: mantener la lubricación adecuada para evitar la contaminación y daños en los rodamientos. Algunos motores están equipados con rodamientos sellados que no necesitan lubricación, estos motores no tienen boquillas para la grasa o tapones de drenaje. Mantener la aceitera llena al menos a 1/3 todo el tiempo.
- Controlar la limpieza del filtro de aspiración: desmontar el filtro y limpiar con aire comprimido desde adentro hacia afuera. En caso de que se encuentre deteriorado, es necesario cambiarlo.
- La frecuencia de limpieza del filtro depende del ambiente en que se use. La excesiva obstrucción del filtro provoca bajo rendimiento del equipo, calentamiento o acumulación de polvo en el interior del cuerpo y de los motores, que afecta todo el mecanismo.
- En ambientes normales, limpiar una vez por semana (no operar el soplador sin filtro).
- Verificar la válvula de alivio para que funcione correctamente e inspeccionar para determinar que no existan fugas.

#### **3.4.6. Mantenimiento de las bombas sumergibles**

La ventaja de las bombas sumergibles es que son de poco y fácil mantenimiento ya que están diseñadas para un trabajo duro, estas bombas son llamada también trituradora de sólidos.

Se basa prácticamente en una inspección regular, mínimo una vez al año y con mayor frecuencia si trabaja en condiciones operativas difíciles. En

condiciones de funcionamiento normal, la bomba se somete a una revisión general en un taller de servicio o con el proveedor directamente; esta revisión es programable.

#### **3.4.7. Desinfección y dosificación del cloro**

Cuando los vertedores del clarificador empiezan a derramar y el efluente a salir, inicia la cloración del efluente para su desinfección. En este punto el mantenimiento es sencillo, el operario verifica que el compartimiento siempre tenga tabletas de cloro, usualmente el compartimiento está diseñado para diez tabletas, nunca debe operar con menos del 50 % (5, si fuera el caso de diez tabletas).

### **3.5. Seguridad industrial e higiene ocupacional en la planta de tratamiento**

El hombre siempre ha estado enfrentando riesgos de accidentes o enfermedades ocupacionales cuando realiza todo tipo de actividades para garantizar su supervivencia y progreso. Así, estos riesgos son un elemento que permanecen presentes en la realización de cualquier trabajo. La presencia de estos riesgos ha hecho necesario la inclusión de algunas disciplinas que plantean una serie de estrategias para la prevención de accidentes y enfermedades, como la seguridad industrial e higiene ocupacional.

#### **3.5.1. Definición**

A continuación, se muestra la definición de la seguridad industrial e higiene ocupacional en la planta de tratamiento.

### **3.5.1.1. Seguridad industrial**

Conjunto de principios, criterios y normas cuyo objetivo fundamental es controlar el riesgo de accidentes que pudieran derivar en lesiones a las personas, daños a las propiedades y equipos que intervienen en el desarrollo de toda actividad productiva.

### **3.5.1.2. Higiene ocupacional**

Conjunto de actividades aplicadas al conocimiento, evaluación y control de aquellos factores ambientales, tensiones producidas o provocadas por o con motivo del trabajo, y que pueden ocasionar enfermedades, afectar a la salud o crear algún malestar significativo a las personas.

### **3.5.2. Identificación y clasificación de riesgos en PTAR**

Antes de enfatizar de seguridad industrial e higiene que conlleva el mantenimiento de una PTAR, es importante que el operador conozca los riesgos al cual están expuestos, para una mejor labor.

Una PTAR presenta peligros como resultado de la naturaleza del agua tratada. Los riesgos pueden ser:

- Daños físicos
- Infecciones corporales
- Inhalación de gases nocivos

Los riesgos son controlados con prácticas adecuadas, así como la selección de un proceso y equipo para minimizar dichos riesgos. Para tener instalaciones seguras, los operadores y supervisores deben entender que:

- Las rutinas necesarias en la planta y los riesgos asociados.
- La ejecución de rutinas seguras.
- Las actividades que deben ser reportadas.
- El reporte periódico.
- La forma en que los reportes deben ser realizados.
- Los trabajadores deben conocer las áreas de mayor riesgo y las zonas de seguridad.

Las áreas de mayor riesgo y frecuentes son:

- Las atmosferas contaminadas
- El almacenamiento de agentes químicos y biológicos
- Los lugares de confinamiento
- La operación nocturna
- Los gases y los vapores
- El manejo de materiales inflamables y explosivos
- El control de fuego
- Los incineradores

Tabla VII. **Riesgos, origen y prevención de una PTAR**

<b>Riesgo</b>	<b>Origen</b>	<b>Prevención</b>
Infecciones	<p>Inhalación de patógenos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Contacto con patógenos con piel, ojos, quemaduras, cortadas, raspones y boca.</li> </ul>	<p>Uso de equipo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Máscaras de protección y lentes, guantes de látex, tapabocas desechables.</li> </ul>
Daño físico	<p>Caídas y resbalones:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Movimiento de maquinaria.</li> <li>• Levantar y empujar de forma incorrecta.</li> <li>• Acciones repetitivas.</li> <li>• Ahogamiento.</li> </ul>	<p>Instalaciones adecuadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Protecciones circundantes (escaleras y barandas con más de 1,50 metros de altura).</li> </ul> <p>Utilización de equipo de seguridad:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fajas y arnés.</li> <li>• En equipos mecánicos, colocar protecciones en las partes móviles expuestas, uso de chaleco salvavidas y reflectivo.</li> </ul>
Espacios confinados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accesos y salidas limitadas.</li> <li>• Ventilación limitada.</li> <li>• No apto para ser ocupado por trabajadores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilización de arnés.</li> <li>• Ventilación y medición de gases.</li> <li>• Realizar actividades en cuadrillas.</li> <li>• Evitar estancias prolongadas.</li> <li>• Uso de chaleco salvavidas y reflectivo.</li> </ul>
Espacios con deficiencia de oxígeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ventilación limitada.</li> <li>• Reacciones químicas.</li> <li>• Alta temperatura o humedad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilización de arnés, ventilar adecuadamente.</li> <li>• Evitar estancias prolongadas.</li> <li>• Medición de gases antes de ingresar.</li> </ul>
Exposición a químicos, gases y vapores tóxicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Químicos</li> <li>• Reacciones químicas</li> <li>• Desechos industriales</li> <li>• Carencia de ventilación</li> </ul>	<p>Uso de equipo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Máscaras protectoras.</li> <li>• Guantes de látex.</li> <li>• Uso de equipo de respiración autónoma.</li> </ul>
Descargas eléctricas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo defectuoso.</li> <li>• Aterrizado en forma inadecuada.</li> <li>• Servicio no calificado.</li> <li>• Aislamiento insuficiente.</li> <li>• Corto circuito.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conectar a tierra todo el equipo.</li> <li>• Uso de guantes aislantes.</li> <li>• Uso de botas dieléctricas.</li> </ul>
Ruido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emitida por el equipo electromecánico.</li> <li>• Amplificación por equipo confinado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilización de protectores auditivos.</li> <li>• Evitar estancias prolongadas en el área.</li> </ul>

Fuente: elaboración propia.

El desarrollo de las reglas y los procedimientos para trabajar seguro en las instalaciones de una PTAR, deben considerar lo siguiente:

- Ser de fácil entendimiento y realistas.
- Ser lógicas y que ejerciten la responsabilidad individual.
- Ser enfocadas al área de operación, mantenimiento y análisis en laboratorio.
- Proporcionar y participar en capacitaciones para la prevención y control de accidentes.
- Cumplir con todas las medidas de seguridad para la prevención y control de accidentes.

### **3.5.3. Equipo y material de seguridad industrial**

Dentro de un sistema de tratamiento, el operador debe contar con el equipo y material para el desarrollo de sus actividades, tanto en la operación rutinaria como durante el mantenimiento. Asegurar que los operadores cuenten con capacitación para el manejo adecuado de los equipos y materiales. Se presenta el equipo básico de seguridad con que debe contar el operador de la planta.

Tabla VIII. **Equipo y material de seguridad para la operación y el mantenimiento de PTAR**

Tipo	Nombre	Figura
Equipo personal para la operación rutinaria y mantenimiento	Uniforme	
	Chaleco reflectivo	
	Lentes de seguridad	
	Mascarilla desechable	
	Protección auditiva	
	Botas de seguridad (suela antiderrape y dieléctrica)	

Continuación de la tabla VII.

Equipo adicional para mantenimiento	Arnés de seguridad con línea de vida	
	Linterna	
	Máscara protectora	

Fuente: elaboración propia.

#### 3.5.4. Medidas de higiene

Los trabajadores relacionados con el manejo de aguas residuales y lodos generados en los procesos de tratamiento, están expuestos al contacto con microorganismos; por lo que el riesgo de contraer enfermedades infecciosas es mayor, las siguientes enfermedades son las más comunes:

- Hepatitis A infecciosa
- Infecciones virales
- Infestación de parásitos
- Enfermedades gastrointestinales

- Anormalidades en fosas nasales, oídos y piel por infecciones

La mejor defensa contra infecciones virales y bacterianas, son prácticas de higiene personal que pueden ser:

- Mantener manos y dedos lejos de la nariz, boca, ojos y oídos.
- Usar guantes de hule cuando se limpian bombas o equipos, se maneje agua residual, rejillas, lodos o arena, u otras tareas que involucren contacto directo con las aguas residuales o lodos.
- Usar guantes siempre que se tenga una lesión en las manos, como quemadura, cortada, raspón, etc., para evitar el contacto directo de microorganismos con el torrente sanguíneo.
- Lavarse las manos con jabón, preferentemente con agua caliente, antes de comer.
- Mantener las uñas cortas y remover los materiales extraños que se introduzcan en las mismas.
- Se recomienda el uso de dos compartimientos por trabajador; una para guardar ropa de uso cotidiano y limpia; otra para la ropa de trabajo, normalmente sucia.
- Informar cualquier lesión por pequeña que sea incluyendo raspones para que se apliquen los primeros auxilios.
- Bañarse al finalizar su turno de trabajo.

Para asegurar la máxima protección a la salud, los empleados deben recibir vacunación contra:

- Hepatitis A
- Hepatitis B
- Influenza
- Sarampión
- Paperas
- Neumonía
- Rubéola
- Tétanos y difteria



## CONCLUSIONES

1. La implementación de plantas de tratamiento de lodos activados ha aumentado la demanda por el crecimiento constructivo en Guatemala, y la falta de espacio en las edificaciones, hace que las plantas se construyan en espacios cerrados y herméticos. Estas a su vez requieren de una operación y un mantenimiento más específico por el equipamiento que conllevan, el cual tienen que operar eficientemente, para evitar malos olores, los que repercuten en toda la edificación y en el ambiente de los alrededores.
2. Las edificaciones son diseñadas y ejecutadas por profesionales del área de la construcción, en la mayoría de casos ingenieros civiles. Las construcciones son proyectos que cumplen con el denominado ciclo del proyecto, en el cual el ingeniero llega a ser parte, normalmente, de las primeras dos fases: preinversión (presupuestos, factibilidad, diseños) e inversión (estudios definitivos y ejecución); se encuentra en la fase de postinversión (evaluación, seguimiento, operación y mantenimiento), una deficiencia muy marcada. En esta fase el proyecto es entregado a un administrador, el cual se hace cargo de toda la edificación con sus instalaciones y servicios, y es responsable que el sistema de la planta de tratamiento de aguas residuales continúe funcionando de acuerdo al diseño; pero en particular, se genera deficiencia, además del poco interés que se brinda, debido al desconocimiento e inexperiencia en el manejo operacional. Esto implica problemas en las etapas iniciales e intermedias de la operación y mantenimiento, que influye negativamente en el funcionamiento.

3. La existencia de un plan de operación y mantenimiento, y el contar con operadores técnicamente capacitados para llevar a cabo dichos procesos, permite que toda actividad programada o imprevista sea resuelta bajo protocolos establecidos previamente; se logra de esta manera que el funcionamiento eficiente de la planta sea garantizado en la medida de los recursos disponibles.
  
4. Es importante y fundamental la creación de registros de datos por medio de fichas técnicas; el inventario descriptivo de equipamiento, operaciones iniciales e intermedias, control de fallas y de seguimiento de cada unidad que conforma la planta, fichas del mantenimiento realizado diario, semanal, mensual y hasta anual, lo que contribuirá para el historial, una base de datos; en ciertos casos determinar y analizar el porqué de los problemas que se presentan, para un rendimiento efectivo y constante mejora para toda la planta de tratamiento.
  
5. Una planta de tratamiento como resultado de la naturaleza del agua tratada, presenta peligros y riesgos a los que el operador está expuesto, como daños físicos e infecciones corporales, los que pueden ser controlados y minimizados con prácticas de trabajo adecuadas, uso obligatorio de equipo de protección personal y aplicación de seguridad y salud ocupacional.

## RECOMENDACIONES

1. Promover los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las edificaciones, sin importar el tipo que se implemente (aerobia o anaeróbica) para la continua mejora de la calidad de los cuerpos receptores y la salud humana.
2. Realizar el mantenimiento diario para tener mejores resultados, y así que se generen menos problemas operacionales y mecánicos, aunque parezca un trabajo insignificante, es muy valioso.
3. Siempre observar, es el primer indicador para determinar que todo está operando bien o que algún problema se está presentando o pasará, y así realizar acciones correctivas adecuadas.
4. El operador debe auxiliarse de un calendario y documentación de actividades realizadas para conservar un programa de mantenimiento preventivo. Así como realizar tarjetas de registro, descriptivas y mantenimiento por unidades y equipos que conforman la planta de tratamiento.
5. Siempre solicitar al proveedor del equipamiento de la planta de tratamiento los manuales de los fabricantes del equipo mecánico y eléctrico, ya que servirán para tener una noción cognitiva de lo que está operando y estará bajo el cargo del operador.

6. Cuando en la planta de tratamiento no han existido registros de fallas y de mantenimiento, se recurre a una empresa especializada y con experiencia que retome la planta, y que a partir de allí no se dejen pasar por alto los registros y los acontecimientos relacionados.
7. Es importante que la administración del edificio lleve un control interno sobre el operador, y que el operador reporte semanalmente o mensualmente las actividades llevadas a cabo y una bitácora sobre los diferentes temas vinculados con el mantenimiento.
8. El operador tiene que cumplir con la responsabilidad de descargar un efluente, que cumpla con los requerimientos establecidos por la normativa vigente o condiciones particulares de descarga que se hayan impuesto.
9. La planta de tratamiento siempre debe contar como mínimo con un grifo, para la limpieza en general que se requiera.
10. Es importante la constante capacitación al operador y encargado de mantenimiento, en la teoría y práctica de operación, mantenimiento, seguridad y salud ocupacional, registros, entre otros factores que influyen directamente.
11. Implementar la señalización preventiva en las áreas donde se encuentran ubicados los equipos y en cada unidad de la planta de tratamiento, especialmente, la advertencia de alto voltaje o equipos eléctricos.

12. La empresa que contrate al responsable de la operación y el mantenimiento de la planta de tratamiento, debe proporcionar gratuitamente las herramientas, el vestuario y los enseres inherentes para el desarrollo del trabajo; al igual el cambio del mismo cuando sea necesario, establecido por el Acuerdo Gubernativo No. 229-2014 *Reglamento de salud y seguridad ocupacional.*



## BIBLIOGRAFÍA

1. BORGUES CASTILLO, E.; GARCÍA SOSA, J. *Tratamiento de efluente de fosas sépticas por el proceso de lodos activados*. México: Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, 2011. 60 p.
2. ESCALANTE ESTRADA, Violeta. *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de lodos activados*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua, 2006. 80 p.
3. Gobierno de Guatemala. Acuerdo Gubernativo 236-2006. *Reglamento de las descargas y reúsos de aguas residuales y de la disposición de lodos*. Guatemala: República de Guatemala, 2006. 30 p.
4. HERNÁNDEZ SAMPIERI, I.; FERNÁNDEZ COLLADO, B; BAUTISTA LUCIO, M. *Metodología de la investigación*. 4a ed. México: McGraw-Hill, 2005. 222 p.
5. MARÍN OCAMPO, Armando; OSÉS PÉREZ, Manuel. *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados*. Tomo I y II. México: Comisión Estatal del Agua de Jalisco, 2013. 143 p.
6. MARTÍN GARCÍA, Isabel. *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Mejora de la*

*calidad de los efluentes*. España: Centro de las Nuevas Tecnologías del agua, Gobierno de Canarias, 2006. 127 p.

7. Metcalf & Eddy. *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. USA: McGraw-Hill, 2004. 330 p.
8. PRATTI, L.; PAVANELLO, R. *Assesment of surface wáter quality by a single index of contamination*. USA: Water Resources Research, 1971. 467 p.
9. RAMÍREZ CAMPEROS, Esperanza. *Tercer curso internacional. Sistemas integrados de tratamiento de aguas residuales y su reúso para un medio ambiente sustentable. Tema fundamentos del proceso de lodos activados*. México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2004. 121 p.
10. ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. *Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño*. Tercera reimpresión. Colombia: Person Education, 2010. 1278 p.
11. RUSSELL, David L. *Tratamiento de aguas residuales, un enfoque práctico*. Estados Unidos de Norte América: Editorial Reverté, Global Environmental Operations, Inc., 2006. 285 p.
12. VILLEGAS GALLÓN, Margarita María; VIDAL TORDECILLA, Elda Esther. *Gestión de los procesos de descontaminación de aguas residuales domésticas de tipo rural en Colombia*. Colombia: Universidad de Antioquia, Facultad de Ingeniería, 2009. 90 p.

## APÉNDICE

### Apéndice 1. Formato para la recepción del agua residual

<b>Recepción del agua residual</b>					
<b>Edificio o proyecto:</b>					
<b>Modalidad del proceso:</b>					
<b>Nombre del operador:</b>					
<b>Fecha:</b>		<b>Hora entrada:</b>		<b>Hora salida:</b>	
<b>Color</b>	Café claro	Café oscuro	Negro	Verde	Otro
<b>Observaciones</b>					
<b>Olor</b>	Seco	Humedad	Ligero	Séptico	Otro
<b>Observaciones</b>					
<b>Sólidos suspendidos</b>	Nada	Poco	Más o menos	Demasiado	Se retiró
<b>Observaciones</b>					

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Evaluación de los indicadores visuales por unidad**

<b>Evaluación del indicador visual: tanque de aireación</b>					
<b>Turbulencia</b>	Homogénea	Heterogénea	Demasiada	Poca	Zona
<b>Observaciones</b>					
<b>Sólidos suspendidos</b>	Nada	Poco	Más o menos	Demasiado	Se retiró
<b>Observaciones</b>					
<b>Espumas</b>	Blanca	Café claro	Café oscuro	Negro	Verde
<b>Observaciones</b>					
<b>Evaluación del indicador visual: sedimentador y clarificador</b>					
<b>Turbiedad</b>	Algas	Burbujas	Materia flotante	Cortocircuito	Acumulación de sólidos
<b>Observaciones</b>					
<b>Flóculo</b>	Esponjoso	Disperso	Pesado	Homogéneo	Otro
<b>Observaciones</b>					

Continuación del apéndice 2.

<b>Evaluación del indicador visual: digestor de lodos</b>					
<b>Color</b>	Café claro	Café oscuro	Negro	Verde	Otro
<b>Observaciones</b>					
<b>Olor</b>	Seco	Humedad	Ligero	Séptico	Otro
<b>Observaciones</b>					
<b>Flóculo</b>	Esponjoso	Disperso	Pesado	Homogéneo	Otro
<b>Observaciones</b>					
<b>Nivel de lodo</b>	Vacío	Bajo	Medio	Lleno	Se retiró
<b>Observaciones</b>					

Continuación del apéndice 2.

<b>Evaluación del indicador visual: compartimiento de desinfección</b>			
<b>Temperatura</b>	Tipo de movimiento	Tipo de ruido	Otro
<b>Observaciones</b>			

<b>Evaluación del indicador visual: agua tratada</b>					
<b>Turbiedad</b>	Algas	Burbujas	Materia flotante	Cortocircuito	Acumulación de sólidos
<b>Observaciones</b>					

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Formato de la ficha técnica para cada equipo**

<b>Ficha técnica</b>			
<b>Equipo:</b>		<b>Unidad:</b>	
<b>Marca:</b>		<b>Código asignado:</b>	
<b>Potencia:</b>		<b>Tipo tratamiento:</b>	
<b>Modelo:</b>		<b>No. secuencial en el proceso o flujo:</b>	
<b>Tiempo que opera:</b>		<b>Comentarios: (se anota lo observado, como si es crítico o no; y si tiene relevo)</b>	
<b>Lubricación:</b>			
<b>RPM:</b>			

Fuente: elaboración propia.



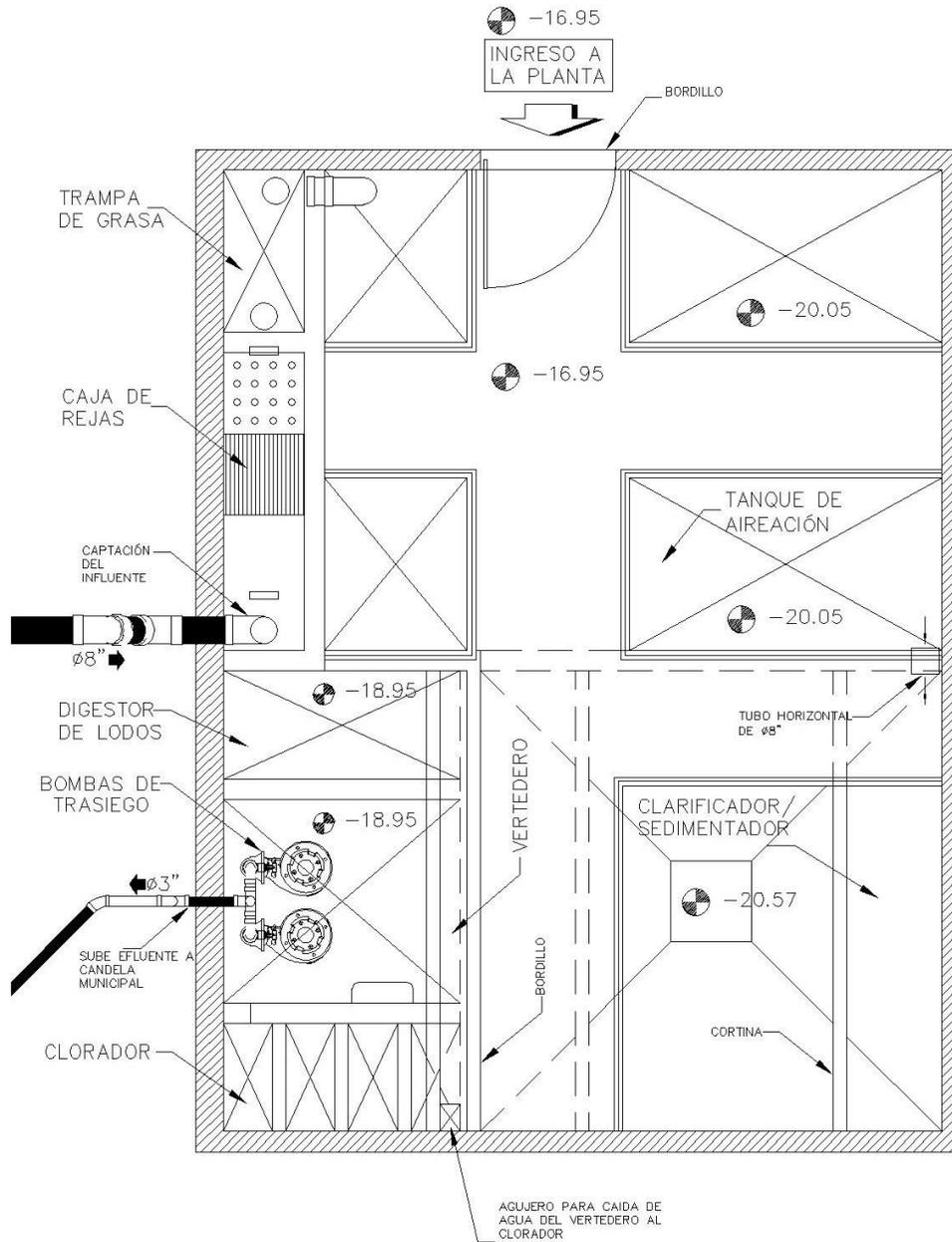
Apéndice 5. **Formato del reporte de mantenimiento al equipo**

<b>Información básica</b>			
<b>Equipo:</b>		<b>No. Motor:</b>	
<b>Potencia (HP):</b>		<b>Fabricante / proveedor:</b>	
<b>Serie:</b>	<b>Fase:</b>	<b>Ciclos:</b>	<b>Voltaje:</b>
<b>Amperaje:</b>	<b>Modelo:</b>	<b>Serie:</b>	<b>Orden:</b>
<b>Registro de servicio de motores</b>			
<b>Fecha de instalación</b>	<b>Localización</b>	<b>Aplicación</b>	
<b>Fecha de reparación</b>	<b>Reparación</b>	<b>Causa</b>	<b>Reparado por</b>

Fuente: elaboración propia.

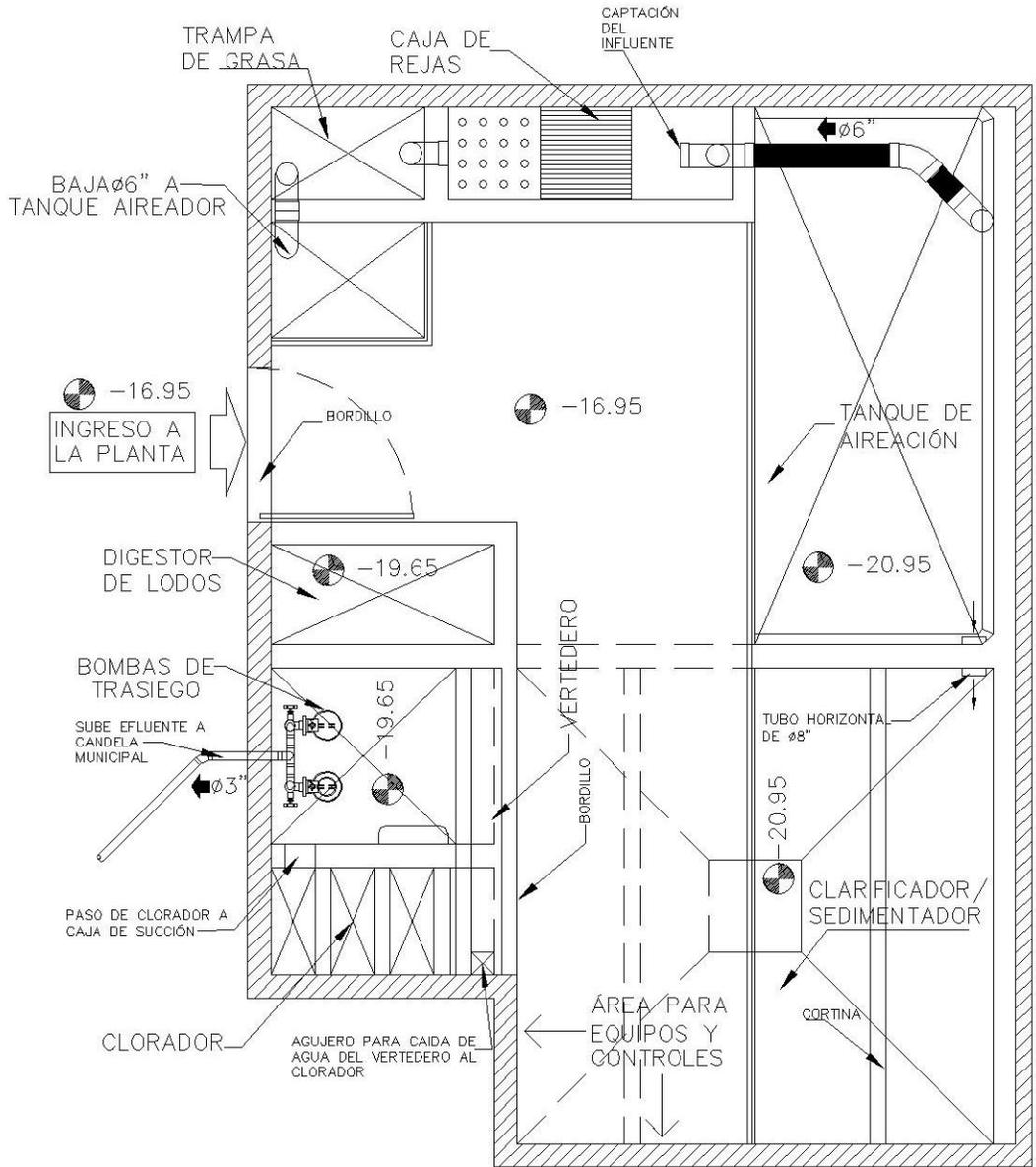


Apéndice 7. Plano del PTAR, edificio TEC 2



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Apéndice 8. Plano del PTAR edificio TEC 3



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Apéndice 9. **Fotografías generales del PTAR TEC 2**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 10. **Fotografía de los difusores de membrana de burbuja fina en tanque aireador de PTAR TEC 2**



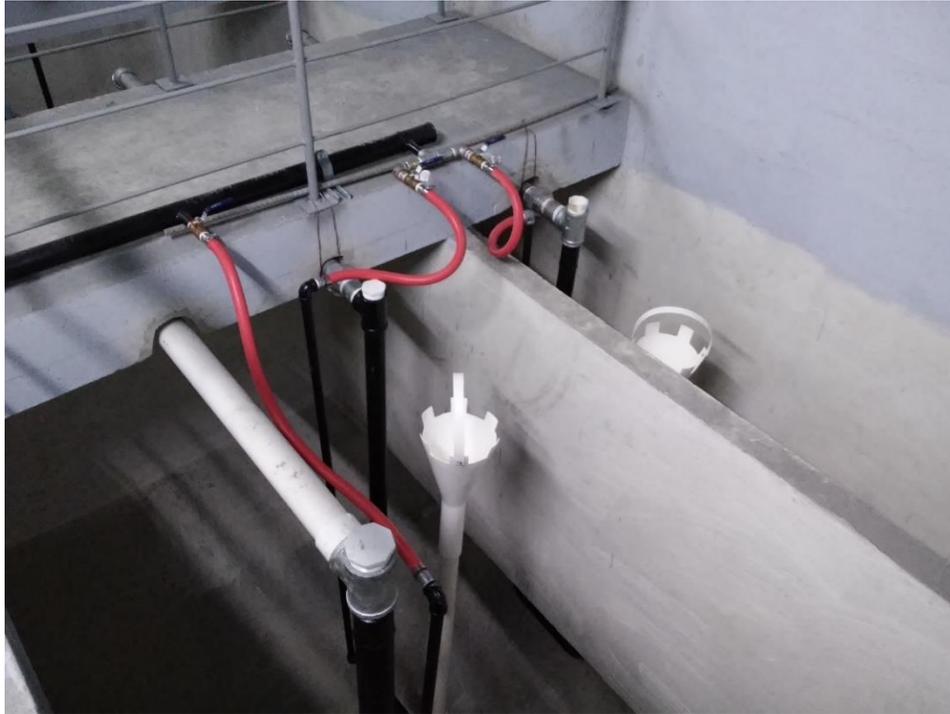
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 11. **Fotografía del tablero eléctrico y soplador de PTAR de TEC 2**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 12. **Fotografías del sistema de retorno de lodos o *air lift* ubicados en el sedimentador de PTAR de TEC 2**



Continuación del apéndice 12.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 13. **Fotografía del sistema de desinfección y las pastillas para la cloración del efluente en PTAR de TEC 2**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 14. **Fotografía de las bombas de trasiego de PTAR de TEC 2**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 15. **Fotografía del compartimiento de canal de captación de efluente, canal de rejillas y trampa de grasa de PTAR de TEC 3**



Continuación del apéndice 15.



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 16. **Fotografía de difusores de membrana de burbuja fina en tanque aireador de PTAR TEC 2**



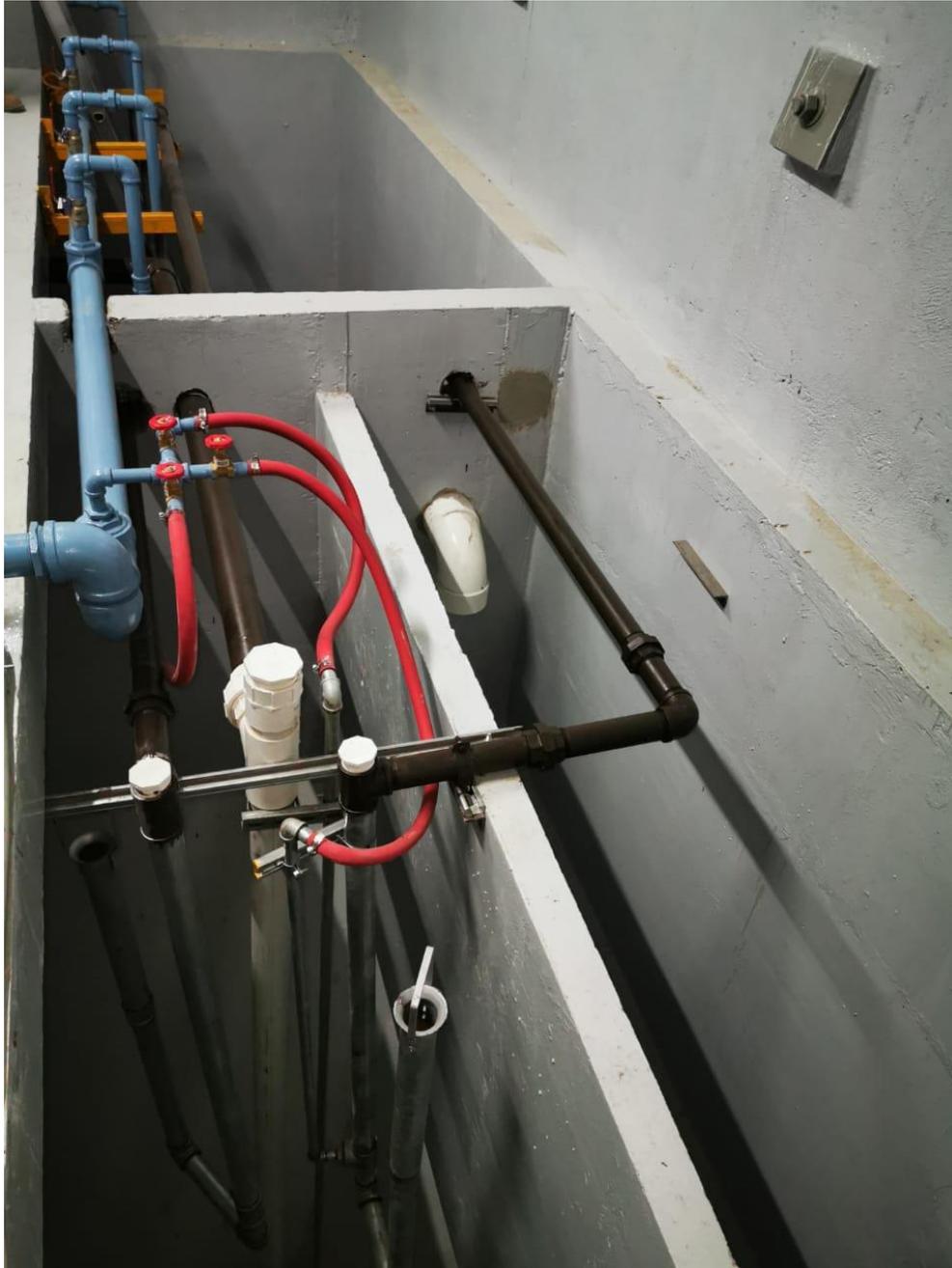
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 17. **Fotografía del tanque aireador y sedimentador puesto en marcha de PTAR de TEC 3**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 18. **Fotografías del sistema de retorno de lodos o *air lift* ubicados en el sedimentador de PTAR de TEC 3**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 19. **Fotografía del aireador (*blower*) y del panel de automatización PTAR de TEC 3**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 20. **Fotografía del sistema de desinfección con vertederos verticales y bombas de trasiego de PTAR de TEC 3**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 21. **Fotografía del compartimiento del digester de lodos de PTAR de TEC 3**



Fuente: elaboración propia.