



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y
PROPUESTA DE MANTENIMIENTO AL EQUIPO DE BOMBEO**

Hermes Rodolfo Escobar Velásquez
Asesorado por el Ing. Edwin Josué Ixpatá Reyes

Guatemala, agosto de 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y
PROPUESTA DE MANTENIMIENTO AL EQUIPO DE BOMBEO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

HERMES RODOLFO ESCOBAR VELÁSQUEZ
ASESORADO POR EL ING. EDWIN JOSUÉ IXPATÁ REYES

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADORA	Inga. Aurelia Anabela Córdova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Byron Gerardo Chocooj Barrientos
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

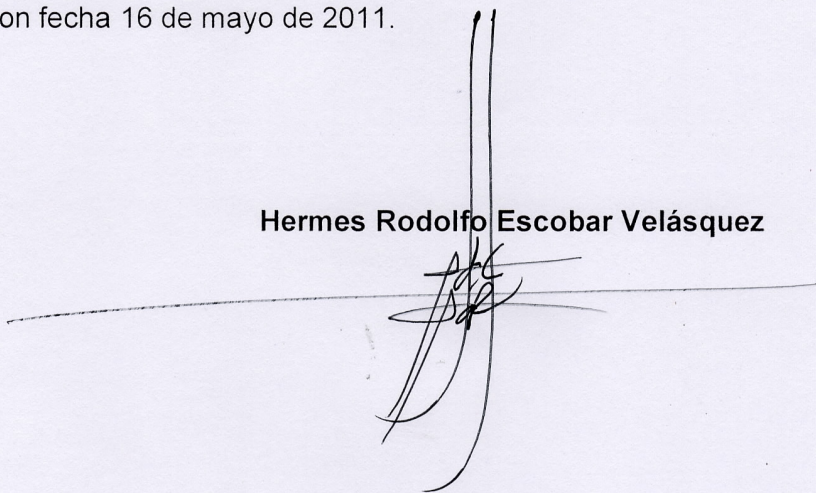
HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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:

EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO AL EQUIPO DE BOMBEO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 16 de mayo de 2011.

Hermes Rodolfo Escobar Velásquez

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long vertical stroke, positioned over the printed name.

Guatemala, Agosto de 2013

Ingeniero

Cesar Ernesto Urquizú Rodas

Director

Escuela de Ingeniería Mecánica industrial

Facultad de Ingeniería

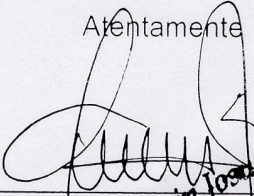
Presente

Estimado Ingeniero Urquizú

Por este medio le informo de las revisiones que he realizado al trabajo de graduación del estudiante Universitario **Hermes Rodolfo Escobar Velásquez** con carnet 2004-13140, siendo el título del trabajo " **EVALUACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO AL EQUIPO DE BOMBEO.**" dando mi aprobación final de las revisiones hechas.

Sin otro particular, me es grato suscribirme

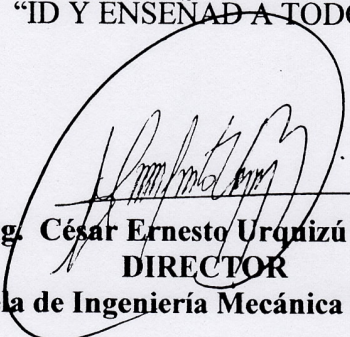
Atentamente


Ing. Edwin Josue Ispata Reyes
Ing. Mecánico Industrial
Carnet No. 7128



El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO AL EQUIPO DE BOMBEO**, presentado por el estudiante universitario **Hermes Rodolfo Escobar Velásquez**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAR A TODOS”


Ing. César Ernesto Urquizú Rodas
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, agosto de 2014.

/mgp

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 407.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA Y PROPUESTA DE MANTENIMIENTO AL EQUIPO DE BOMBEO**, presentado por el estudiante universitario **Hermes Rodolfo Escobar Velásquez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, se autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
Decano

Guatemala, 19 de agosto de 2014



/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

A la energía natural

Por unir causalidades en mi vida, permitirme superar muchos obstáculos y enseñarme el valor de compartir el conocimiento con mis semejantes.

Mis padres

Rodolfo Cosme Escobar Fuentes, Calixta Carmelina Velásquez López, por darme la oportunidad de vivir y apoyarme en todo momento, aún en las etapas duras de mi vida.

Mis hermanos

Guiddel y Heles Escobar Velásquez, por ser parte de mis triunfos, mis sueños, mis fracasos y ayudarme a moldear mi carácter.

Mis sobrinos

Cesia y Guiddel Escobar López, por complementar mi vida de alegría y por mostrarme la belleza de la ignorancia.

Mis abuelos

Eugenio Escobar, Elisa Fuentes, Alejandro Velásquez y Dominga López, por dejar en mi vida una herencia de esfuerzo y dedicación.

Mis tíos y tías

Por estar presente en los momentos críticos de mi familia y apoyarnos sin ninguna condición.

Paula Velásquez

Mi tía, por estar en los momentos más difíciles de mi vida.

Familia Gatica Canu

Por compartir su amistad con mi persona, brindarme su apoyo incondicional en todo momento y ayudarme directamente al logro de este título.

Mis amigos

Luis Gatica, Jeser Nij, Cristóbal Tezen, Johan Arana, Danilo Escobar, Alejandro Méndez, Saúl Tablas, Julio Ponce, Luis Fuentes, Sergio Pineda, Cristian Pineda, Viviana Escobar, Marlon López, a mis amigos de Gentrac y a toda persona que me ha dado la oportunidad de compartir un poco de su amistad conmigo.

AGRADECIMIENTOS A:

Mis padres

Rodolfo Cosme Escobar Fuentes y Calixta Carmelina Velásquez López, ya que soy el resultado de su esfuerzo y sacrificio, sin ellos no hubiera logrado este triunfo y se los agradezco desde lo más profundo de mi corazón, lugar donde cada día iluminan mi diario vivir.

Ing. Edwin Josué Ixpatá Reyes

Por tenerme mucha paciencia y darme siempre los ánimos con su ejemplo que todo esfuerzo tiene su recompensa.

Mis compañeros

A los que estuvieron conmigo en esta etapa de mi vida en la cual me he superado como persona y he logrado direccionar mis acciones buscando siempre la verdad de todo.

Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, Escuela de Mecánica Industrial

Por completar de valores mi vida.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XXVII
OBJETIVOS.....	XXIX
INTRODUCCIÓN.....	XXXI
1. ANTECEDENTES GENERALES	1
1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala.....	2
1.1.1. Historia	2
1.1.2. Ubicación	5
1.1.3. Misión	6
1.1.4. Visión.....	7
1.1.5. Valores	7
1.1.6. Organización.....	8
1.2. Planta de tratamiento de aguas residuales.....	11
1.2.1. Reseña histórica	11
1.2.2. Funcionamiento	13
1.2.3. Organización.....	14
1.3. Tratamiento de aguas residuales	16
1.3.1. Calificación de aguas residuales	18
1.3.2. Constituyentes de aguas residuales	19
1.3.3. Obtención del agua a tratar	20
1.3.4. Procedimiento preliminar al tratamiento	20
1.4. Mantenimiento industrial.....	22

1.4.1.	Definición.....	22
1.4.2.	Características	23
1.4.3.	Tipos de mantenimiento	23
1.4.3.1.	Mantenimiento preventivo	23
1.4.3.2.	Mantenimiento proactivo	24
1.4.3.3.	Mantenimiento correctivo	24
1.5.	Equipo de bombeo	24
1.5.1.	Función.....	26
1.5.2.	Tipos de bombas.....	26
1.5.2.1.	Bombas primarias	28
1.5.2.2.	Bombas secundarias.....	28
2.	DIAGNÓSTICO SITUACIONAL	29
2.1.	Tratamiento actual de las aguas residuales	30
2.2.	Fallas continuas en el tratamiento.....	31
2.3.	Aguas residuales que trata la planta	31
2.3.1.	Aguas grises.....	32
2.3.2.	Aguas negras	32
2.4.	Diagnóstico en el funcionamiento de la planta	33
2.4.1.	Puntos de análisis y parámetros	33
2.4.2.	Análisis físicoquímico y bacteriológico de muestras.....	34
2.4.3.	Carga de contaminantes hacia el sumidero natural	35
2.4.4.	Tratamiento preliminar.....	36
2.4.5.	Tratamiento primario	37
2.4.6.	Tratamiento secundario.....	37
2.4.6.1.	Filtros percoladores.....	39
2.4.6.1.1.	Descripcion.....	40

	2.4.6.1.2.	Función	40
	2.4.6.2.	Reactores de la planta.....	41
		2.4.6.2.1.	Características
		2.4.6.2.2.	Desempeño.....
	2.4.6.3.	Remocion de nutrientes acuaticos.....	44
2.4.7.		Mantenimiento del equipo de bombeo.....	43
	2.4.7.1.	Funcionamiento del equipo.....	44
	2.4.7.2.	Indicadores de mantenimiento.....	44
	2.4.7.3.	Equipo y herramientas.....	45
2.5.		Factores de riesgo en relación a seguridad industrial	45
	2.5.1.	Actos inseguros	47
	2.5.2.	Equipo de seguridad.....	48
	2.5.3.	Riesgos de enfermedades ocupacionales	49
2.6.		Costos de operación.....	49
	2.6.1.	Tratamiento de la planta	50
	2.6.2.	Mantenimiento del equipo.....	51
3.		PROPUESTA DE MEJORA A LA PLANTA DE TRATAMIENTO	53
3.1.		Colocación de elementos al tratamiento.....	53
	3.1.1.	Introducción preliminar de elementos	54
		3.1.1.1.	Sedimentador primario
		3.1.1.2.	Batería de filtros.....
		3.1.1.3.	Sedimentador secundario.....
		3.1.1.4.	Reactor de flujo acendente
		3.1.1.5.	Filtro percolador.....
		3.1.1.6.	Laguna de elementos acuáticos
		3.1.1.7.	Laboratorio de Análisis de Muestras....
3.2.		Mantenimiento al equipo de bombeo.....	61
	3.2.1.	Ubicación del equipo de bombeo.....	61

	3.2.1.1.	Bombas	62
	3.2.1.2.	Motores	63
	3.2.1.3.	Válvulas de compuerta	64
	3.2.1.4.	Válvulas de alivio.....	64
	3.2.1.5.	Válvula de aire.....	65
	3.2.1.6.	Válvula de golpe de ariete	65
	3.2.1.7.	Medidor de caudal.....	66
3.3.		Personal de la planta.....	67
	3.3.1.	Puestos y funciones	67
		3.3.1.1. Jefe de mantenimiento	68
		3.3.1.2. Supervisor de mantenimiento.....	69
		3.3.1.3. Técnicos de mantenimiento.....	70
3.4.		Seguridad industrial.....	72
	3.4.1.	Reducción de riesgos	72
	3.4.2.	Señalización	75
	3.4.3.	Vestuario y equipo.....	77
3.5.		Prevención de infecciones corporales.....	78
	3.5.1.	Primeros auxilios	78
3.6.		Evaluación de costos	79
	3.6.1.	Análisis de costo de la instalación.....	79
	3.6.2.	Análisis de costos de operación	81
	3.6.3.	Indicadores de costos de la propuesta	82
		3.6.3.1. Valor Presente Neto (VPN)	83
		3.6.3.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)	85
		3.6.3.3. Beneficio costo	86
4.		IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	87
	4.1.	Planta de tratamiento	87
		4.1.1. Reubicación del equipo	87

4.1.2.	Cambio de equipo antiguo.....	88
4.1.3.	Normalización de procesos de tratamiento.....	89
4.2.	Equipo de bombeo	89
4.2.1.	Reubicación del equipo	90
4.2.2.	Estandarización del proceso de mantenimiento	91
4.3.	Indicadores	91
4.3.1.	Formato de mediciones	92
4.3.2.	Controles estadísticos	93
4.3.2.1.	Selección de muestra	94
4.3.2.2.	Controles estadísticos	94
4.4.	Capacitación.....	94
4.4.1.	Organización del personal.....	95
4.4.2.	Rutinas de mantenimiento	96
4.4.3.	Conocimiento de normativos	96
4.4.4.	Retroalimentación.....	97
4.4.5.	Autocontrol del personal.....	97
4.5.	Cronograma de actividades.....	98
4.6.	Costo de implementación	101
4.7.	Análisis financiero.....	101
4.7.1.	Presupuestos anuales	101
4.7.2.	Aumento del presupuesto	102
4.7.3.	Rentabilidad de la inversión.....	103
5.	MEDIO AMBIENTE	105
5.1.	Inicios de los Estudios de Impacto Ambiental.....	105
5.2.	Entes involucrados	107
5.2.1.	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).....	107

5.2.2.	Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)	108
5.2.3.	Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARN)	109
5.3.	Evaluación de la planta	109
5.3.1.	Impacto significativo	110
5.3.2.	Impacto primario.....	110
5.3.3.	Impacto secundario	111
5.3.4.	Impacto directo.....	112
5.3.5.	Impacto indirecto	113
5.4.	Estudio de Impacto Ambiental.....	113
5.4.1.	Beneficios.....	114
5.4.2.	Delimitaciones	115
5.4.3.	Costos del estudio.....	116
6.	SEGUIMIENTO.....	117
6.1.	Optimización de recursos.....	117
6.1.1.	Reducción de tiempos.....	118
6.1.2.	Vida útil del equipo	119
6.1.3.	Mejora en el proceso	123
6.1.4.	Factores a mejorar	128
6.2.	Evaluación.....	128
6.2.1.	Método implementado contra método anterior.....	132
6.2.1.1.	Gráficos estadísticos	135
6.2.1.2.	Auditorías constantes	138
6.2.1.3.	Evaluación de costos	138
6.2.1.3.1.	Maximización del presupuesto	139

6.2.1.3.2.	Reducción de costos innecesarios	140
6.2.1.3.3.	Gráficos financieros	140
CONCLUSIONES		143
RECOMENDACIONES		145
BIBLIOGRAFÍA		147

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación geográfica de la Ciudad Universitaria en la ciudad de Guatemala.....	6
2.	Organigrama general de la Universidad de San Carlos de Guatemala.....	10
3.	Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales dentro de la Ciudad universitaria.....	12
4.	Esquema de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de San Carlos de Guatemala	14
5.	Organigrama general del Departamento de Mantenimiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala	16
6.	Proceso de depuración de tratamiento de aguas residuales.....	18
7.	Clasificación general de los tipos de bombas mecánicas	27
8.	Piedra volcánica en las fases de la planta	39
9.	Sedimentador primario	55
10.	Sedimentador secundario	57
11.	Filtros percoladores a base de piedra volcánica	59
12.	Señalización de equipo de protección personal	76
13.	Señalización de ruta de evacuación.....	77
14.	Diagrama de ingreso y egresos	84
15.	Cronograma de actividades	100
16.	Diagrama del proceso actual de la planta de tratamiento	125
17.	Propuesta del proceso para la planta de tratamiento.....	127
18.	Calidad del agua en función del tiempo	136

19.	Caudal de la planta en función del tiempo en meses.....	137
20.	Punto de equilibrio	141

TABLAS

I.	Nombre de la Universidad de San Carlos de Guatemala	5
II.	Puntos físicos de análisis	34
III.	Parámetros de análisis	34
IV.	Granulometría del material de lecho filtrante en los filtros percoladores.....	38
V.	Indicadores de mantenimiento básico para equipo de bombeo.....	45
VI.	Costo de instalación de la propuesta.....	80
VII.	Costos estimados de operación mensuales de la implementación...	82
VIII.	Valores para valor presente neto.....	84
IX.	Indicadores para análisis de muestras de agua tratada	92
X.	Formato de medición de variables.....	93
XI.	Formato de rutina de mantenimientos	118
XII.	Mantenimiento preventivo de un motor diésel en función de las horas de reparación.....	119
XIII.	Formato de control de mantenimiento preventivo del motor diésel	119
XIV.	Servicios en funciones del horómetro para turbina.....	122
XV.	Formato de inspección de mantenimiento a la turbina	123
XVI.	Características físicas para considerar agua potable	129
XVII.	Límites permisibles de sustancias químicas.....	131
XVIII.	Lugares para toma de muestra.....	132
XIX.	Límites para toma de muestra	133

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
h	Altura
Al	Aluminio
B/C	Beneficio costo
Ca	Calcio
Cl	Cloruro
σ	Conductividad eléctrica
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
ρ	Densidad del cuerpo
CaCO₃	Dureza el agua
η	Eficiencia
°C	Grado centígrado
k	Kilo(1x10 ³)
l	Litro
Mg	Magnesio
m²	Metro cuadrado

m³	Metros cúbicos
μ	Micra (1x10-6)
mg	Miligramos
OD	Oxígeno disuelto
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
PVC	Policloruro de vinilo
%	Porcentaje
P	Potencia mecánica
pH	Potencial de Hidrógeno
SO₄	Sulfatos
TIR	Tasa interna de retorno
U	Unidades de color en la escala platino-cobalto
VPN	Valor presente neto
W	Watt
Zn	Zinc

GLOSARIO

Acidez	Es considerada como cualquier compuesto químico que cuando se disuelve en agua, produce una solución con una actividad de catión hidronio mayor que el agua pura, esto es, un pH menor que 7.
Aguas grises	Son las aguas residuales provenientes de lavado de utensilios domésticos y de ropa así como del baño de las personas. Se diferencia de las aguas negras ya que no contiene bacterias escherichiacoli.
Aguas negras	Son las aguas residuales provenientes de drenajes teniendo como bacteria principal la escherichiacoli.
Álabes	Es una paleta curva de una turbomáquina rotodinámica, forma parte de un rodete y en algunas ocasiones de un difusor o del distribuidor. Son los encargados de desviar del flujo de la corriente para transformarla en energía cinética.
Alcaligenes	Es un género microbiológico de bacterias Gram-negativas, aeróbicas incluidas en el orden Burkholderiales.

Anabolismo	Son los procesos del metabolismo que tienen como resultado la síntesis de componentes celulares a partir de precursores de baja masa molecular por lo que recibe también el nombre de biosíntesis.
Bacilos	Se usa para describir cualquier bacteria con forma de barra o vara, y que pueden encontrarse en muchos grupos taxonómicos diferentes de diferentes tipos de bacterias.
Bacterias aeróbicas	Son las bacterias que necesitan del oxígeno para sobrevivir.
Bacterias anaeróbicas	Son las bacterias que no necesitan del oxígeno para sobrevivir.
Beneficio costo	Indicador que pretende determinar la conveniencia de un proyecto, mediante la enumeración y valoración posterior en términos monetarios de los costos y beneficios de una o más acciones, con el fin de seleccionar la opción más rentable.
Biodegradable	Sustancia que puede ser descompuesta con cierta rapidez por organismos vivos, los más importantes son bacterias aerobias.
Biomasa	Energía renovable procedente del aprovechamiento de la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico.

Biofiltro	Son dispositivos que eliminan una amplia gama de compuestos contaminantes desde una corriente de fluido mediante un proceso biológico.
Biogas	Gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de una materia orgánica, mediante la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno.
Bomba centrífuga	Es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor. También se le conoce como bomba rotodinámica.
Bomba periférica	Es un tipo de bomba hidráulica de desplazamiento positivo usada para bombear una variedad de fluidos. También conocida como bomba peristáltica,
Burkholderiales	Son bacterias Gram-negativas de metabolismo aerobio y pueden ser móviles o inmóviles. La forma varía desde cocos a bacilos.
Canal de rejas	Conducto por el cual circula un caudal líquido y las partículas de tamaño considerable son atrapadas por las rejas.

Catabolismo	Es la parte del metabolismo que consiste en la transformación de biomoléculas complejas en moléculas sencillas y en el almacenamiento adecuado de la energía química desprendida en forma de enlaces de alta energía.
Caudal	Es la cantidad de fluido que avanza en una unidad de tiempo.
Cavitación	Es un efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido en estado líquido pasa a gran velocidad por una arista afilada, produciendo una descompresión del fluido debido a la conservación de la constante de Bernoulli.
Cobre	Elemento químico número atómico 29. Se trata de un metal de transición de color rojizo y brillo metálico que, junto con la plata y el oro forma parte de la llamada familia del cobre. Su símbolo es el Cu.
Coliformes	Es un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación de agua y alimentos.
Coloidal	Sistema formado de dos o más fases, principalmente por una continua normalmente fluida y otra dispersa en forma de partículas, por lo general sólidas. La fase dispersa es la que se halla en menor proporción.

CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente.
Conductividad	Es la medida de la capacidad de un material que deja pasar la corriente eléctrica, su aptitud para dejar circular libremente las cargas eléctricas.
Corrosión	Es una reacción química en la que intervienen tres factores: la pieza manufacturada, el ambiente y el agua, o por medio de una reacción electroquímica.
Costos de producción	Son los gastos necesario para mantener el proyectolínea de procesamiento o un equipo en funcionamiento.
Cotas de altura	Número que en los mapas indica la altura de un punto sobre el nivel del mar o sobre otro plano de nivel.
Criba	Medio filtrante por medio de una red metálica.
Croquis	Es un dibujo que plasma una imagen o una idea, confeccionado con instrumentos de dibujo o copiado de un modelo y a veces es legible solo para el autor.
Dentrívoros	Son organismos que obtienen su alimentación de materia orgánica en descomposición. Constituyen una parte importante de los ecosistemas, porque contribuyen a la descomposición y al reciclado de los nutrientes.

Desarenador	Estructura diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas a fin de evitar que ingresen a la planta de tratamiento.
Digestor de lodos	Contenedor cerrado, hermético e impermeable dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar, con fines de producción de gas metano y fertilizantes.
Dilución	Es la reducción de la concentración de una sustancia química en una disolución.
Eficiencia	Es la capacidad de disponer de alguien o de algo para conseguir un objetivo determinado con el mínimo de recursos posibles viable.
Efluente	Corresponde a un curso de agua, también llamada distributivo, que desde un lugar llamado confluencia se desprende de un lago o río como una derivación menor, ya sea natural o artificial.
EIA	Estudio de impacto ambiental.
Energía	Es una propiedad que le permite a cualquier objeto físico realizar un trabajo. Su unidad de medida en el sistema internacional es el Joule y su símbolo en el sistema internacional es [J].

Enterobacterias	Son una familia de bacterias Gram-negativas que contiene más de treinta géneros y más de cien especies que pueden tener morfología de bacilos o cocos.
ERIS	Abreviatura para designar a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
<i>Escherichiacoli</i>	En su hábitat natural, vive en los intestinos de la mayor cantidad de mamíferos sanos. Es el principal organismo anaeróbico facultativo del sistema digestivo. Se le conoce por este nombre en honor a su descubridor, el bacteriólogo Alemán Theodore Von Escherich.
Filtros percoladores	Es un filtro biológico constituido por una masa o lecho fijo, compuesto por una cama de grava que trabaja bajo condiciones aeróbicas.
Flocs	Es el producto resultante de la unión de las partículas coloides en suspensión y el coagulante.
Fosfatos	Son las sales o los ésteres del ácido fosfórico. Tienen en común un átomo de fósforo rodeado por cuatro átomos de oxígeno en forma tetraédrica.

Gram-negativas	Son aquellas bacterias que no se tiñen de azul oscuro o violetas por la tinción del Gram, y lo hacen de un color rosado tenue.
Grava	Rocas del tamaño comprendido entre 2 y 64 milímetros.
Guatecompras	Mercado electrónico del Estado de la República de Guatemala.
Fotosíntesis	Es la conversión de materia inorgánica en materia orgánica gracias a la energía que aporta la luz.
Heretrofo	Son un tipo de organismos que obtiene su carbono y nitrógeno de la materia orgánica de otros y también en la mayoría de los casos obtiene su energía de esta manera.
Horas trabajadas	Tiempo real ocupadas en llevar a cabo una actividad.
Impulsor	Rotor situado dentro de una tubería o un conducto y encargado de impulsar un fluido.
Inerte	Término que se utiliza para describir algo que no es químicamente reactivo.
INTECAP	Abreviatura para el Instituto Técnico de Capacitación y Productividad.

Jacintos acuáticos	Son plantas perennes flotantes, las cuales flotan sostenidas por esponjosos rizomas con las raíces flotando libremente. También llamados <i>Eichornia</i> .
Magnesio	Elemento químico de símbolo Mg y número atómico 12. Es el séptimo elemento en abundancia constituyendo del orden del 2% de la corteza terrestre y el tercero más abundante disuelto en el agua de mar.
MARN	Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
Microbial	Crecimiento y actividad de microorganismos a niveles de un millón de reducción con respecto a una unidad. Matemáticamente se define como 10^{-6} .
Micrococos	Es un género de bacterias del filo Actinobacteria. Se encuentra en ambientes diversos, incluyendo el agua y suelo.
Microorganismo	Son bacterias unicelulares que presentan tamaño de unos pocos micrómetros entre 0,5 y 5 μm por lo general.
Mixotrofo	Término utilizado para describir usualmente a bacterias o algas, capaces de obtener energía metabólica tanto de la fotosíntesis como de los seres vivos.

Nefelometría	Es un procedimiento analítico que se basa en la dispersión de la radiación que atraviesan las partículas de materia.
NEPA	Ley sobre la Política Nacional Medio Ambiental (National Environmental Policy Act), nombre inicial con el que se denominó a los primeros estudios de impacto ambiental en Estados Unidos.
Nitratos	Se forman en la naturaleza por la descomposición de los compuestos nitrogenados como las proteínas, la urea, etc.
Oxidación	Es una reacción química donde un elemento cede electrones y por lo tanto aumenta su estado de oxidación.
Oxidación anaeróbica	También llamada respiración aerobia, es un tipo de metabolismo energético en el que los seres vivos extraen energía de moléculas orgánicas.
Oxidación anaeróbica	Proceso biológico que forma parte del ciclo del nitrógeno. En este proceso biológico, nitrito y amonio se convierten directamente en gas nitrógeno.
Oxidación reducción	Esta reacción química en la que uno o más electrones se transfieren entre reactivos, provocando un cambio en sus estados de oxidación.

Potable	Es el agua que puede ser consumida sin restricción debido a que, gracias a un proceso de purificación no representa un riesgo para la salud.
Potencia	Cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo. Su dimensional en el sistema internacional es el Watt [W].
Proceso biológico	Son todas aquellas etapas que se dan en forma natural en los seres vivos y que interfieren de alguna forma en su entorno y en ellos mismos.
Proceso químico	Es un conjunto de operaciones ordenadas a la transformación inicial en productos finales diferentes.
Protozoos	Son organismos microscópicos unicelulares eucariotas, heretrofos, fagotrofos, depredadores o dentrívoros, a veces mixotrofos que viven en ambientes húmedos, ya sean aguas saladas o aguas dulces.
Pseudomonas	Es un género de bacilos rectos y ligeramente curvados.
PTAR	Abreviatura para definir una planta de tratamiento de aguas residuales.
Putrescible	Que se pudre muy fácilmente.

Sedimentador	Parte de una planta de tratamiento de aguas residuales que comúnmente se utiliza para clarificar el agua, esto es, acelerando la precipitación de arena y materiales orgánicos en el agua.
SEMARN	Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
Séptico	Que produce putrefacción o es causado por ella.
Síntesis celular	Consiste en la obtención de un compuesto a partir de sustancias más pequeñas.
Sólidos sedimentables	Son aquellos sólidos que sedimentan cuando el agua se deja en reposo durante cierto periodo de tiempo, por la acción de la gravedad se depositan en el fondo del recipiente o canal que lo contiene.
Sólidos en Suspensión	Son partículas sólidas pequeñas inmersas en un fluido turbulento que actúa sobre la partícula con fuerzas en direcciones aleatorias, que contrarrestan la fuerza de gravedad, impidiendo así que el sólido se deposite en el fondo.
Soluble	Es una medida de la capacidad de disolverse una determinada sustancia en un determinado medio.
Sulfatos	Son las sales del ácido sulfúrico.

Tamizado	Método físico para separar mezclas, se separan dos sólidos formados por partículas de tamaño diferente.
Taxonomía	Es la ciencia de la clasificación. Se emplea el término para designar la ciencia de ordenar la diversidad biológica en taxones anidados unos dentro de otros, ordenados de forma jerárquica, formando un sistema de clasificación.
Tinción	Es una técnica auxiliar utilizada en microscopia para mejorar el contraste en la imagen vista al microscopio, se utilizan colorantes y tinturas para resaltar las estructuras en tejidos biológicos.
Topografía	Es la ciencia que estudia el conjunto de principios y procedimientos que tienen por objeto la representación gráfica de la superficie de la tierra con sus formas y detalles.
Turbiedad	Falta de transparencia de un líquido debida a la presencia de partículas en suspensión.
Turbina	Son máquinas de fluido a través de las cuales pasa un fluido en forma continua y este le entrega su energía a través de un rodete con álabes.
Válvula de alivio	También conocidas como válvulas de seguridad, están diseñadas para liberar la presión interna de un sistema que supere el límite establecido.

Zinc

Es un elemento químico esencial del número atómico 30 y símbolo Zn, situado en el grupo 12 de la tabla periódica de los elementos.

RESUMEN

Los grandes avances de ciencia y tecnología conllevan, en la mayoría de los casos, a la destrucción de los recursos naturales, los cuales a medida que crece la población aumenta su demanda, esto obliga a los gobiernos a tomar decisiones de reciclar recursos naturales.

Quizá el recurso más importante al cual en Guatemala no se le está dando la importancia, ni la inversión son las aguas negras, las cuales en su mayoría no se reciclan, sino que se desechan a los diferentes ríos, los cuales sirven como sumideros naturales.

La Universidad de San Carlos de Guatemala cuenta con una planta de tratamiento de aguas negras conocidas por sus siglas PTAR, la cual filtra el agua de los drenajes por medio de un sistema por gravedad, a través de piedras volcánicas, para luego ser desechada en el sumidero natural para que no contamine en grados extremos los ríos naturales; el caudal diario prácticamente no se aprovecha. En este aspecto se refiere este trabajo de graduación, el cual establece una evaluación general de las condiciones de la PTAR, de sus condiciones de operación y de funcionamiento.

Aprovechar los recursos naturales implica hacer inversiones únicamente con fines de beneficio social para el país, apoyándose en estudios de impacto ambiental, para establecer el efecto positivo o negativo en el entorno, durante la vida útil del proyecto.

Se finaliza este trabajo con una propuesta para la instalación de un equipo de bombeo con la información para su mantenimiento preventivo y correctivo, indicando los costos de operación y de mantenimientos correctivos para aumentar la vida útil del equipo y de sus accesorios.

OBJETIVOS

General

Evaluar la situación actual de la planta de tratamiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala y enfocar una propuesta de mantenimiento al equipo de bombeo de dicha planta.

Específicos

1. Realizar un trabajo de graduación enfocado en la unión de las áreas de ingeniería mecánica e ingeniería industrial.
2. Complementar, con este trabajo, la información limitada que existe en el área de ingeniería mecánica industrial en relación con el tema de manejo de aguas residuales.
3. Determinar las condiciones actuales de la planta de tratamiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala y evaluar su funcionamiento.
4. Realizar una propuesta de mantenimiento preventivo del equipo de bombeo de la planta de tratamiento, determinando los costos de operación y mantenimiento.
5. Establecer los riesgos al momento de realizar el mantenimiento y proveer de las precauciones en relación a seguridad industrial.

6. Analizar los tratamientos de agua, tanto para el agua de drenaje como para agua proveniente de ríos.
7. Alinear el contenido del trabajo en relación directa a la línea de investigación de desarrollo sostenible, uniendo el área de ingeniería industrial y la de ingeniería mecánica.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la Universidad de San Carlos de Guatemala cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, como pocas en el país, la cual para su funcionamiento y operación no requiere de casi ningún equipo mecánico sino que, gracias a la topografía del terreno que colinda con la Universidad, la planta opera por medio de gravedad y utilizando piedra volcánica hace el filtrado en tres fases consecutivas.

La planta no tiene un plan de mantenimiento por parte de la Universidad, las únicas actividades que la mantienen en operación es la limpieza exterior y los trabajos de jardinería en su alrededores, que están a cargo del Departamento de Mantenimiento de la Universidad.

La evaluación de la planta es el tema de este trabajo, ya que cuando se están manejando y tratando aguas servidas se requiere que la planta funcione en buenas condiciones para cumplir con entregar al sumidero natural, que en la mayoría son ríos de aguas negras, un caudal de agua ya tratada para que el sumidero natural no colapse y aumente su grado de contaminación a niveles no aceptables.

El agua que se utiliza para para los servicios generales en la Universidad, proviene de pozos subterráneos de agua potable dentro del Campus Central, los cuales distribuyen el caudal para luego entregarlo a la planta de tratamiento donde finalmente se desecha sin reutilizarla.

Actualmente, no se está aprovechando este caudal de agua tratada, por lo que se presenta un análisis de la recuperación de este recurso por medio de un equipo de bombeo para reutilizar este caudal no para consumo humano directamente, sino para riego de agricultura o limpieza general y con esto reducir el uso del agua subterránea, generando ahorros significativos en la vida útil de los pozos.

Con el diagnóstico actual de la planta se presenta la propuesta para reutilizar el agua tratada, y de igual manera el seguimiento a los procesos y componentes que se estima utilizar en este proceso; se finaliza con el análisis de la conservación del medio ambiente, con la información necesaria para realizar un estudio de impacto ambiental.

1. ANTECEDENTES GENERALES

El primer antecedente de la fundación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ocurre en la gestión del obispo licenciado Francisco Marroquín ante el monarca español en su carta de fecha¹ de agosto de 1548, a través de la cual solicita la autorización para fundar la Universidad de Antigua Guatemala. Posteriormente el ayuntamiento de la Ciudad de Santiago de Guatemala, la Real Audiencia y varias órdenes religiosas enviaron similares peticiones: la necesidad de una institución de educación superior era evidente; sin embargo, entre la primera solicitud y la fundación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se establecieron colegios de artes, teología y filosofía.

El 5 de julio de 1673 se recibió la Real Cédula que ordenaba que se hiciese una junta en la Ciudad de Santiago de Guatemala, para que analizaran las conveniencias o inconvenientes de la fundación de una universidad. Dicha junta informó sobre la necesidad de contar con una institución universitaria, derivado de lo cual se funda la Universidad de San Carlos de Guatemala, que en su orden de fundación es la cuarta en el continente Americano. El 31 de enero de 1676 el monarca español Carlos II, promulgó la Real Cédula de fundación de la Universidad; documento que llegó a Guatemala el 26 de octubre de 1676, a través de la cual se autorizó su fundación.

La ciudad de Santiago de Guatemala, hoy es el departamento de Antigua Guatemala, fue destruida por el terremoto el 29 de junio de 1773 y se decidió el traslado de la capital del Reino al Valle de la Ermita, denominado hoy como Guatemala de la Asunción. Los registros indican que la sede de la Universidad de San Carlos se trasladó a la nueva capital en 1777, se inició la construcción

del edificio en 1779 y en 1851 inicia sus funciones en la 9^a avenida sur de la 10 calle zona 1, lugar donde actualmente funciona el Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala (MUSAC). Se trasladó a la Ciudad Universitaria zona 12 a partir de 1961.

1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala

La Universidad de San Carlos de Guatemala fue fundada el 31 de enero de 1676 por Real Cédula de Carlos II, siendo la cuarta universidad fundada en América. Los pensadores más importantes de la historia de Guatemala se han formado en este centro, siendo la Universidad de San Carlos de Guatemala la única universidad pública en Guatemala, y se ha convertido también en la más importante.

En la época de la revolución guatemalteca se estableció su total autonomía llegando a nivel institucional. La trascendencia de sus estudiantes y de la misma se ha visto reflejada en diferentes épocas de importancia, entre otras desde la independencia de Guatemala, la Revolución de 1944, el conflicto armado guatemalteco y hasta la fecha.

1.1.1. Historia

La Universidad de San Carlos de Guatemala fundada en 1676, en su época inicial graduaba teólogos, abogados y, más tarde, médicos. Hacia 1769 se crearon los cursos de Física y Geometría, paso que marcó el inicio de la enseñanza de las ciencias exactas en el Reino de Guatemala.

En 1834, siendo jefe del estado de Guatemala, el Dr. Mariano Gálvez, se creó la Academia de Ciencias, sucesora de la Universidad de San Carlos,

implantándose la enseñanza de Álgebra, Geometría, Trigonometría y Física. Se otorgaron títulos de agrimensores, siendo los primeros graduados Francisco Colmenares, Felipe Molina, Patricio de León y José Batres Montufar.

La Academia de Ciencias funcionó hasta 1840, año en que bajo el gobierno de Rafael Carrera, volvió a transformarse en la Universidad. En ese año, la Asamblea publicó los estatutos de la nueva organización, exigiendo que para obtener el título de Agrimensor, era necesario poseer el título de Bachiller en Filosofía, tener un año de práctica y aprobar el examen correspondiente.

La Revolución de 1871 hizo tomar un rumbo distinto a la enseñanza técnica superior. Y, no obstante que la Universidad siguió desarrollándose, se fundó la Escuela Politécnica en 1873, para formar ingenieros militares, topógrafos y de telégrafos, además de oficiales del ejército. Decretos gubernativos específicos de 1875, son el punto de partida cronológico para considerar la creación formal de las carreras de Ingeniería en la recién fundada Escuela Politécnica; carreras que más tarde se incorporaron a la Universidad.

Desde sus inicios la Universidad de San Carlos de Guatemala ha tenido varias sedes, la cuales se citan a continuación:

- En la ciudad de Antigua Guatemala, en el Convento de Santo Domingo, donde funcionó por 80 años (1676-1756).
- La casa de Alcántara, de José de Alcántara, Tesorero Síndico de la época (1757-1773).

- Conventos de Santo Domingo y de San Agustín, allí funcionó entre los escombros luego del terremoto de 1773, improvisando ranchos en los patios del lugar (1773-1777).
- En septiembre de 1777 se trasladó a la Nueva Guatemala de la Asunción, en el parque de la Ermita.
- Se inició la construcción del edificio en 1779 y en 1851 inicia sus funciones en la 9ª avenida sur y esquina de la 10ª calle zona 1, lo que actualmente es el Museo de la Universidad de San Carlos de Guatemala (MUSAC).
- Se trasladó a la Ciudad Universitaria zona 12 de la capital de Guatemala en 1961.

La Universidad de San Carlos de Guatemala ha tenido desde sus inicios 166 rectorados a la fecha, siendo el actual rector el Lic. Carlos Estuardo Gálvez Barrios (administración 2011-2015).

Así como hubo necesidad de traslados físicos, la Universidad de San Carlos de Guatemala también ha sufrido cambios en su nombre. Ver tabla I.

Tabla I. **Nombre de la Universidad de San Carlos de Guatemala**

Año	Nombre
1676	Regia y Pontificia Universidad de San Carlos de Guatemala
1832	Academia de Ciencias
1855	Universidad Nacional
1875	Universidad de Guatemala
1918	Universidad Estrada Cabrera
1927	Universidad Nacional de Guatemala
Desde el primero de diciembre de 1944 hasta la presente fecha, como Universidad de San Carlos de Guatemala	

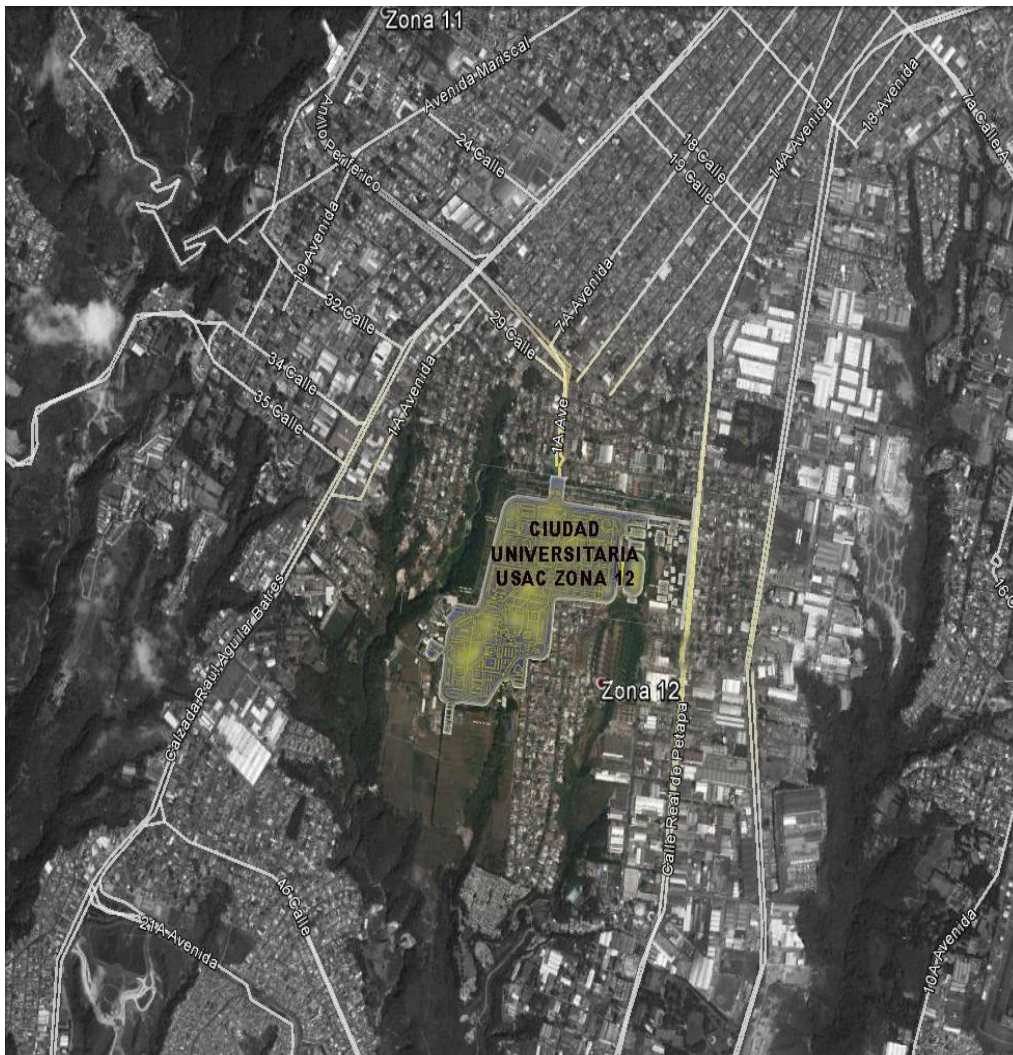
Fuente: División de Servicios Generales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

1.1.2. Ubicación

La ciudad universitaria está localizada en un área urbana que consta de 4 fincas, ubicadas dentro de la Ciudad de Guatemala en la zona 12 del municipio de Guatemala, dicha área consta de 123 619,02 m² a una altura de 1 632 metros sobre el nivel del mar, cuenta con edificios estudiantiles, administrativos, para laboratorios, distribuidos en todo el Campus Central.

En la figura 1 se puede apreciar mucho mejor la ubicación de la Universidad de San Carlos de Guatemala, dentro de la ciudad capital de Guatemala.

Figura 1. **Ubicación geográfica de la ciudad universitaria en la ciudad de Guatemala**



Fuente: División de Servicios Generales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

1.1.3. Misión

En su carácter de única Universidad estatal le corresponde con exclusividad, dirigir, organizar y desarrollar la educación superior del estado y la

educación estatal, así como la difusión de la cultura en todas sus manifestaciones. Promover por todos los medios a su alcance la investigación en todas las esferas del saber humano y cooperar al estudio y solución de los problemas nacionales.

1.1.4. Visión

La Universidad de San Carlos de Guatemala es la institución de educación superior estatal, autónoma, con cultura democrática, con enfoque multi e intercultural, vinculada y comprometida con el desarrollo científico, social y humanista, con una gestión actualizada, dinámica, efectiva, y con recursos óptimamente utilizados para alcanzar sus fines y objetivos, formadora de profesionales con principios éticos y excelencia académica.

1.1.5. Valores

La docencia crea, cultiva, transmite y difunde el conocimiento científico tecnológico, histórico, social, humanístico y antropológico en todas las ramas del saber. La Universidad de San Carlos de Guatemala evalúa periódicamente la *pensapara* que se vincule la docencia con la realidad y se desarrolle la sensibilidad social, tomando en cuenta los valores:

- Verdad
- Libertad
- Justicia
- Equidad
- Respeto
- Tolerancia
- Solidaridad

Estableciendo carreras prioritarias de acuerdo a las necesidades de desarrollo del país, dentro del contexto regional e internacional.

La Universidad de San Carlos de Guatemala se encamina constantemente hacia la excelencia académica en la formación integral de estudiantes, técnicos, profesionales y académicos con compromiso ético y moral. La extensión aplica el conocimiento científico, tecnológico y humanístico hacia la solución de los problemas de la sociedad guatemalteca, a través de los problemas de docencia productiva. Fortalece el arte y el deporte; conserva, desarrolla y difunde la cultura en todas sus manifestaciones, procurando el desarrollo material y espiritual de los demás guatemaltecos. Vincula el conocimiento popular a los procesos de investigación y docencia.

1.1.6. Organización

La Universidad de San Carlos de Guatemala es una institución autónoma, con personalidad jurídica, según el Artículo 83 de la Constitución de la República de Guatemala; su gobierno está a cargo del Consejo Superior Universitario, quien es la máxima autoridad y está conformado por:

- El rector, quien lo preside.
- Decanos de las facultades.
- Un representante de cada colegio profesional, egresado de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Un catedrático titular de cada facultad.
- Un estudiante de cada facultad.

El rector es el representante legal de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Es también el único órgano de comunicación entre la Universidad y

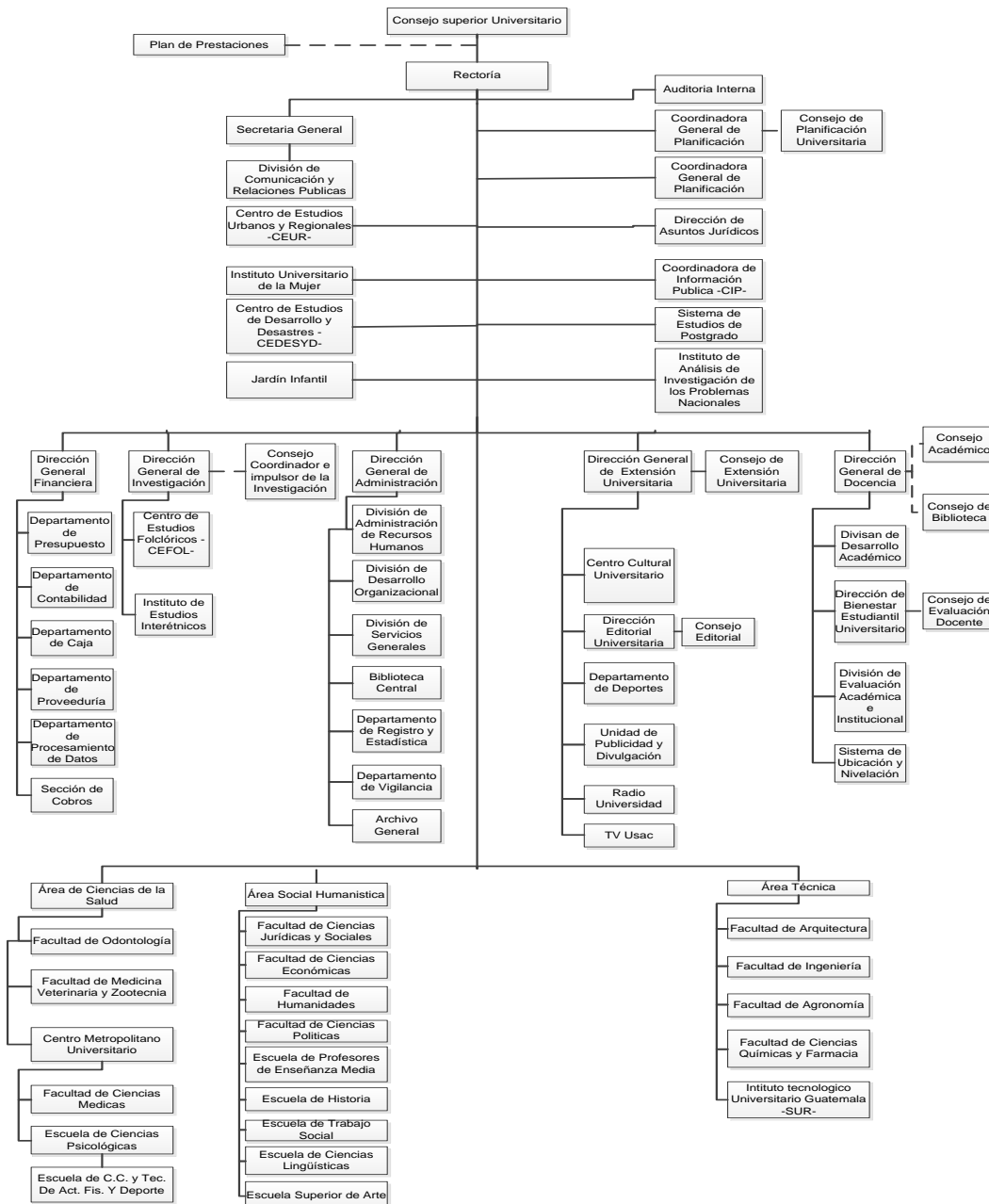
el Gobierno de la República. Ejecuta y hace cumplir las resoluciones del Consejo Superior Universitario.

La Administración de la Universidad de San Carlos de Guatemala es descentralizada, siendo los decanos y los directores de las Unidades Académicas, las facultades para representar a sus respectivas Unidades y suscribir contratos en el orden administrativo. En los casos necesarios sustituirán al decano, los vocales profesionales es su orden; pero en caso de ausencia definitiva, deberá convocarse para elecciones de decano propietario dentro de los quince días siguientes de declarada la vacancia. En el caso de Directores de Unidades Académicas, se actuará conforme a sus reglamentos específicos.

De los órganos de Dirección de las Unidades Académicas, cada facultad tendrá una Junta Directiva integrada por el decano que la preside, un secretario y cinco vocales, de los cuales dos serán profesores titulares, uno profesional no profesor y dos estudiantes. La integración de los Órganos de Dirección de las demás Unidades Académicas se regirá por sus propios reglamentos.

Así también, la Universidad de San Carlos de Guatemala está integrada por las dependencias del Área administrativa y Académica (facultades, escuelas y centros regionales universitarios), las cuales se detallan en el organigrama adjunto que se muestra en la figura 2.

Figura 2. Organigrama general de la Universidad de San Carlos de Guatemala



Fuente: División de Servicios Generales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

1.2. Planta de tratamiento de aguas residuales

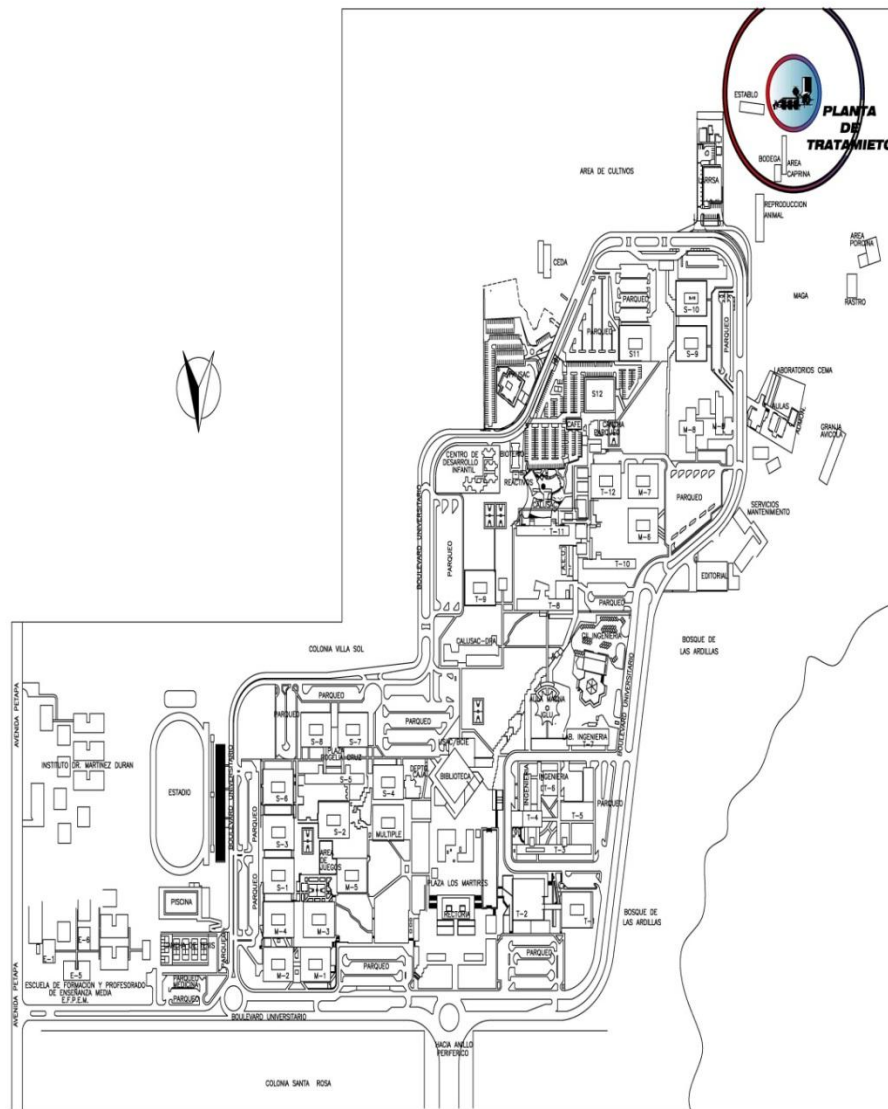
Una planta de tratamiento de aguas residuales es un conjunto de elementos, cuyo fin es descontaminar en cierto grado el agua proveniente de drenajes, más conocida como aguas negras, y mediante un proceso químico biológico, convertir el agua negra en agua no potable, para regenerar y mantener un reciclaje del medio ambiente, así como elevar la maximización de este recurso natural.

1.2.1. Reseña histórica

La planta de tratamiento de aguas residuales inició su funcionamiento en 1984, bajo la supervisión del Departamento de Mantenimiento de la Universidad de San Carlos Campus Central, siendo desde sus inicios, parte fundamental para el tratamiento de las aguas negras provenientes del consumo interno. Actualmente sigue cumpliendo su función encaminada a la conservación del medio ambiente.

Esta planta se encuentra localizada en la ciudad universitaria zona 12 de la ciudad de Guatemala. Al norte, este y sur colinda con los predios de la ciudad universitaria y al oeste, con la colonia El Carmen y una quebrada de por medio, que se origina a inmediaciones de la ciudad universitaria. La planta de Tratamiento fue construida en la parte sur de la ciudad universitaria, en un terreno de topografía irregular, es decir a orillas de barranco, y consiste básicamente en la combinación de varios procesos físicos y biológicos.

Figura 3. **Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales dentro de la ciudad universitaria**



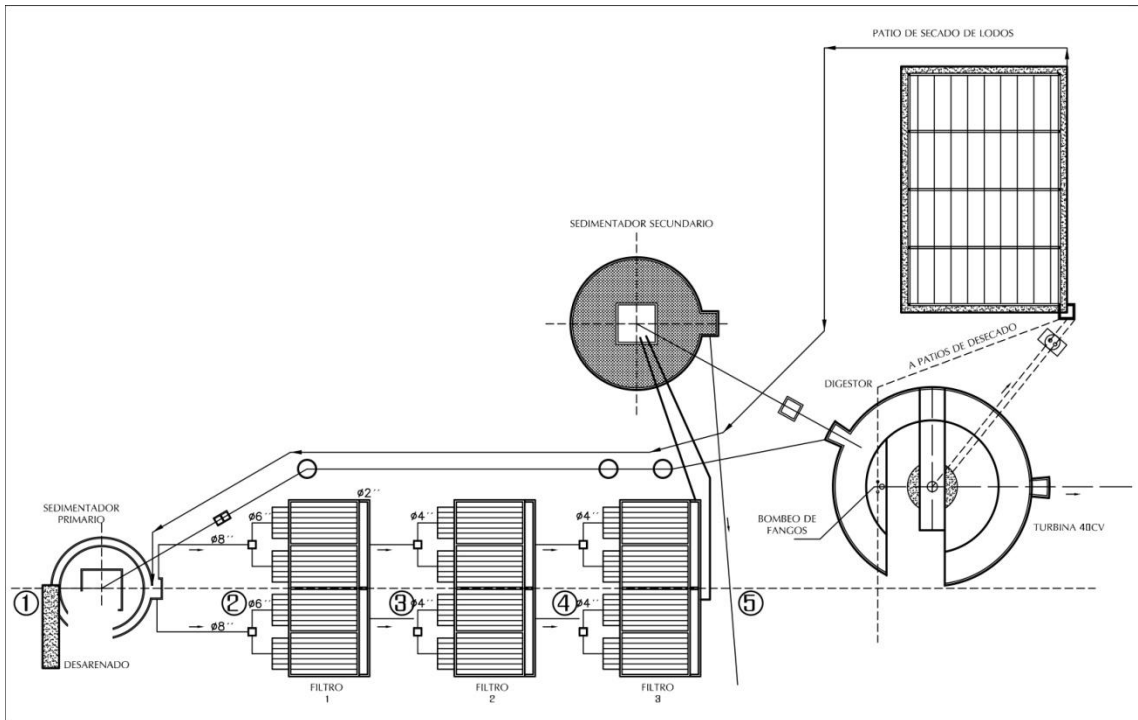
Fuente: División de Servicios Generales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

1.2.2. Funcionamiento

Su función es la de convertir las aguas negras proveniente del Campus Central consumida en servicios sanitarios y potables, en agua potable no de consumo humano y dirigirla al sumidero natural para su renovación, logrando mantener mediante el tratamiento, un balance en el ecosistema natural de reciclaje de agua.

Los elementos que constituyen la planta son los siguientes: canal de rejillas, desarenador, sedimentador primario, filtros percoladores, sedimentador secundario, digestor de lodos y patio de secado de lodos. Las aguas residuales pasan por estos elementos desde su entrada hasta su salida de la planta. En la figura 4 se puede apreciar un croquis de la planta, en la cual se presentan las partes que la componen y, a nivel general, cómo se encuentran localizadas a nivel interno en la planta.

Figura 4. **Esquema de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de San Carlos de Guatemala**



Fuente: División de Servicios Generales, Universidad de San Carlos de Guatemala.

1.2.3. Organización

La organización del personal encargado del funcionamiento de la planta se encuentra a cargo del Departamento Interno de Mantenimiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala, el cual maneja y controla el funcionamiento de esta planta.

El encargado de velar por el funcionamiento del Departamento de Mantenimiento a nivel general es el gerente de Mantenimiento, el cual a su vez

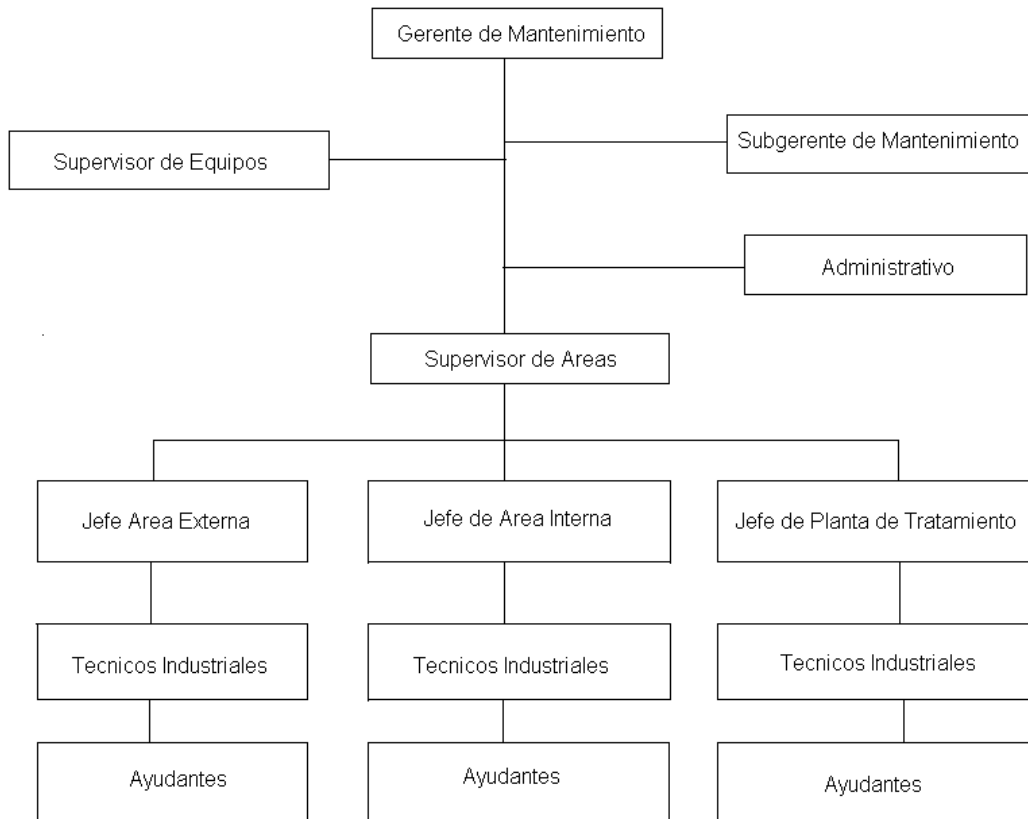
gestiona lo que son los presupuestos y los planes de mantenimiento a seguir, siendo asesorado por el subgerente del Mantenimiento y del encargado del equipo, el cual se encarga de velar el buen manejo y control de la maquinaria y herramienta que se utiliza para el mantenimiento.

Finalmente, las áreas específicas de mantenimiento son tres, la primera se encarga del mantenimiento externo de las instalaciones a nivel general como: jardinería, limpieza de edificios, recolección de basura y ornato. La segunda área se encarga del mantenimiento interno de los edificios, en la mayoría de los casos, a edificios administrativos de la Universidad, siendo las actividades más importantes la limpieza interna y el mantenimiento preventivo y correctivo a mobiliario y equipo. Por último está el área de mantenimiento a la planta de tratamiento, la cual se encarga de mantener el funcionamiento de la planta.

Cada Área de Mantenimiento es dirigida por el jefe de Área, el cual a su vez tiene a cargo a un equipo de técnicos enfocados en cada área, y estos a su vez dirigen a los ayudantes en las diferentes actividades, dependiendo del área a cargo.

En la figura 5, el organigrama muestra de manera general, la organización y a qué parte del Departamento de Mantenimiento corresponde la supervisión y control de la planta.

Figura 5. **Organigrama general del Departamento de Mantenimiento de la Universidad de San Carlos de Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

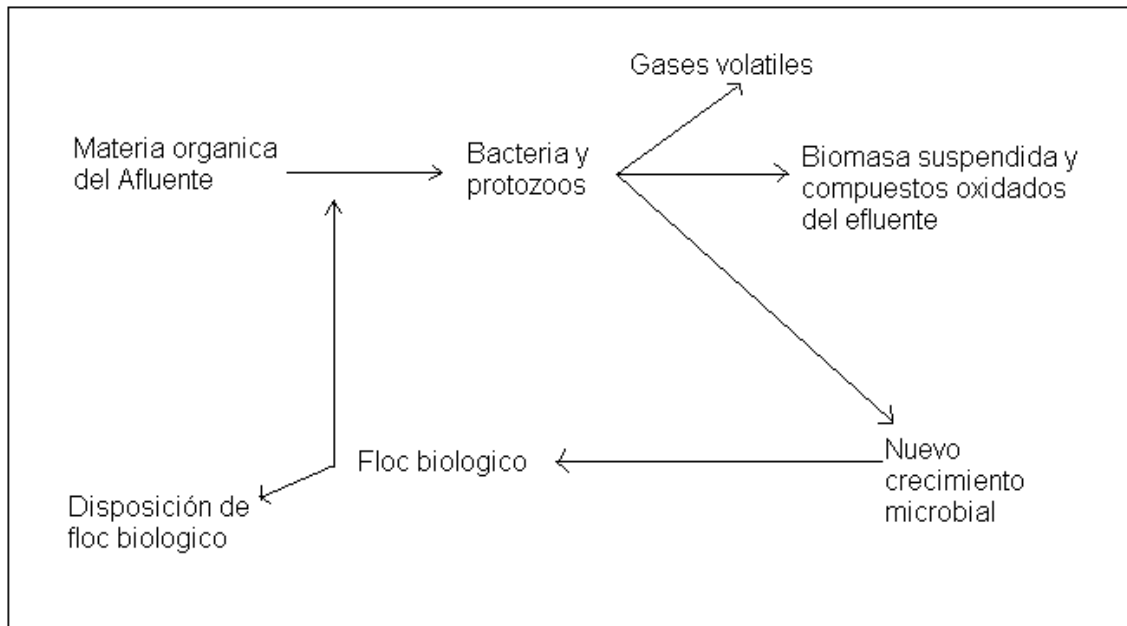
1.3. **Tratamiento de aguas residuales**

El tratamiento de las aguas negras es un proceso por el cual los sólidos que el líquido contiene son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos putrescibles queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables. La magnitud de este cambio depende del grado de tratamiento empleado.

En el tratamiento convencional se utilizan rejillas para remoción de materiales gruesos, desarrendares para remoción de arena, sedimentación para remoción de material sedimentable y tratamiento biológicos para oxidación de la materia orgánica disuelta y coloidal. Existen dos grandes tipos de actividades biológicas que ejecutan los organismos en la descomposición de la materia orgánica de las aguas residuales: oxidación aeróbica y oxidación anaeróbica.

Mediante la actividad microbial se desarrollan flocs y películas biológicas o, simplemente, cultivos de microorganismos que descomponen la materia orgánica biodegradable. A través de reacciones de catabolismo y anabolismos o síntesis celular se oxidan o mineralizan los compuestos orgánicos y se producen biomasa. La retención de la biomasa y la evaporación de los productos gaseosos formados permiten efectuar el tratamiento del agua o remoción de BDO. (Ver figura 6).

Figura 6. **Proceso de depuración de tratamiento de aguas residuales**



Fuente: RODRÍGUEZ PARRA, Guillermo. *Procesos de depuración del tratamiento de aguas residuales*. p. 45.

1.3.1. **Calificación de aguas residuales**

Las aguas residuales pueden clasificarse de acuerdo a su origen y composición de la siguiente manera:

- **Aguas residuales domésticas:** proviene de viviendas, edificios públicos y otras instalaciones públicas. Se incluyen aquí las aguas utilizadas para limpieza de calles y control de incendios y además, las provenientes de pequeñas industrias locales conectadas al sistema de alcantarillados.

- Aguas residuales comerciales: provienen de locales comerciales como rastros, pequeñas industrias que suelen estar conectadas a un sistema común de alcantarillado.
- Aguas residuales industriales: producidas por las grandes plantas industriales, de todo tipo.
- Agua de infiltración: provienen de los sistemas de drenaje, tuberías de desagüe y del descenso artificial del nivel de las aguas subterráneas, así como de la infiltración de estas hacia el sistema de alcantarillado a través de tuberías y otras instalaciones defectuosas.
- Aguas residuales agrícolas: provienen de la cría de ganado y del procesamiento de productos animales y vegetales.
- Agua de lluvia: incluye todas las formas de precipitación (lluvia, granizo, niebla, nieve).
- Aguas superficiales: provienen de aquellos cuerpos de agua superficiales que ingresan directamente en el sistema de alcantarillado.

1.3.2. Constituyentes de aguas residuales

Las aguas residuales locales son líquidos turbios que contiene material sólido en suspensión. Cuando son frescas, su color es gris y tiene un olor a moho ligeramente intenso, pero no ofensivo. Flotan en ellas cantidades variables de materia, sustancias fecales, trozos de alimentos, basura, papel y otros residuos provenientes de las actividades cotidianas, es decir, que la composición de estas aguas está determinada por:

- La composición original del agua.
- Los residuos y desechos vertidos al sistema de alcantarillado proveniente de viviendas, comercios, y actividades artesanales.
- Sustancias arrastradas por el agua de la superficie del suelo o infiltradas a la red de alcantarillado en forma no controlada.

1.3.3. Obtención del agua a tratar

El agua que se trata se obtiene de los diferentes drenajes tanto de agua sanitaria como de agua de servicio potable. Esta se distribuye mediante gravedad hacia la planta, donde a su vez es distribuida en cada componente de la planta.

Esta agua se obtiene de los diferentes edificios del Campus Central y se unifican los caudales en un solo alimentador, que ingresa a la planta se inicia el tratamiento.

1.3.4. Procedimiento preliminar al tratamiento

El objetivo del tratamiento consiste en separar de las aguas residuales aquellos constituyentes que pudiesen obstruir o dañar las bombas o interferir con los procesos subsecuentes del tratamiento. Por lo tanto los dispositivos para el tratamiento preliminar se diseñan para:

- Separar o disminuir el tamaño de los sólidos grandes que flotan o están suspendidos. Estos sólidos consisten generalmente en trozos de madera, telas, papel, basura, etc.

- Separar los sólidos inorgánicos pesados, como la arena, la grava e incluso objetos metálicos.
- Separar cantidades excesivas de aceites y grasas.

Las unidades o dispositivos de tratamiento preliminar que se pueden utilizar en el tratamiento de aguas residuales municipales y locales son las cribas o rejas y los desarenadores. Los dispositivos para el tratamiento preliminar, requieren un diseño y operación apropiados de acuerdo a las variables que se manejan en una planta, siendo algunas variables: el caudal que se maneja, la cantidad de sólidos en promedio que se piensa separar, entre otras.

Las unidades donde se realiza el tratamiento preliminar son el canal de rejas y el desarenador, donde ocurre un proceso físico. La función de estas es la retención de material grande y de material inerte. En el canal de rejas se retiene los sólidos de gran tamaño y el material inerte, conformado por partículas de diámetro mayor a 0,2 mm, que quedan atrapadas en el desarenador.

El canal de entrada es de 3,05 metros de largo y 0,80 metros de ancho construido con bloques de arena-cemento. En el canal se encuentra instalada la rejilla de metal y una pantalla rectangular donde se puede realizar el desvío del caudal que ingresa a la planta.

El tratamiento primario tiene como finalidad separar o eliminar la mayoría de los sólidos suspendidos en las aguas residuales, entre el 40 % y el 60 % de los mismos, mediante el proceso físico de sedimentación.

1.4. Mantenimiento industrial

En un proceso por medio del cual se evalúa la forma como, por medio de operaciones preventivas y correctivas, aumentar la vida útil de equipos independientemente del fin de estos. Se trata de lograr que funcionen con la mayor eficiencia posible, intentando, por medio del mantenimiento, alargar la vida útil, lo cual a la vez repercute en la reducción de costos a mediano y largo plazo.

1.4.1. Definición

Son todas aquellas operaciones que se realizan en las instalaciones y equipos de una empresa o una institución, para prever daños o para reparar los que se han producido, con el objetivo que se encuentren las condiciones de operarlas adecuadamente.

El mantenimiento tiene participación en el éxito o fracaso de cualquier empresa o institución. Por estudios comprobados, el mantenimiento incide en:

- Costos de producción.
- Calidad del producto o servicio.
- Capacidad operacional en el cumplimiento de plazos de entrega.
- Capacidad de respuesta de la empresa como ente organizado e integrado con el compromiso de la mejora continua.
- Seguridad e higiene industrial.
- Calidad de vida de los colaboradores de la empresa.
- Imagen y seguridad ambiental de la compañía.

1.4.2. Características

La característica principal del mantenimiento es aumentar la vida útil de cualquier equipo, y esto se logra mediante el seguimiento y control de un proceso para reparar o mantener los equipos y herramientas, basada, en la mayoría de los casos, en la información contenida en manuales técnicos del fabricante y complementándolo con la experiencia del personal encargado de llevar a cabo el proceso.

Entre las principales características del mantenimiento se tienen: capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad.

1.4.3. Tipos de mantenimiento

Por la definición dada de mantenimiento, se deduce que existen a nivel general tres tipos de mantenimiento, los cuales son el mantenimiento preventivo, correctivo y proactivo. Independientemente del tipo de mantenimiento que se utilice, el fin último de estos es de generar una eficiencia máxima de cualquier equipo al menor costo posible, aumentando la vida útil del equipo.

1.4.3.1. Mantenimiento preventivo

Surge de la necesidad de rebajar el mantenimiento correctivo y todo lo que representa. Pretende reducir la reparación mediante una rutina de inspecciones periódicas y la renovación de los elementos dañados, si la segunda y tercera no se realizan, la cuarta es inevitable.

Su propósito es prever fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles de eficiencia óptimos.

1.4.3.2. Mantenimiento proactivo

El mantenimiento proactivo es quizá el menos utilizado para aumentar la vida útil del equipo, ya que este busca que el personal que lo utiliza o que esté encargado, no espere hasta una programación para prever un daño, sino que busque de manera constante, un mantenimiento preventivo al sistema o equipo. En este tipo de mantenimiento se responsabiliza del primer nivel de mantenimiento a los propios operarios de máquinas.

1.4.3.3. Mantenimiento correctivo

Son todas las acciones encaminadas a reparar las fallas o daños, desgaste y deterioro que se presentan en cada uno de los componentes de las instalaciones del sistema o del equipo relacionado a este.

Específicamente es el tipo de mantenimiento que se ocupa de la reparación, una vez se ha producido el fallo y el paro súbito de la máquina o la instalación.

1.5. Equipo de bombeo

Es un transformador de energía. Recibe energía mecánica, que puede proceder de un motor eléctrico, térmico, etc., y la convierte en energía que un fluido adquiere en forma de presión, de posición o de velocidad.

Así se tendrán bombas que se utilizan para cambiar la posición de un cierto fluido. Un ejemplo lo constituye una bomba de pozo profundo, que adiciona energía para que el agua del subsuelo salga a la superficie.

Un ejemplo de bombas que adicionan energía de presión sería una bomba en un oleoducto, en donde las cotas de altura, así como los diámetros de tuberías y consecuentemente las velocidades fuesen iguales, en tanto que la presión es incrementada para poder vencer las pérdidas de fricción que se tengan en la conducción.

Lo inverso a lo que sucede en una bomba se tiene en una máquina llamada comúnmente turbina, la cual transforma la energía de un fluido, en sus diferentes componentes citadas, en energía mecánica.

Para una mayor claridad, buscando una analogía con las máquinas eléctricas, y para el caso específico del agua, una bomba sería un generador hidráulico, en tanto que una turbina sería un motor hidráulico.

Normalmente un generador hidráulico (bomba) es accionado por un motor eléctrico, término, etc, mientras que un motor hidráulico (turbina) acciona un generador eléctrico.

Tratándose de fluidos compresibles el generador suele llamarse compresor y el motor puede ser una turbina de aire, gas o simplemente un motor térmico.

1.5.1. Función

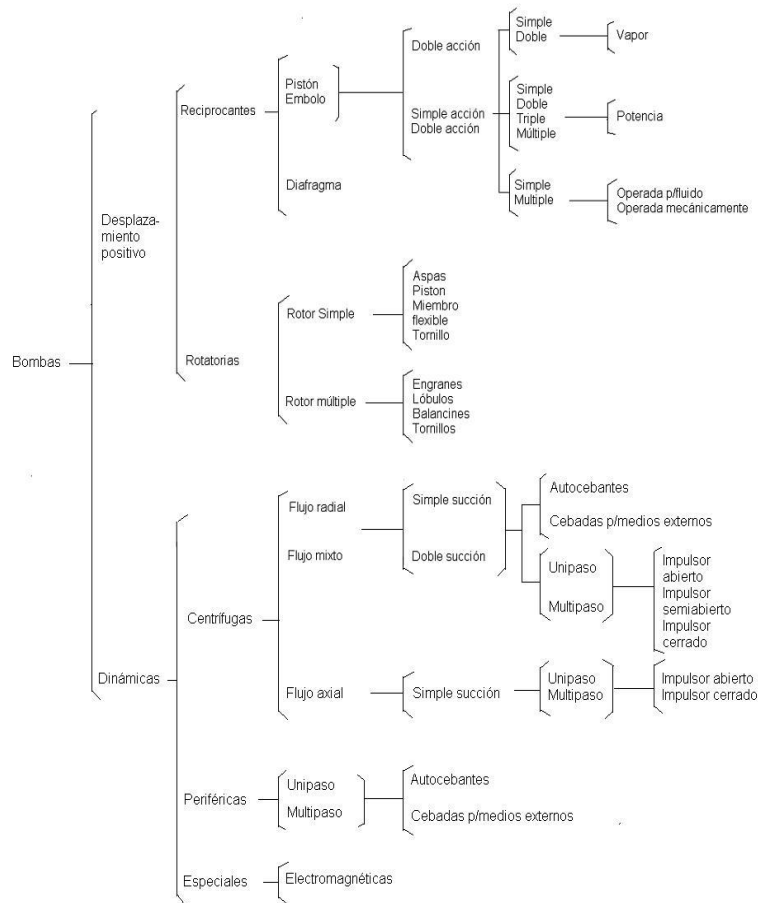
Las bombas que manejan aguas residuales tanto en pequeños sistemas industriales, como en los grandes de bombeo de aguas negras de las ciudades, son bombas centrífugas con impulsores de flujo mixto o de flujo axial que pueden manejar gastos elevados de presiones moderadas.

Lo más importante radica en la construcción del impulsor que debe tener pocos álabes para permitir el paso de sólidos en suspensión, palos, trapos, rocas, hules, etcétera. El desalojo de aguas negras de las grandes ciudades se puede efectuar por gravedad o bombeo. En el primer caso, se cuenta con un sistema que conduce las aguas a los ríos y, finalmente, hasta el mar. La ventaja de este procedimiento reside en que no ocasiona costos altos de mantenimiento, aunque los costos de construcción suelen ser elevados.

1.5.2. Tipos de bombas

Siendo tan variados los tipos de bombas que existen, es muy conveniente hacer una adecuada clasificación. La que se considera más completa es la clasificación editada por el Instituto Hidráulico (Hydraulic Institute), en su última edición. Este Instituto tiene como miembros a más de cincuenta compañías fabricantes de equipos de bombeo en el mundo entero y se ha preocupado por mantener al día los llamados “estándares”. (Ver figura 7).

Figura 7. Clasificación general de los tipos de bombas mecánicas



Fuente: Instituto Hidráulico, edición 2000. p 33.

La clasificación anterior permite apreciar la gran diversidad de tipos que existen y si a ello se agregan materiales de construcción, tamaños diferentes para manejo de gastos y presiones sumamente variables y los diferentes líquidos a manejar, etc., se entenderá la importancia de este tipo de maquinaria en las diferentes aplicaciones en que se necesite utilizar un equipo de bombeo.

1.5.2.1. Bombas primarias

Se identifica también como bombas principales y se encargan de bombear el caudal máximo que se maneje, y entregar el caudal a las diferentes bombas secundarias que no manejan altas presiones, ni caudales a comparación de las bombas primarias, distribuyendo el fluido a diferentes presiones, dependiendo de las aplicaciones que se le dé al fluido.

1.5.2.2. Bombas secundarias

Las bombas secundarias son por lo general, las encargadas de distribuir a una menor presión y a un menor caudal el fluido proveniente de las bombas primarias.

2. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

La planta de tratamiento que utiliza la Universidad de San Carlos de Guatemala no cuenta con un programa de mantenimiento, y se mantiene en operación con simples actividades como la limpieza exterior y el destape de tuberías cuando estas se obstruyen, sobre todo en la época lluviosa.

El personal encargado se limita únicamente a actividades de conserjería que no aumentan o conservan los elementos de la planta, sin que se le dé importancia a la planta.

El factor económico es el principal limitante para que se pueda implementar cambios, ya que el Departamento de Mantenimiento de la Universidad, se enfoca en trabajos en las diferentes facultades y edificios internos, sin que realmente se le proporcione un personal técnico a las instalaciones de la planta. De igual manera no se tiene contemplado ningún proyecto para reutilizar el agua ya tratada y los únicos estudios que se han hecho están a cargo de estudiantes de la ERIS, donde se evalúa únicamente la calidad del agua en términos bacteriológicos.

El agua ya tratada se desecha por completo sin que se tenga un proyecto de reutilización para aplicaciones no potables, utilizando el agua para fines de riego y uso sanitario, agua potable que se extrae de los pozos subterráneos, dentro de la Universidad.

2.1. Tratamiento actual de las aguas residuales

El proceso de tratamiento que realiza la planta de tratamiento de aguas negras de la ciudad universitaria, se puede enfocar desde el punto físico y biológico. El proceso físico se lleva a cabo a través del tamizado, sedimentación y parte del proceso de secado de los lodos (evaporación); el proceso biológico se lleva a cabo por medio de los filtros biológicos (percoladores), digestión de los lodos y parte del proceso de secado de los lodos.

Para la disposición por dilución de las aguas se necesita de un tratamiento adecuado para prevenir la contaminación de los cuerpos receptores de agua a tal grado que no puedan interferir con los usos como riego, recreación, pesca, agua de abastecimiento público o para cualquier otro propósito.

Siempre es necesario algún otro tratamiento para evitar crear condiciones adversas aun cuando una masa de agua no tenga otra aplicación que la disposición de las aguas negras o de desechos industriales.

El proceso del tratamiento de las aguas negras, previa a su disposición, consiste en separar de esas la materia orgánica soluble, antes de ser descargadas a cuerpos receptores.

A pesar de que son muchos los procesos usados para el tratamiento de las aguas negras, todos pueden incluirse dentro de los cinco procesos siguientes:

- Tratamiento preliminar
- Tratamiento primario

- Tratamiento secundario
- Desinfección por cloración
- Tratamiento de los lodos

2.2. Fallas continuas en el tratamiento

Las fallas más comunes y continuas se deben a que con mucha frecuencia la basura y agentes sólidos que vienen en el caudal, obstruyen el caudal y obstaculizan los filtros percoladores que se saturan y no permiten el paso. Otra falla constante es el elevado caudal que en invierno se maneja, aumentando a su vez el trabajo enfocado en tener los elementos de la planta en condición óptima.

Otra de las fallas constantes en el equipo de la planta y del proceso de bombeo es la exposición constante del equipo a sustancias ácidas con un elevado pH, lo cual hace necesario la inspección constante de los elementos de la planta, ya que en su superficie se crea moho, hongos y microbios que generan contaminación al medio ambiente, olores fétidos y albergue para la proliferación de insectos.

2.3. Aguas residuales que trata la planta

Las aguas que trata directamente la planta son las aguas grises y las aguas negras, ambas son aguas ya utilizadas y que ya no se pueden reutilizar para consumo humano, pero que al ser procesadas se pueden llegar a recuperar hasta cierto punto, para su reutilización no potable para fines como el riego, servicios sanitarios y limpieza.

2.3.1. Aguas grises

Las aguas grises que trata la planta tienen su origen principalmente de agua que se ha utilizado para procesar alimentos, lavado de utensilios y de ropa así como agua utilizada en lavamanos y bañeras.

Las aguas grises tienen la particularidad de diferenciarse de las aguas negras ya que no contienen el agente contaminante *Escherichia coli*, el cual es producto de desechos fecales presentes en aguas utilizadas en retretes, esto no hace que las aguas grises no presenten contaminación. El tratamiento de este tipo de aguas es muy importante ya que su reutilización se enfoca en utilizarla para fines sanitarios, previamente tratada este tipo de agua.

2.3.2. Aguas negras

Aparte de tratar aguas grises, la planta también trata las aguas negras, las cuales tienen agentes contaminantes de desechos fecales y de orina, más que todo son las aguas que se utilizan en retretes y uriniales.

Este tipo de agua es el que contiene más agentes contaminantes y es que el se procura tratar con más detalle para evitar alto grado de contaminación, siendo su descontaminación un objetivo para que no contamine el sumidero natural, en el cual desembocan la mayoría de aguas residuales de la capital de Guatemala, siendo este el del lago de Amatitlán, ubicado en la ciudad de Guatemala, municipio de Villa Nueva.

2.4. Diagnóstico en el funcionamiento de la planta

La planta de tratamiento fue construida en la parte sur de la ciudad universitaria, con el objetivo de aprovechar una zona barrancosa favorable para su funcionamiento y utilizar la fuerza de gravedad en el proceso de filtros percoladores que constituyen el tratamiento indicado para Guatemala. El diagnóstico de la planta se basa en los puntos de interés en el proceso del tratamiento, y se utilizó para esto el monitoreo del funcionamiento de la lo cual consistió en visitas técnicas, análisis de muestras de agua en el laboratorio de la ERIS y visitas a varias instituciones, como la planta de tratamiento ubicada en Lo de Coy, Mixco, en las cuales se realizaron las siguientes actividades:

- Inspección visual en el funcionamiento y proceso de la planta.
- Entrevistas con el gerente de Mantenimiento y el jefe de la planta de tratamiento, asimismo con los operadores de la planta.
- Consultas de bibliografía relacionada al tema de tratamiento de aguas, específicamente material de la ERIS.

2.4.1. Puntos de análisis y parámetros

Los dos puntos principales de análisis se enfocan en la entrada y en la salida de la planta; ingresa el agua con porcentaje de contaminación alto y al salir se debe tener un porcentaje aceptable de descontaminación, para determinar que el proceso realmente esté cumpliendo con el fin que se busca.

Los puntos físicos de análisis de la planta se presentan en la tabla II:

Tabla II. **Puntos físicos de análisis**

Puntos físicos de análisis de la PTAR
Desarenador
Pozos alimentadores
Sedimentador primario
Sedimentador secundario
Digestor de lodos
Patio de secado

Fuente: elaboración propia.

Seguido de los puntos físicos, también es necesario determinar los parámetros de análisis preliminares de los puntos de análisis, los cuales se muestran en la tabla III:

Tabla III. **Parámetros de análisis**

Parámetros de análisis de los puntos físicos de la PTAR
Turbiedad
Olor
Temperatura del agua
Velocidad del caudal
Porcentaje de pH

Fuente: elaboración propia.

2.4.2. Análisis físicoquímico y bacteriológico de muestras

Todos los análisis que se realizan a toda muestra obtenida en la planta, se realizan y llevan a cabo en el Laboratorio de la ERIS, con excepción de la determinación de oxígeno disuelto en las muestras obtenidas, los cuales en la

mayoría de los casos se realiza en el momento de adquirir cada muestra a estudiar.

Para los análisis bacteriológicos se toman muestras en los puntos de entrada y salida de la planta, y posteriormente se llevan al laboratorio para su análisis y determinar si estas cumplen o no el parámetro de cantidad de bacterias más que todo, en la salida de la planta.

Estas muestras se analizan en el Laboratorio de ERIS, donde se evalúan y con esto, compara los valores con las normas COGUANOR y con esta determinar la calidad del agua no para consumo humano, pero sí con fines no potables.

2.4.3. Carga de contaminantes hacia el sumidero natural

Prácticamente todo el caudal que ingresa a la planta y es tratado, es nuevamente procesado para su envío al sumidero natural el cual recibe el agua con cierto porcentaje de contaminación, el cual tiene que estar dentro de los rangos de calidad desde el punto de vista físico, químico y biológico.

Los índices que se tienen que tomar muy en cuenta para determinar la carga contaminante hacia el sumidero lo determinan los parámetros siguientes:

- DBO₅: demanda bioquímica de oxígeno
- DQO: demanda química de oxígeno
- Nitratos
- Fosfatos

Dependiendo de la concentración de estos indicadores se puede determinar la carga de contaminación que se entrega al sumidero natural, la cual determina que calidad de agua en términos físicos, químicos y biológicos se entrega al sumidero natural.

2.4.4. Tratamiento preliminar

Las unidades donde se realiza el tratamiento preliminar son el canal de rejillas y el desarenador, donde ocurre un proceso físico. La función de estas unidades es la retención de material grande y de material inerte, conformado por partículas de diámetro mayor de 0,02 mm, las cuales son atrapadas en las rejillas.

El canal de entrada es de 3,05 metros de largo y 0,80 metros de ancho, construido con bloques de arena-cemento. En el canal se encuentra instalada la rejilla de metal y una pantalla rectangular donde se puede realizar el desvío de la planta.

La finalidad de estas unidades es la de eliminar o separar los sólidos flotantes y eliminar sólidos inorgánicos pesados. Ambas llevan a cabo su tarea por medio de procesos físicos de sedimentación y filtrado.

El tratamiento primario tiene como finalidad separar o eliminar la mayoría de los sólidos suspendidos en la aguas residuales, entre el 40% y el 60% de los mismos, mediante el proceso físico de sedimentación.

2.4.5. Tratamiento primario

El sedimentador primario es una estructura de concreto armado en forma de cono truncado de 10 metros de diámetro y un diámetro menor de 5 metros. La altura es de 9,30 metros. En su dispositivo de entrada cuenta con una tubería e PVC de 0,20 metros de diámetro, proveniente del desarenador, con lo cual se realiza el ingreso del agua por la parte superior del sedimentador. También cuenta con una pantalla difusora de material de bloques de arena y cemento.

En el dispositivo de salida se encuentra un canal recolector en todo el perímetro de la unidad con vertederos triangulares, donde el agua es conducida a una caja recolectora, de donde posteriormente pasa a los filtros percoladores.

La evacuación de los lodos sedimentados se realiza por medio de tuberías de PVC de 0,15 metros de diámetro. La evacuación es accionada mediante una válvula de compuerta de hierro fundido del mismo diámetro.

2.4.6. Tratamiento secundario

Las unidades que llevan a cabo el tratamiento secundario son los filtros percoladores, en los que ocurre un proceso biológico; y el sedimentador secundario, donde ocurre el proceso físico.

Los filtros percoladores son unidades donde ocurre un proceso biológico de degradación de la materia orgánica por medio de oxidación-reducción, en el cual la materia orgánica presente en las aguas residuales se pone en contacto directo con microorganismos, en condiciones aeróbicas.

La planta cuenta con tres módulos de filtros percoladores que funcionan en serie. Cada módulo se compone de cuatro filtros de 3,80 metros de ancho por 6,60 metros de largo, con una altura total de 4,00 metros. Están contruidos con bloques de arena y cemento.

Como dispositivo de entrada, los filtros tienen tubería de PVC de 0,10 metros de diámetro provenientes del sedimentador primario. Para la distribución sobre el lecho filtrante se emplea tubería de hierro galvanizado de 0,51 metros de diámetro, perforada en la parte inferior, con agujeros de 0,015 metros de diámetro.

Las dimensiones de los módulos son las mismas, únicamente cambia el tamaño de la granulometría del lecho filtrante. Este último es de piedra volcánica triturada con la granulometría. (Ver tabla IV).

Tabla IV. **Granulometría del material de lecho filtrante en los filtros percoladores**

Filtro No.	Diámetro del material filtrante
1	0,09 metros (3,5 pulgadas)
2	0,08 metros (3,0 pulgadas)
3	0,06 metros (2,5 pulgadas)

Fuente:LÓPEZ, Magda Lorena. *Evaluación de filtros percoladores*.p. 66.

Los filtros percoladores alteran las características de los sólidos en las aguas residuales, pero no los eliminan. El efluente de los filtros percoladores contiene sólidos suspendidos que deben ser eliminados antes de la descarga. El proceso físico que ocurre en el sedimentador secundario es la sedimentación de partículas susceptibles de hacerlo. La eliminación se logra mediante el

filtrado por medio de piedra volcánica, la cual se realiza en las tres fases de la planta. (Ver figura 8).

Figura 8. **Piedra volcánica en las fases de la planta**



Fuente: Departamento de Mantenimiento, Universidad de San Carlos.

2.4.6.1. Filtros percoladores

La palabra filtro no está correctamente empleada en este caso, porque no se efectúa ninguna acción coladora, ni filtrante. Este tipo de "filtro" es un dispositivo para poner en contacto a las aguas negras sedimentadas con cultivos biológicos. Un nombre correcto que se ha sugerido es lecho de oxidación biológica, sin embargo el nombre común utilizado es el de filtros percoladores.

2.4.6.1.1. Descripción

Básicamente es una pila de rocas sobre la cual la corriente residual resbala y va descendiendo lentamente. La corriente de agua residual puede ser introducida en la parte superior del filtro por medio de gravedad (es el más usado por relación de costos). Se forma una masa biológica gelatinosa sobre la superficie de los filtros y esta masa digiere la materia orgánica en el agua que pasa sobre la superficie.

Dentro de los microorganismos que habitan en un filtro percolador pueden mencionarse: bacterias aeróbicas facultativas y anaeróbicas (géneros pseudomonas, alcaligenes, micrococos y enterobacterias). Los hongos son muy comunes en este proceso aunque debido a que hay oxígeno disuelto son menos abundantes pues compiten con las bacterias por su alimento; las algas por igual se presentan, aunque necesitan luz y por eso crecen limitadamente en la parte superior del filtro; los protozoos existen en capas superiores y también dentro del filtro, bajo condiciones aeróbicas y animales mayores como gusanos, caracoles, larvas de insectos que se alimentan de los microorganismos que viven en las superficies aeróbicas.

2.4.6.1.2. Función

El uso de filtros percoladores es un método para llevar a cabo la oxidación de materia orgánica, comúnmente empleado para tratar aguas negras mediante actividad microbiana. En ellos se lleva a cabo un tratamiento biológico secundario (otros métodos se valen de aireación, estanques de oxidación, etc.) no proporciona el alto grado de remoción de materia orgánica que da en comparación, un proceso de lodo activado, ahorra espacio, posee alta

resistencia a cargas violentas y estabilidad en funcionamiento, no requiere más aire que el proporcionado por ventilación natural.

El diseño y la operación son simples. La tendencia observada en los últimos años es que los plásticos y otros materiales sintéticos sustituirán a la roca. Cuando la concentración de materia orgánica es alta, se reduce esta antes del filtro percolador convencional, mediante reciclado de una porción del efluente del biofiltro o del efluente de la planta.

Existe una capa ácida continua de desechos orgánicos de la superficie del biofiltro, que requiere clarificación final del efluente del agua de desecho para ser descargado a una corriente receptora.

2.4.6.2. Reactores de la planta

Es el módulo en el cual se lleva a cabo el tratamiento anaeróbico (digestión de materia orgánica en suspensión), es decir, en ausencia de oxígeno. Además, hay producción de gas y estabilización del lodo. Aquí se generan dos subproductos:

- Lodo séptico que, previamente deshidratado, puede utilizarse como abono orgánico
- Biogás, con capacidad calorífica similar al gas propano.

2.4.6.2.1. Características

El reactor de la planta es una estructura de concreto armado en forma de cono truncado de 17 m de diámetro mayor, 0,50 m de diámetro menor y 14 m de profundidad. Las tuberías que provienen de los sedimentadores primario y

secundario son de PVC, clase 160 con diámetro de 0,15 m, la tubería de extracción también es de PVC clase 160 de 0,2 m de diámetro la cual conduce los lodos a los patios de secado.

2.4.6.2.2. Desempeño

El reactor de flujo ascendente y manto de lodos, también conocido como UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), desarrollado entre 1979 y 1980 en Holanda, es una unidad de nueva tecnología, cuyas principales características son el bajo costo, la simplicidad y la posibilidad de modulación. Consiste en un tanque de digestión, en cuya parte superior tiene un sistema de decantación y un sistema de deflexión de gases, anaeróticamente alimentado en su parte inferior por un sistema que propicie el flujo pistón ascendente, recolectándose el efluente en vertederos ubicados en la parte superior.

La degradación biológica es propiciada por la acción de una capa de lodos activados en suspensión altamente concentrada, conocida como manto de lodos, la cual una vez madurada genera la formación biológica de gránulos a manera de filtro.

2.4.6.3. Remoción de nutrientes acuáticos

La remoción de nutrientes acuáticos va unida a la utilización de Lagunas de jacintos acuáticos.

Los jacintos acuáticos son plantas flotantes con hojas de color verde brillantes; sus raíces se encuentran suspendidas en el agua, se extienden muchos centímetros debajo de la superficie del agua, pero no llegan hasta el fondo. Pueden alcanzar un altura entre 0,61 y 0,91 m.

Los cultivos controlados de jacintos acuáticos en un estanque apropiado, son efectivos en la eliminación de algas y la remoción de nutrientes como nitratos y fosfatos. Así, el efluente de un estanque de jacintos de obtiene claro y con bajo contenido de nutrientes y bacterias coliformes fecales.

Actualmente esta remoción no se lleva a cabo y no se cultivan, ya que no se contempló esto al construir la planta, sin embargo si se remueve y se desecha completamente, ya que lo que se utiliza es el lodo de los sedimentaros como abono.

2.4.7. Mantenimiento del equipo de bombeo

La falta de un aumento anual de recursos enfocados en mantenimiento, hace necesario que se venga manejando un servicio de mantenimiento que busque la manera de aumentar la vida útil de los elementos que conforman la planta, maximizando la utilidad de estos al costo más reducido; esto hace necesario que se lleve un mantenimiento mayormente preventivo, para no incurrir en averías correctivas que a su vez generan costos que a mediano plazo se buscan evitar.

Cabe destacar que el mantenimiento se enfoca más que todo en las bombas encargadas de alimentar el agua potable a la Universidad mediante dos pozos internos en el Campus, ya que la planta de tratamiento actual no utiliza equipo mecánico de bombeo, sino que aprovecha la topografía del terreno para utilizar la gravedad como fuente de fuerza para generar presión.

2.4.7.1. Funcionamiento del equipo

Desde que el caudal de agua ingresa a la planta, los elementos por los que circulara el agua funcionan directamente por gravedad, sin que se utilice un equipo de bombeo para su operación. Cada elemento está supervisado por personal del Área de Mantenimiento, sin embargo las actividades se enfocan únicamente en mantener libre el flujo de agua.

2.4.7.2. Indicadores de mantenimiento

Las inspecciones visuales son, por lo general, la forma en la cual se determina si cada elemento de la planta está o no cumpliendo su función, ya que si se rebalsa la planta, que es el problema común, se verifica que elemento está saturado o presenta problemas, ya localizando esto buscar una solución.

Los indicadores para estos elementos son, por citar los más importantes: la cantidad de elementos sólidos que transporta el caudal, la cantidad de sedimento depositado en el fondo de cada elemento, quebraduras y rajaduras en el concreto, el olor del ambiente debido a la falta de limpieza de los componentes y los rebalses en los canales debido a la saturación en los filtros.

Directamente en el equipo de bombeo mecánico, los medidores importantes son los juegos axiales y radiales del eje impulsor de una bomba, las horas trabajadas, vibraciones, cavitación y oxidación más aún si se utiliza tubería metálica, en este caso la planta utiliza tuberías de concreto y de PVC la cual no se oxida, sin embargo, en sus paredes se crea una capa de sedimento que tiene a reducir el flujo que pasa a través de estos.

Tabla V. **Indicadores de mantenimiento básico para equipo de bombeo**

INDICADORES DE MANTENIMIENTO PARA EQUIPO DE BOMBEO
Horas trabajadas
Presión promedio de operación
Vibración de tuberías
Juegos axiales y radiales del rotor de la bomba
Cavitación y desgastes en alabes y tuberías
Oxidación y corrosión
Ruidos

Fuente: elaboración propia.

2.4.7.3. Equipo y herramientas

El equipo utilizado para darle mantenimiento a los elementos de la planta es casi nulo, limitándose al uso de herramientas básicas como: palas, piochas, escobas y podadoras, herramienta con la cual se limpia los alrededores de la planta y sus elementos de manera superficial. Cuando la planta presenta un problema con su funcionamiento, el personal a cargo se ve limitado para dar una respuesta eficiente.

2.5. Factores de riesgo en relación a seguridad industrial

La seguridad es un factor que actualmente no se toma en cuenta, ya que no se tiene asignado un presupuesto anual que cubra este costo. El presupuesto que se asigna es más que todo para el mantenimiento general de instalaciones, como los edificios y las áreas verdes.

Los dos factores que determinan la seguridad industrial son las condiciones del lugar y las operativas de los trabajadores; en este caso las instalaciones de la planta son propensas a la contaminación por olores fétidos y por contacto directo del trabajador al estar laborando dentro del área de la planta. Las operativas del técnico intervienen en la seguridad, ya sea que utilice o no equipo.

Los técnicos que están a cargo del mantenimiento de la planta no utilizan ningún equipo de seguridad que los proteja, lo que utilizan son botas de hule, pantalón de lona, camisa y sombrero de paja, siendo el equipo adecuado las botas industriales, pantalón de lona, camisa, casco, lentes, mascarilla y guantes, por lo que tanto las personas que laboran internamente o las que llegan a verificar la planta corren un alto riesgo de accidentes como resbalones, contacto directo con agentes contaminantes, náuseas y mareos por inhalar olores fétidos.

Por ser una planta de tratamiento de aguas residuales, las áreas donde se genera las mayores condiciones inseguras son los sedimentadores y en los canales de rejillas, ya que en estos se concentra el mayor caudal a tratar y es donde también la mayor parte de la materia orgánica es depositada y atrapada para luego ser desechada. Este proceso conlleva el contacto directo e indirecto con elementos contaminantes, como olores y residuos sólidos o líquidos lo cual da como resultado, condiciones inseguras propias de la planta.

Las condiciones inseguras que se pudieron determinar son las siguientes:

- Al momento de ingresar a la planta no se cuenta con barandas que eviten cualquier contacto directo con superficies contaminadas.

- El suelo de la planta de tratamiento no tiene la rugosidad necesaria al momento de estar húmeda, lo cual conlleva a riesgos de resbalones y lesiones.
- En la parte inferior de las instalaciones de la planta, el suelo es de tierra y se encuentra por lo regular con llano y monte, lo cual al momento de caminar no se sabe si el suelo es parejo o tiene alguna desnivel que puede conllevar a una caída.
- Los malos olores que emanan en la entrada de la planta, los cuales se incrementan cuando no se le realiza una limpieza periódica a los sedimentares primarios y secundarios.
- La planta no cuenta con señalización de rutas de acceso, ni de salidas.
- Al estar en las diferentes áreas, tanto los pasamanos existentes en los elementos de la planta y las áreas de contacto físico, son fuentes de contaminación que pueden conllevar una enfermedad ocupacional.

2.5.1. Actos inseguros

El personal que se hace cargo de la supervisión de la planta es en su mayoría personas con grado de estudio no universitario, por lo que el conocimiento que tienen respecto a seguridad industrial es muy limitado; de igual manera este personal no se encarga del mantenimiento de la planta, sino de la supervisión que el proceso no se obstruya y que el área que abarca la planta no se vea afectada por el crecimiento de la maleza y monte, pudiéndose determinar que el personal está allí principalmente para actividades de

jardinización, pero cuando se le requiera para verificar la planta, igualmente se hace cargo.

Los actos inseguros van muy unidos a la falta de capacitación y la falta de equipo para la protección personal, lo cual genera acciones que ponen en riesgo la salud del personal a corto y mediano plazo, entre los cuales destacan:

- La falta de utilización de protección industrial, como lo son zapatos industriales, guantes, lentes y mascarillas.
- Al trabajar en áreas húmedas a pesar de tener botas de hule se corre el riesgo de resbalones y esto a su vez lesiones graves.
- El contacto directo con las manos de las instalaciones de la planta sin que haya un área de desinfección para las manos, las cuales están directa o indirectamente en contacto con áreas contaminadas.

2.5.2. Equipo de seguridad

Actualmente no se tiene un equipo necesario, ni el presupuesto para asignarle protección a los encargados de la planta, los cuales la mayoría de veces utilizan botas de hule, pantalón de lona y camisa manga larga para llevar a cabo las labores de chapeo a las instalaciones de la planta.

El personal está consciente de los riesgos que esto implica y dado que la planta funciona mediante gravedad, el único mantenimiento que se le proporciona es la limpieza de los sedimentadores y, ocasionalmente, el cambio de alguna tubería con daños y que implican su cambio.

2.5.3. Riesgos de enfermedades ocupacionales

Esto es quizá el mayor riesgo al cual está expuesto el personal que labora en las instalaciones de la planta, ya que el contacto directo y constante con olores fétidos, residuos líquidos y sólidos que provocan en su momento, náuseas y mareos, y al estar de manera constante en este ambiente, conlleva una enfermedad en el trabajador, lo que lo obligaría a suspender sus labores de manera temporal al momento de estar llevando a cabo cualquier actividad dentro de la planta.

No se ha reportado de manera formal de parte de los técnicos molestias o enfermedades ocupacionales, esto no significa que el ambiente esté sea adecuado, ya que por el hecho de no utilizar ningún equipo de protección, es un riesgo serio de enfermedad ocupacional.

2.6. Costos de operación

Como todo proceso industrial, la planta conlleva costos de operación. Aunque no tiene asignado un presupuesto anual, esto no la hace exenta de costos ya sea de mantenimiento correctivo, que es la mayoría de veces en las que se le asigna un presupuesto de reparación, o de costos de mantenimiento ya sea de manera directa o indirecta.

De manera directa, el costo que se le asocia a la planta, es el salario que devenga el personal a cargo de la vigilancia y chapeo de las instalaciones, las cuales actualmente son tres personas: en el guardián de la planta juntamente y dos jardineros que se encargan del chapeo y de otras actividades que se requieran para mantener el flujo del caudal en la planta, sin ninguna obstrucción.

El costo de operación de la planta de tratamiento no se ha calculado, ya que el objetivo en este momento de la planta no es la reutilización del agua, sino la descontaminación del agua para entregarla al sumidero natural, no se ha hecho un estudio para que el agua se pueda reutilizar para usos no potable y así, aumentar la vida útil de los pozos naturales de agua de los cuales depende el campus central.

El valor de la operación de la planta no se ha estimado, ya que la ubicación de la planta está ubicada en un extremo aislado del Campus Central, aproximadamente a 3 Km de los primeros edificios cercanos siendo estos los de área de EPS y de mantenimiento. Este aislamiento impide el cálculo de un valor, para que se tome un parámetro y se justifique una inversión para la reutilización del agua ya tratada, aspecto muy importante a tratar en el trabajo de graduación, para establecer un valor aproximado y basado en esto definir una propuesta de reutilización del agua ya tratada.

2.6.1. Tratamiento de la planta

Son las actividades de mantenimiento que se le hacen a las instalaciones de la planta, para que mantenga su funcionamiento el mayor tiempo posible, y tratar de minimizar los daños o desperfectos en su funcionamiento.

La gran ventaja de la construcción y del diseño de esta planta es que funciona mediante gravedad, ya que el caudal que ingresa y sale de la misma, no necesita bombeo mecánico, sino que la diferencia de alturas hace que el caudal circule por las tres fases que componen la planta.

El material que se utilizó para la construcción de la planta fue de concreto y ladrillo, para el piso, gradas, sedimentadores, pozos y patio de secado. Otro

material utilizado más que todo en tuberías es el PVC, el cual es usado en cada fase para distribuir el caudal que entra al iniciar el proceso de tratamiento.

Las partes más afectadas, sobre todo por los ácidos y la materia orgánica, son las paredes interiores, tanto de tuberías, pozos y sedimentadores por tener contacto directo y generando fricción por el caudal constante.

2.6.2. Mantenimiento del equipo

El mantenimiento principal para estos equipos consta de la limpieza constante de las rejillas de los canales y la limpieza exterior de las superficies de los sedimentadores.

No existe un plan o un departamento encargado de darle el mantenimiento a la planta de manera técnica, sino que lo que se tiene es una serie de actividades para que esta mantenga su operación.

Sin embargo, el mantenimiento no deja de ser necesario, pero debido a la falta de presupuesto y de atención, además de ver esto como una inversión y no como un proceso de reducción de contaminación, no se le ha asignado un plan, ni mucho menos un presupuesto específico para que se aumente la vida útil.

Cuando sucede una obstrucción en la tubería, el guardián de la planta es el que da aviso al Departamento de Mantenimiento el cual envía al personal que esté disponible para darle solución al problema. Las reparaciones comunes son el reemplazo y limpieza de tuberías, limpieza de los canales de rejillas, el repello e impermeabilización de las paredes de cualquier elemento que presente alguna fuga.

3. PROPUESTA DE MEJORA A LA PLANTA DE TRATAMIENTO

Para la elaboración de la propuesta de mejora para la planta de tratamiento, se realiza una introducción preliminar de los elementos que la componen, de igual manera se hace referencia al sistema de mantenimiento que se le debe dar a cada equipo, las funciones y responsabilidades del personal, así como las medidas de seguridad industrial para la prevención de accidentes.

3.1. Colocación de elementos al tratamiento

Durante el proceso de tratamiento de aguas, es necesario mantener un equilibrio que depende del caudal que se maneja y del tamaño de la planta, la cual a su vez determinará la cantidad de elementos necesarios para generar un proceso óptimo y que sobre todo cumpla con las normativas necesarias para entregar en los rangos aceptables el agua ya tratada al sumidero natural.

Los elementos principales que no pueden faltar son los sedimentadores, los principales que son colocados a la entrada y los secundarios que se colocan al final de esta misma; de igual manera los filtros percoladores, donde se empieza y finaliza el proceso de tratamiento, estos filtros son los elementos vitales en esta planta, ya que por medio de estos se logra el tratamiento al agua residual.

En lo que respecta a la planta de la Universidad se propone más que todo la colocación de una batería de filtros y de un reactor de flujo ascendente, los

cuales no solo aumentarán la calidad de agua tratada, sino que también tienen la gran ventaja de que se puede aprovechar la topografía del terreno y así seguir utilizando la diferencia de alturas para generar presión, sin que se tenga la necesidad de usar equipo mecánico.

3.1.1. Introducción preliminar de elementos

Como en todo proyecto, la aplicación de propuestas de implementación conlleva oposición al cambio, esto debido al costo de la inversión inicial y sin ser un proyecto lucrativo, no se le presta el interés necesario a la propuesta. Aprovechar el agua ya tratada no está contemplado actualmente, sin embargo, a nivel nacional ya se están implementando plantas de tratamiento que buscan la reutilización de este recurso. Un ejemplo es la planta de tratamiento ubicada en la colonia Lo de Coy en la colonia la Comunidad zona 11 de Mixco, en la cual toda el agua que ingresa a la planta es reutilizada para consumo potable, generando un proyecto lucrativo con fines sociales para la Municipalidad.

Se tiene la ventaja que los elementos para complementar la planta no necesariamente tienen que ser instalados o construidos todos a la vez, sino que se puede hacer por partes, ya que cada elemento es independiente en su operación, e igualmente dependería su construcción del interés real que se le dé a la propuesta, basado en la evaluación de la planta.

3.1.1.1. Sedimentador primario

El sedimentador primario de la planta mantiene su función casi sin ningún tipo de atención en su mantenimiento, lo que se busca es aumentar su eficiencia en el proceso. En épocas lluviosas, cuando el caudal de la planta sobrepasa los niveles normales, el sedimentador tiende a rebalsarse, sin que se

tenga presente canales de salida o de contención del volumen que contiene.
(Ver figura 9.)

Figura 9. **Sedimentador primario**



Fuente: Planta de tratamiento de aguas del Departamento de mantenimiento, Universidad de San Carlos de Guatemala.

Lo que se busca es aumentar la altura del sedimentador y a la vez hacerle drenajes que comuniquen con un canal de descarga, para que así, cuando sea la época lluviosa, se pueda contener el caudal en un nivel constante y rechazar el excedente, tratando la manera de no afectar las instalaciones físicas de la planta.

La altura propuesta sería de aproximadamente 50 cm, esto ayudaría también a que se pueda tratar un porcentaje mayor de aguas, más que todo en época de invierno. Como el diámetro de este sedimentador es de 10 m, se estaría aprovechando un volumen de 157 m³ de agua.

3.1.1.2. Batería de filtros

Luego de haber pasado al sedimentador primario, el flujo de agua pasa directamente a otro pozo donde se almacena al agua para distribuirla al sedimentador secundario. Es en esta parte donde se pretende instalar la batería de filtros, los cuales serían canales con una rejilla de hierro galvanizado que reducirían la velocidad del flujo, haciendo que la materia orgánica por la acción de la gravedad tienda a ubicarse en la parte más baja del flujo y las rejillas retengan cualquier elemento flotante que pudiera obstruirlo.

Colocar esta batería de filtros requiere que se le dé mantenimiento a las rejillas en función de la cantidad de horas que operan, ya que la planta opera las 24 horas del día. Se pretendería que la limpieza de estas se realice por lo menos cada 24 horas y en periodos invernales cada 12 horas, esto haría que se incremente el caudal de agua ya tratada.

3.1.1.3. Sedimentador secundario

Al igual que en el sedimentador primario se pretende ampliar la altura de este de 0,50 m. para que así, en época de invierno se mantenga el caudal y no se produzca un rebalse que es común durante esta época.

Al aumentar la altura del sedimentador secundario también ayudaría a que se pueda dar una mejor protección al personal encargado de la planta, ya

que los dos sedimentadores tienen una altura aproximada de 0,30 m desde el suelo, lo cual hace de estos una condición insegura al momento de que se obstruyan y se rebalsen, pudiendo provocar resbalones y lesiones leves o graves.

Al tener listo este elemento, se asignaría un mantenimiento constante similar al sedimentador primario incluyendo la limpieza exterior e interior de ambos.

Figura 10. **Sedimentador secundario**



Fuente: Planta de tratamiento de aguas del Departamento de mantenimiento, Universidad de San Carlos de Guatemala.

3.1.1.4. Reactor de flujo ascendente

El reactor de flujo ascendente, mejor conocido como RAFA, sería otro elemento que se utilizaría en la planta. Este elemento consiste en un cono truncado donde en la parte superior se entrega el caudal proveniente de los dos sedimentadores, en su interior, y por efectos de la gravedad, el agua asciende a la parte superior y los lodos y elementos sólidos se depositan en la parte inferior. Esto evita que este reactor tenga contacto con oxígeno y se consigue un proceso anaeróbico, siendo este proceso, una digestión de materia orgánica en suspensión.

Lo que se lograría con este elemento es la producción de gases y de lodo séptico, que luego de haberse deshidratado se puede aplicar como abono orgánico, y los gases similares al gas propano utilizarse en procesos de combustión.

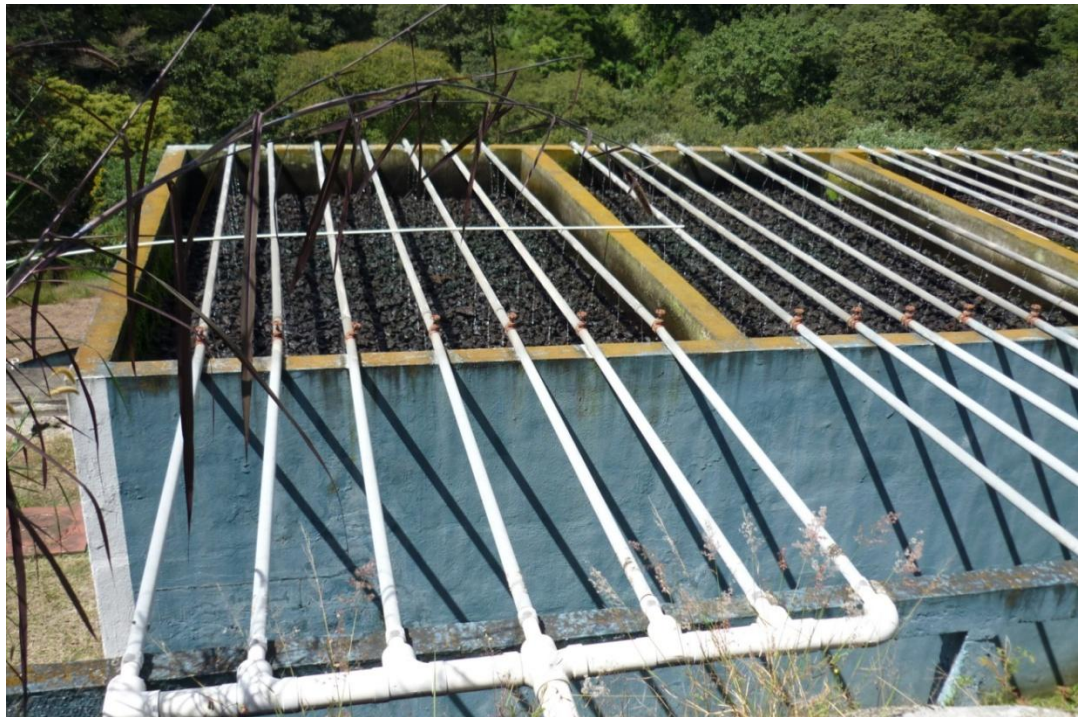
Este elemento conllevaría un estudio mucho más preciso, ya que la producción de lodo no sería ningún problema y su drenado iría al patio de secado. En cambio el gas conllevaría un estudio más detallado y no tan general, para su producción y almacenaje adecuado, para que se evite cualquier contaminación al personal y que se pueda evitar cualquier tipo de accidente por lo inflamable de este gas.

3.1.1.5. Filtro percolador

Este elemento realiza también un proceso aeróbico con presencia de oxígeno, siendo estos elementos alimentados por el RAFA. El agua proveniente del reactor se hace fluir por una base de roca volcánica, la cual atrapa los

elementos biológicos y los convierte en una película biológica que se concentra en la superficie de las piedras y así filtrar el agua.

Figura 11. **Filtros percoladores a base de piedra volcánica**



Fuente:Planta de tratamiento de aguas del Departamento de mantenimiento, Universidad de San Carlos de Guatemala.

La planta de la Universidad cuenta con tres fases de filtros percoladores, en serie, la cuales se identifican como fase 1, fase 2 y fase 3, esta última es donde el agua ya sale tratada completamente y es entregada al sumidero natural.

La mejora de estos elementos sería más que todo en utilizar un impermeabilizante en las paredes de los filtros y en los canales que comunican

a cada filtro entre sí, ya que actualmente, la superficie de esos está únicamente repellada con cemento, el cual protege solo hasta cierto grado, ya que la cantidad de salinidad y elementos biológicos crean hongos en las superficies de contacto y estos cuando entran en contacto con el sol, crean una descomposición, la cual genera malos olores y afecta el tratamiento. Utilizando un impermeabilizante, el agua resbalaría en las superficies juntamente con la materia orgánica, la cual en las tres fases se contendría en las piedras volcánicas entregando en la última fase una mejor calidad de agua.

3.1.1.6. Laguna de elementos acuáticos

La planta no utiliza una laguna de elementos acuáticos, la cual es utilizada para la producción de jacintos acuáticos, estos tienen la capacidad de absorber y almacenar en sus tejidos contaminantes químicos como el plomo, arsénico, mercurio y metales pasados como el estroncio y el cadmio, lo que la utilización de una laguna de jancitos, funcionando con un mantenimiento adecuado, aumentaría aún más la calidad potable del agua. Sin embargo, este elemento queda igualmente como propuesta a largo plazo, al momento de poner más énfasis en la reutilización del agua que trata la planta, para procesos de riego o usos no potables.

3.1.1.7. Laboratorio de Análisis de Muestras

Actualmente, para analizar las muestras de agua ya tratadas se utiliza el Laboratorio de la Escuela de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de San Carlos (ERIS); otra opción para el análisis de muestras son los laboratorios en la Facultad de Ciencias Médicas y Farmacia. Sin embargo, estos análisis son más que todo para ensayos y prueba, no se realizarán de manera constante para verificar y darle un seguimiento al tratamiento de esta planta.

Darle seguimiento al tratamiento de agua a través de análisis de laboratorio determinaría la eficiencia de la planta basada en parámetros estándar de contaminación. Además, al tener un estudio constante de muestras analizadas en el Laboratorio de ERIS, se podría demostrar con datos técnicos la utilidad que tiene la planta y con esto tener un historial que pueda ser utilizado para aplicarlo en varios lugares a nivel nacional y así conservar el medio ambiente.

3.2. Mantenimiento al equipo de bombeo

La planta de tratamiento no utiliza ningún elemento mecánico o eléctrico para su operación, ya que utiliza la energía gravitacional y la topografía del terreno por medio de las cuales el caudal recibe el tratamiento.

El mantenimiento se aplicaría al equipo que se plantea como propuesta para reutilizar el agua y bombear el agua que sale ya tratada de la última fase de tratamiento y trasladarla por medio de tuberías y presión mecánica a la entrada de la planta, para que desde ahí se proceda a distribuirla.

3.2.1. Ubicación del equipo de bombeo

La localización de los equipos de bombeo dependerá del lugar donde se quiere bombear el agua ya tratada y del lugar donde se entregará este caudal. La planta de tratamiento tiene la ventaja que tiene espacios, en los cuales se puede llevar a cabo instalaciones adicionales a los elementos ya existentes.

La ubicación del lugar donde se entregará el agua ya tratada, queda en una buena ubicación, ya que en los alrededores de la planta se encuentran

áreas que utiliza la Facultad de Agronomía y donde se hacen trabajos de agricultura.

3.2.1.1. Bombas

La utilización de bombas se enfocaría en la salida de la tercera y última fase de tratamiento y es en esta ubicación donde se requiere vencer la fuerza de gravedad, juntamente con la pérdida de presión provocada por la fricción; para trasladar el caudal aproximadamente a 30 m desde el nivel bajo de la planta, al nivel del suelo de la entrada de la planta.

Esto implica la utilización de un equipo de bombeo mecánico; si se utiliza un equipo eléctrico se dificultaría y se haría más dificultoso el proceso, ya que el poste más cercano de energía eléctrica está aproximadamente a 2 km de la entrada de la planta. El equipo que cumple con los requisitos necesarios es un equipo mecánico, accionado por un motor de combustión interna, el cual funciona a base de diésel y se encargaría de darle el torque y el giro a la bomba mecánica para que esta proceda a bombear el agua hacia el área indicada.

La ubicación crítica del equipo de bombeo se ubica en la zona topográfica más baja de la planta, la cual a nivel del suelo está aproximadamente a 30 metros, y como la densidad del agua está determinada a $1\ 000\ \text{kg/m}^3$, y el caudal promedio que circula por la planta es de 639 l/s, utilizando la relación de potencia para el cálculo:

$$P=Q \cdot h \cdot \rho / (367 \eta) \quad \text{ecuación de potencia (1)}$$

Dónde:

P=Potencia [kW]

Q=caudal [m^3/h]

h =altura manométrica [m]

ρ =densidad del agua [kg/dm^3]

η =eficiencia de la bomba

Sustituyendo los valores en la ecuación (1) se tiene:

$$P = (383 \text{ m}^3/\text{h} * 30\text{m} * 1\text{kg}/\text{dm}^3) / (367 * 0,80) = 39\text{kW}$$

Con el valor de la potencia se puede establecer la bomba a utilizar, la cual tendría que tener una potencia mayor a 38 kW para que pueda vencer la diferencia de alturas sin que se exija una potencia adicional, lo cual forzaría su funcionamiento.

Con la entrega de esta potencia por parte de la bomba, se procede a la distribución e instalación de tuberías y dependiendo de la aplicación, se puede proceder a instalar otras bombas con menor potencia para distribuir el caudal.

3.2.1.2. Motores

Los motores a utilizar, debido a las condiciones y la ubicación de la planta, serían de combustión interna a base de diésel, los cuales no necesitan alimentación eléctrica. Este tipo de motor tiene muchas ventajas ya que su instalación no requiere una alta inversión, para su funcionamiento, se necesita una buena base de concreto, una caseta de disipación de sonido que a la vez la protegería de los cambios del clima.

Otra de las ventajas de estos equipos es que la aceleración que manejan les permite entregar potencias en función de la carga, por lo que no se tendría ningún problema al momento de su función, ya que si la bomba hidráulica requiere más presión debido al aumento del caudal, el motor de combustión

aumentaría la cantidad de combustible para compensar el aumento o disminución de potencia.

3.2.1.3. Válvulas de compuerta

Las ventajas de manejar válvulas de compuerta son varias, siendo la principal, que se puede retener caudales de agua a presiones elevadas, ya sea para un mantenimiento preventivo de la tubería o bien, para suspender el caudal de agua por alguna circunstancia.

Esta válvula por lo general se instala al inicio de las tuberías alimentadoras; su instalación es sencilla y su construcción la hace ser un dispositivo de fácil mantenimiento, ya que se enfocaría en lubricar el tornillo actuador. Si en algún momento esta se deteriora se puede cambiar por una nueva sin mayor complicación.

3.2.1.4. Válvulas de alivio

Como en todo sistema que utilice caudales, presión y velocidad, se requiere de una o varias válvulas de alivio, las cuales se encargan de liberar la presión acumulada, ya sea por una elevación repentina del caudal de agua, o un cambio brusco de velocidad del flujo, en este caso seguido de la válvula de compuerta. En el siguiente tramo se propone la instalación de esta válvula, teniendo la particularidad de una graduación, la cual dependiendo de la presión y del caudal activo, tiene un actuador. La función principal es abrir un orificio y liberar la presión o el caudal y cuando estos dos parámetros estén en el estado normal, cerrar la válvula y seguir la operación normal.

La cantidad de estas válvulas está determinada por la distribución de tuberías y la aplicación necesaria, en donde se requiera mayor presión, se colocan estas válvulas para protección de las tuberías y así evitar el daño prematuro de otros dispositivos y lo más importante, evitar accidentes y lesiones graves a personas que estén cercanas a las tuberías.

3.2.1.5. Válvula de aire

La mejor alternativa para aumentar la vida útil de cualquier tubería es invertir en dispositivos que mediante su uso reducen de manera significativa daños. En este caso, el oxígeno al estar en contacto con el agua corroe y crea oxidación; las tuberías por fuera se pueden proteger, e incluso en su parte interna también llevan protección. Sin embargo, al haber oxígeno se corre el riesgo de aumento de daños en la tubería, por lo que esta válvula, al haber un vacío, producido por la ausencia de aire, seguido de entrada de la ventanilla de la válvula unidireccional se abre para liberar el aire y no permitir que ingrese nuevamente al sistema.

3.2.1.6. Válvula de golpe de ariete

El golpe de ariete es el fenómeno natural crítico que se tiene que reducir en todo sistema de tuberías, ya que no solo crea una corrosión por cavitación, sino que genera contrapresiones elevadas capaces de hacer estallar tuberías, y que se traslada a lo largo de la tubería. Se incrementa cuando el flujo pasa a través de codos de diferentes ángulos donde el flujo cambia de dirección, es por ello que esta válvula es indispensable.

Esta válvula se instala en tramos largos, donde se encuentren muchos codos que cambien bruscamente la dirección del caudal. Mediante un sensor

que funciona por densidad, al determinar un caudal de agua con burbujas de aire y turbulencia, atrapa el aire y deja pasar únicamente el flujo de agua, reduciendo la velocidad y la presión.

Con este dispositivo se reduce significativamente la cavitación, la cual es un tipo de desgaste producto de la fricción de un caudal de agua con burbujas que chocan con las paredes del canal, desgastando poco a poco el material hasta reducirlo. Es vital para la seguridad industrial, para reducir las contrapresiones que pueden provocar quebraduras en las paredes de la tubería.

3.2.1.7. Medidor de caudal

Se encarga de medir el caudal por hora que circula a través de la tubería, para determinar la presión en las salidas.

Se instalan al inicio y al final de la tubería, para mediante la velocidad del caudal, determinar el cambio de presión y con esto, las pérdidas por fricción; por medio de este se mide la presión, para aumentar y reducir la potencia de la bomba, dependiendo de la aplicación y utilización del caudal.

El mantenimiento de este equipo es sencillo, se limita a la inspección de operación y lubricación de los elementos internos, por lo general rotores que determinan el caudal.

3.3. Personal de la planta

En este proceso se requiere que el personal sea competente en su cargo y que tenga los conocimientos necesarios para mejorar continuamente el proceso; actualmente el personal que se hace cargo del mantenimiento de la planta tiene la experiencia pero no un grado académico, por lo que se necesita supervisar continuamente las labores que realizan.

Lo más importante en este aspecto, es la utilización del personal que ya pertenece al Departamento de Mantenimiento; este personal está presupuestado y cuentan con mucho tiempo de labores, por lo que es un recurso importante que conocen el ambiente de trabajo y cuenta con la experiencia necesaria.

3.3.1. Puestos y funciones

La organización interna de los puestos y funciones determina la operativa a seguir de cada integrante de la planta; los técnicos, supervisores y jefes siguen instrucciones de acuerdo al grado académico y la experiencia adquirida.

Con la necesaria experiencia y conocimiento, se pretende no iniciar o formar un nuevo equipo de trabajo, sino que con los recursos actuales de mano de obra se puedan adecuar las funciones y características de cada técnico, para nuevas actividades que logren mantener de manera constante, un buen manejo de la planta.

3.3.1.1. Jefe de mantenimiento

El perfil que se busca para este puesto se enfoca en administrar, planear, dirigir y controlar el proceso de tratamiento de agua, buscando la manera continua mejorar los procesos y reutilizar el flujo de agua que entrega la planta para diversas aplicaciones.

Se organizan las actividades a realizar, a cargo el jefe de mantenimiento, el cual cuenta con autoridad en la toma de decisiones basado en un análisis previo. Los requisitos que debe llevar el jefe de mantenimiento, son las siguientes:

- Profesional graduado de las carreras de Ingeniería Civil, Mecánica, Mecánica Industrial, o carrera afín.
- Tener conocimientos sobre hidráulica y mantenimiento mecánico industrial.
- Experiencia sobre manejo y control de plantas de tratamiento y de control de calidad.
- Perito en Mantenimiento industrial o carrera afín.
- Proactivo y responsable al momento de tomar una decisión.

Estos serían los requisitos principales que se requerirán para cubrir con las necesidades de la planta y de sus trabajadores; actualmente la universidad imparte una maestría sobre recursos hidráulicos, estudios que también se le exigirían al jefe de mantenimiento, para que con el conocimiento adquirido se logren alcanzar los objetivos a mediano y largo plazo.

Las funciones que realizará el jefe de mantenimiento son:

- Planeación de un programa de mantenimiento de la planta, y para el manejo y reciclaje del agua ya tratada.
- Organizar y programar las actividades de los técnicos con el supervisor, minimizar los costos de operación y maximizar la eficiencia en las diferentes actividades del mantenimiento. Se planea que sea el encargado de organizar capacitaciones constantes a los técnicos, sobre nuevos procesos y un constante control de seguridad industrial.
- Dirigir cambios y mejoras continuas a los procesos ya establecidos y aumentar la vida útil de los componentes de la planta.

3.3.1.2. Supervisor de mantenimiento

El supervisor de mantenimiento es el encargado de velar por los procesos y actividades de los elementos de la planta y de los técnicos, en buenas prácticas de manufactura y seguridad industrial. Es el que reporta directamente al jefe de Mantenimiento de las actividades diarias.

Las características profesionales que tiene que cumplir el supervisor de Mantenimiento para esta función son:

- Estudiante universitario con más de 4 semestres aprobados de la carrera de Ingeniería Civil, Mecánica, Mecánica Industrial o carrera afín.
- Proactivo y dispuesto a trabajar en labores técnicas, enfocadas en la coordinación y supervisión de personal técnico.

- Con capacidad para tomar de decisiones al momento de ocurrir alguna falla en el proceso de tratamiento.
- Competente para manejar grupos de personas y asignar diferentes actividades a cada técnico.

Ya con los requisitos requeridos para el supervisor de Mantenimiento, las funciones generales que tendrá a su cargo el supervisor son:

- Controlar y dirigir las actividades de los técnicos encargados del mantenimiento de la planta.
- Llevar un historial y control de los mantenimientos a cada elemento, basado en las horas de operación, paradar cada elemento de la planta el mantenimiento requerido.
- Asignar a cada técnico sus actividades y seleccionar a los más competentes para las tareas que requieran mayor experiencia y conocimiento.
- Informar constantemente al jefe de Mantenimiento los problemas y fallos de la planta, proponiendo una mejora para estos.
- Velar por que la planta de tratamiento cumpla su operación diaria de manera adecuada, y procurar que el tratamiento de agua cumpla su función lo más eficientemente posible.

3.3.1.3. Técnicos de mantenimiento

El personal operativo de la planta es el encargado principal del mantenimiento, enfocado en trabajos técnicos, por medio de este personal, se logra solucionar cualquier falla de la planta en su operación, se les debe dirigir y controlar de la mejor manera posible para lograr su mejor desempeño.

Para poder llevar a cabo las actividades en este perfil técnico, se requiere que el personal cumpla con lo siguiente:

- Técnicos en mantenimiento industrial, egresados de INTECAP o de algún centro educativo técnico.
- Experiencia no indispensable, pero con actitud de crecimiento personal y capacidad de aprendizaje.
- Enfocar el cumplimiento de objetivos y metas laborales, contando con la disposición de participar en programas de capacitación.

Las funciones a cargo de los técnicos de mantenimiento:

- Llevar a cabo las actividades diarias de todos los elementos que conforman la planta de tratamiento.
- Reportar cualquier anomalía o problemas que afecten el proceso del tratamiento de aguas y de los elementos que la conforman.
- Llevar un control histórico y reportes de mantenimiento.
- Proponer juntamente con el supervisor, mejoras en los procesos de mantenimiento para reducir costos y aumentar la vida útil de los elementos de la planta.

3.4. Seguridad industrial

La seguridad industrial desempeña un papel muy importante, ya que refleja buenas prácticas de manufactura y genera confianza en el personal Mantenimiento.

Trabajar en una planta de tratamiento de aguas residuales, implica un riesgo a la salud de todo el personal que labora dentro de las instalaciones, por estar en un ambiente con agentes contaminante y bacterias, por lo que la seguridad industrial es completamente obligatoria y no se debe ver como un costo, sino como un beneficio y un factor motivante para el personal.

Un técnico debe confrontar con implementos industriales, los cuales no solo dan seguridad al técnico al momento de hacer sus actividades, sino que da una buena impresión de la organización del personal de la planta.

3.4.1. Reducción de riesgos

Debido al contacto con agentes contaminantes y bacterias por medio del contacto físico y olores, la planta de tratamiento debe enfocarse en el mantenimiento de la planta, y en la seguridad industrial del personal interno de la planta y otras personas que por algunos motivos visiten las instalaciones.

Entre los riesgos a reducir mediante el uso de protección industrial se mencionan los siguientes:

- Uso de casco industrial: este implemento protege al técnico de cualquier golpe en la cabeza al momento de estar realizando el mantenimiento, debido a que como se maneja agua con elementos contaminantes, se

corre el riesgo de resbalones y lesiones graves; asimismo el casco proporciona protección contra los rayos del sol, reduciendo el riesgo de insolación.

- Guantes industriales: el uso de guantes reducirá las lesiones en los dedos y manos, producto de la manipulación de herramientas y manejo de materiales, ya que por ser un área con mucha contaminación, un corte conlleva un riesgo muy elevado de contaminación, por lo que la protección mediante guantes es la mejor opción para protección de manos y dedos.
- Uso de zapatos con puntera de acero: el manejo constante de herramienta y materiales, siendo la topografía de la planta de manera empinada, implica la necesidad de usar zapatos adecuados para evitar resbalones y lesiones, protegiendo los pies de golpes y de lesiones producidos por caída de objetos o materiales. Este aspecto es muy importante ya que actualmente el personal lo que utiliza son botas de hule, las cuales tiene una buena tracción pero no protegen al personal de golpes, y no es un zapato adecuado en un proceso industrial con tantos riesgos.
- Gafas transparentes y de sol: el uso de estas gafas, evita que cualquier agente contaminante en el aire produzca una lesión en los ojos, y en época de calor, las gafas para sol protegen la vista de fatiga y hacen más eficiente al técnico.
- Mascarilla: los olores de la planta de tratamiento son altamente contaminantes produciendo náuseas y mareos, si es época de calor donde el aire no circula con tanta facilidad, por ello con una mascarilla se

protege y garantiza que el técnico podrá efectuar sus actividades de manera segura y eficaz, reduciendo significativamente las enfermedades ocupacionales.

- Botiquín de primeros auxilios: este equipo es muy importante tenerlo presente, cuando ocurra un accidente o una lesión, se debe responder lo más pronto posible mientras se comunica el incidente a una entidad de bomberos ya sean municipales o voluntarios. Es importante saber utilizar el botiquín de acuerdo a la gravedad de la lesión o accidente. Mediante una capacitación coordinada, por el jefe o supervisor de Mantenimiento, se debe instruir a los técnicos para anticiparse a cualquier incidente.

Cuando se propone un programa de seguridad industrial de protección del trabajador, se visualiza como un gasto no necesario, sin embargo no se toman en cuenta ciertos aspectos de beneficio para el personal y para el Departamento de Mantenimiento. Al tener ya un programa de mantenimiento se tendrán los beneficios siguientes:

- Reducción de tiempos perdidos en horarios laborales debido a lesiones o suspensiones de personal, causado por accidentes o enfermedades.
- Aumento de la motivación del personal encargado de la planta, ya que verán la implementación de esto, como un beneficio directo al trabajador.
- El nivel de presentación de la planta al público en general, se verá beneficiado significativamente y elevando la importancia de las condiciones laborales.

3.4.2. Señalización

Actualmente la planta cuenta con señalización, pero no es la adecuada ya que no indica rutas de evacuación, ni las áreas delimitadas para poder movilizarse. Tampoco se tiene señalizado e identificado claramente cada elemento de la planta, por lo que esto es necesario para establecer límites de operación e inspección.

Esta actividad debe consistir en pintar de color amarillo las líneas de acceso peatonal, dejando claramente los límites necesarios para observaciones e inspecciones; las señalizaciones de rutas de evacuación serán de color verde dejando claramente la dirección de búsqueda de evacuación.

La señalización e identificación de cada elemento se haría con letras visibles, asignando a cada elemento un número correlativo, para que se pueda ver claramente donde inicia y donde concluye el proceso de tratamiento.

La señalización básica debe abarcar la rotulación de alertas e indicadores de usos de equipo de seguridad, y de las áreas de circulación, por donde se permita el paso sin correr el riesgo de un acto inseguro. (Ver figura 11 y 12).

Figura 12. **Señalización de equipo de protección personal**



Fuente:<http://ingjossiecb.blogspot.com>. Consulta: octubre de 2013.

Figura 13. Señalización de ruta de evacuación



Fuente:<http://www.seimc.org>. Consulta: octubre de 2013.

3.4.3. Vestuario y equipo

El vestuario y el equipo de protección, imprime una mayor seguridad al momento de estar haciendo cualquier actividad, se debe proporcionar a cada técnico un vestuario que lo identifique y sea el adecuado para las condiciones.

El vestuario debe incluir el nombre de cada persona con su código de trabajador, para identificarlos claramente y tener un mejor control de sus actividades.

El equipo a entregar a cada técnico será su vestuario, el cual debe consistir en un pantalón de lona, una camisa para uso industrial con manga larga, un casco, un par de guantes, un par de botas con puntera de acero, un par de gafas transparentes y oscuras; todo esto debe quedar bajo la responsabilidad de cada técnico y cuando algún equipo de seguridad ya no esté en buenas condiciones, se pueda devolver para ser reemplazado.

3.5. Prevención de infecciones corporales

Los técnicos que manejan aguas residuales están expuestos a todos los peligros de las enfermedades de origen hídrico, incluyendo fiebre tifoidea, la paratifoidea, disentería amebiana, ictericia infecciosa y otras infecciones de origen intestinal, de igual manera están expuestos a enfermedades de la piel, por lo que es de vital importancia, la protección industrial y la seguridad industrial, para evitar cualquier riesgo de accidentes o enfermedades.

El manejo del equipo de seguridad y el conocimiento de las condiciones inseguras es la mejor prevención, no para evitarlas sino para anticipar cualquier accidente.

3.5.1. Primeros auxilios

Deberá ser un médico el que se encargue de tratar y curar las heridas, excepto los casos de lesiones leves. El supervisor deberá darle seguimiento a la curación del técnico y procurar verificar el motivo del accidente para llevar un historial para corregir estas fallas. La planta tiene que tener uno o varios

botiquines de primeros auxilios. En su interior de contar con: tela adhesiva, algodón, alcohol, mercurio, cromo o similar, detergentes, desinfectantes, tijeras, pinzas y un repelente contra mosquitos e insectos. Asimismo, el jefe y supervisor de Mantenimiento coordinarán capacitaciones para los técnicos, en el área de primeros auxilios y atención a accidentes o lesiones leves.

3.6. Evaluación de costos

La inversión en un proyecto no lucrativo, por lo general realizado por una institución pública, sin embargo, esto también hace necesario analizar los costos asociados en todos los procesos, y distribuirlos en las diferentes fases del proyecto, desde su planeación y su operación continua.

Por ser un proyecto de carácter social y no lucrativo la autorización de un presupuesto que cubra la propuesta, debe estar en función de indicadores financieros tales como el VPN, la TIR y el beneficio costo, por medio de los cuales se debe determinar la recuperación de la inversión a mediano plazo.

3.6.1. Análisis de costo de la instalación

En lo que respecta a costos de instalación, debe abarcar la cimentación donde se colocará el motor y la turbina para el bombeo del agua ya tratada, luego de esto otros costos fijos como: los salarios de los empleados, la compra del motor de combustión con su caseta y la turbina con sus accesorios y tuberías para entregar el caudal en un lugar a nivel del suelo y preceder a su distribución.

Tabla VI. **Costo de instalación de la propuesta**

Inversión fija	Cantidad	Monto	Total
Cimentación para colocar el motor y la turbina	1	Q 25 000,00	Q 25 000,00
Precio del motor diésel para 70kW	1	Q 250 000,00	Q 250 000,00
Precio de la Turbina 50 kW	1	Q 90 000,00	Q 90 000,00
Accesorios y tuberías para la turbina	1	Q 40 000,00	Q 40 000,00
Salario jefe de Planta	1	Q 10 500,00	Q 10 500,00
Salario supervisor	1	Q 4 500,00	Q 4 500,00
Salario de técnicos	8	Q 2 250,00	Q 18 000,00
Equipo de cómputo		Q 40 000,00	Q 40 000,00
Mobiliario y equipo		Q 30 000,00	Q 30 000,00
Herramientas y equipo de seguridad		Q 30 000,00	Q 30 000,00
Imprevistos		Q 45 000,00	Q 45 000,00
TOTAL			Q 583 000,00

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar ciertos aspectos relacionados a los equipos y la cimentación, la cimentación fue cotizada con material y accesorios de anclaje, los cuales se instalarían en función de la base del motor y la turbina, para que al instalar estos equipos, no se tengan problemas con su fijación, ni con movimientos producidos por las vibraciones. La instalación de los equipos estará a cargo de los técnicos de la planta con la supervisión del jefe y del supervisor.

De acuerdo al análisis de la capacidad de la bomba, se determinó que su potencia tiene que ser de 39 kW, sin embargo, se sobredimensiona esta potencia para compensar aumentos y consumos no esperados, superiores al promedio, se adicionan 10 kW a este equipo, y al motor de combustión se le asigna un sobredimensionamiento para que pueda cumplir la capacidad normal y en cualquier momento pueda compensar cualquier demanda en el caudal de agua.

3.6.2. Análisis de costos de operación

Al igual que en el análisis de costos de instalación, se deben tomar en cuenta los costos de operación, los cuales a diferencia de los costos de instalación, estarán presentes durante la vida útil del proyecto.

Es en esta parte del proyecto, se tiene que asociar un presupuesto de manera anual a la propuesta, para que esta se pueda mantener en operación y se pueda ir mejorando.

A continuación se presentan los costos de operación estimados de manera general que conlleva la implementación de la propuesta:

Tabla VII. **Costos estimados de operación mensuales de la implementación**

Costos de Operación	Costo
Salarios mensuales del personal de la planta	Q 33 000,00
Combustible y lubricantes para funcionamiento del motor y bomba	Q 40 000,00
Gastos de papelería	Q 500,00
Mantenimiento preventivo, cada 250 hrs(Motor)	Q 5 000,00
Mantenimiento preventivo Bomba, cada 250 hrs	Q 3 000,00
Herramientas y equipo de seguridad	Q 3 500,00
Imprevistos	Q 6 000,00
Total	Q 91 000,00

Fuente: elaboración propia.

De igual manera se deben resaltar los costos de operación, el consumo de combustible se mide en función del motor, el cual consumirá 7,6 gal/h, calculando el consumo de 8 horas diarias, por 20 días, tomando como base el precio del mercado del galón de diésel, actualmente a un precio promedio de Q 30,00/gal.

3.6.3. Indicadores de costos de la propuesta

Ya con los gastos de instalación y operación calculados y previstos, se pueden utilizar otras herramientas de análisis para verificar la rentabilidad del proyecto. Estos indicadores son tres: el valor presente neto VPN, la tasa interna de retorno TIR y el beneficio costo B/C; estos permiten verificar y confirmar si el proyecto es factible o no, y si realmente se puede tener una recuperación a mediano o a largo plazo de la inversión.

3.6.3.1. Valor Presente Neto (VPN)

El primer indicador que determina la viabilidad del proyecto es el Valor Presente Neto (VPN), siendo este valor el que indica si es viable el proyecto basado en los costos y beneficios, a una tasa de inversión que garantice la recuperación de lo invertido. Para su cálculo es necesario tener todos los costos asociados, una tasa de interés y el tiempo en el cual se espera recuperar la inversión.

La tasa de interés para este valor, se determina en función del valor que determina el Banco de Guatemala. Tomando en cuenta que se recibe un beneficio directo al recuperar y reutilizar el agua ya tratada, el caudal promedio de 383 m³/h, tomando como base que un tonel de agua tienen un volumen promedio de 1 073 m³, el precio promedio del tonel de agua potable es de Q 7,00; con este dato, se puede indicar que para fines de riego en un día de funcionamiento, la planta entregará 3,064 m³ de agua, y al hacer una regla de tres simple genera un ahorro diario de Q 12 820,00 al reutilizar el agua durante ocho horas, haciendo el cálculo mensual tomando como base 5 días laborados al mes, genera un ahorro promedio de Q 256 400,00 al reutilizar el agua.

De igual manera, para calcular la tasa de interés, la base a utilizar es la del Banco de Guatemala, siendo la actualización más reciente al 28 de octubre de 2013, utilizando un valor del interés del 9,36% siendo este valor, al patrimonio ya existente de la planta de tratamiento, aumentando sus activos.

Para evaluar el VPN, se deben utilizar los valores de los costos iniciales del proyecto y los costos de operación; ambos de manera anual para verificar el valor de salvamento del equipo a instalar:

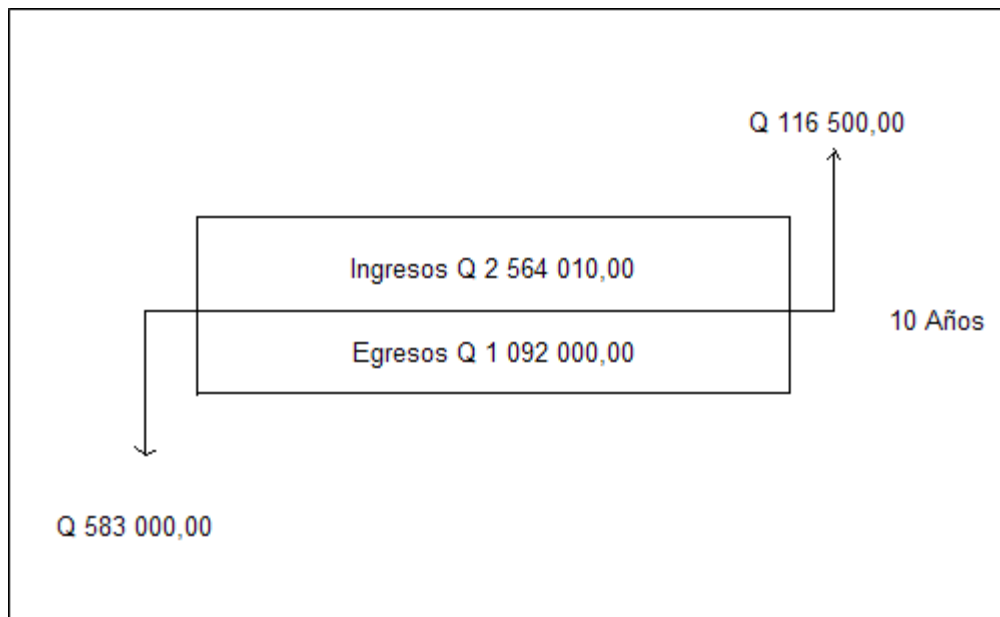
Tabla VIII. **Valores para Valor Presente Neto**

Costo Inicial	Q 583 000,00
Costo anual de operación	Q1 092 000,00
Valor de salvamento	Q 116 600,00
Vida útil (en años)	10
Tasa de Interés	9,36%

Fuente:elaboración propia.

Con estos valores, se construye el diagrama de los flujos de efectivo, asociado al VPN. (Ver figura 14).

Figura 14. **Diagrama de ingreso y egresos**



Fuente:elaboración propia.

Se calcula el VPN de la propuesta, utilizando una hoja de Microsoft Excel:

$$\text{VPN} = (2\,564\,010,00 - 1\,092\,000,00) * (P/F, 9,36\%, 10) - 116\,000,00$$

$$\text{VPN} = 1\,472\,010(6,3172) - 116\,000,00 = 9\,182\,981,572$$

De acuerdo con la normativa del VPN, si este es mayor que cero, el proyecto es completamente factible y se puede concluir que se recupera la inversión inicial en un periodo de 10 años.

Este valor económico, es un ahorro en el lapso de vida del proyecto, ya que en vez de utilizar agua potable de pozos subterráneos, se podrá utilizar el agua tratada para recuperar y ampliar sus aplicaciones.

3.6.3.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

Con el valor del VPN, se procede a calcular la Tasa Interna de Retorno TIR, otro indicador importante para el proyecto que indica a que tasa de interés se puede volver a reinvertir en el proyecto con los recursos asignados, siendo este valor definido por la relación:

$$\text{TIR} = \text{VPN} = 0$$

Con este valor se procede a calcular, gráficamente o por iteraciones, igualando a cero el VPN y dejando la relación en función del interés, utilizando las iteraciones:

$$\text{TIR} = (2\,564\,010,00 - 1\,092\,000,00) * (P/F, i\%, 10) - 116\,000,00 = 0$$

Iterando en el valor $i=12,6\%$ genera un valor de 826,19 y al iterar en el valor $12,7\%$ genera -93,7, al hacer una mejor aproximación se saca el promedio del valor de $12,6\%$ y $12,7\%$, lo cual genera un valor de i de $12,65\%$ y haciendo una mejor aproximación a un valor de i de $12,68\%$, genera un valor TIR de 6,77, generando un valor cercano a cero, se concluye que la TIR estimada para este proyecto es de $12,68\%$, por lo que si se reinvierte en el proyecto, la tasa de inversión debe ser de un $12,68\%$.

3.6.3.3. Beneficio costo

Dentro de los indicadores financieros que van unidos tanto al VPN como a la TIR, está el beneficio costo B/C, el cual determina si el proyecto representa una utilidad, y que porcentaje de utilidad se obtiene por unidad de producción.

Para este proyecto se estima que la utilidad producida durante su vida, determinada en 10 años, será de Q 2 564 010,00. Siendo el costo del proyecto de Q 1 092 000,00 y haciendo la operación del beneficio dividido el costo:

$$B/C = \text{beneficios/costos} = Q 2\ 564\ 010,00 / Q 1\ 092\ 000,00$$

$$B/C = 2,34$$

Como este indicador es mayor que 1, se puede concluir que por cada unidad de inversión, se obtiene un beneficio de 2,34799, lo cual hace rentable la inversión, generando una ganancia que se demuestra en un ahorro y reducción de costos.

4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

4.1. Planta de tratamiento

La implementación de cambios implica tener el apoyo necesario para presentar la propuesta y que esta sea analizada para verificar si es viable la inversión, la Universidad de San Carlos de Guatemala mediante el Consejo Superior Universitario, autoriza los diferentes presupuestos a cada facultad y a cada departamento; ya con la autorización de la Universidad el Departamento de Mantenimiento sería el encargado de supervisar el proyecto apoyado por la Facultad de Ingeniería.

El presupuesto asignado a la Universidad tiene un valor fijo del 1% del presupuesto anual de la nación variando cada año; es aquí donde al presentar la propuesta y demostrar el ahorro que se estima obtener, se tenga una respuesta positiva para proceder con la inversión.

4.1.1. Reubicación del equipo

En la mayoría de los casos, se busca reubicar los equipos o mejorar los ya existentes. La reubicación del equipo aplica a ciertos elementos de la planta de tratamiento, como el área de descarga del agua ya tratada, área que consiste en un canal con vertedero que desemboca en el sumidero natural.

Al finalizar el tratamiento del agua se busca que el caudal se traslade a una bomba, que accionada mediante un motor de combustión y una bomba, la

entregue al nivel del suelo de la entrada de la planta y desde allí se distribuya a las diferentes áreas de aplicación.

Si el caudal no es necesario, se cambia la dirección de entrega de la planta, para que nuevamente se descargue al sumidero natural.

4.1.2. Cambio de equipo antiguo

En la mayoría de los elementos se puede apreciar el deterioro y desgaste que a medida que avanza el tiempo y sin tener un plan de mantenimiento adecuado de los elementos, algunos se encuentran en malas condiciones, siendo los más afectados los sedimentadores, primario y secundario.

Estos elementos tienen una armazón de hierro que consta de bases y barandas de metal, que sirven para inspeccionar los sedimentadores, sin embargo estos se encuentran oxidados y en malas condiciones, cuando el personal hace una inspección se tiene que hacer con mucho cuidado, corriendo el riesgo de una caída dentro del sedimentador o de una lesión grave. Cada sedimentador cuenta con una reja que sirve de colador y estas se encuentran ya deterioradas y oxidadas y por estaren contacto directo con aguas residuales con alto contenido de sales, se encuentran corroídas, por lo que cuando el caudal pasa del primer sedimentador, al segundo, la reja del primer sedimentador no filtra los elementos sólidos que pueden obstruir el flujo de agua.

De igual manera, la planta cuenta con tres pozos alimentadores de aguas residuales, los cuales tienen tapaderas de concreto que en este momento no están en óptimas condiciones, estas deberían ser de metal con bisagras y candado, para que en cualquier momento que se requiera inspeccionar los

pozos, únicamente se requiere quitar el candado, y abrir la puerta para la inspección.

La implementación conllevaría a la creación de barandas y estructuras metálicas para los dos sedimentadores, de igual manera la fabricación de tres tapaderas metálicas, para ser instaladas en cada pozo. Finalmente, crearlas rejillas para los sedimentadores, llevando un control riguroso de su deterioro constante por estar en contacto directo con el agua residual.

4.1.3. Normalización de procesos de tratamiento

Es de mucha importancia llevar a cabo una estandarización de los procesos del tratamiento, para poder conocer el proceso de tratamiento que realiza esta planta. Esta se pretende llevar a cabo cuando la operación de la planta esté funcionando con la reutilización del agua tratada, para completar el proceso y poder documentarlo para su normalización.

Con la normalización de los procesos, cualquier falla o defecto se puede analizar mucho mejor y lograr una solución óptima y eficiente, se reducirán tiempos perdidos en horarios laborales, para tener un mejor control de todos los procesos.

4.2. Equipo de bombeo

El equipo de bombeo lo constituyen la bomba y el motor de combustión, haciendo posible el giro del impulsor para generar presión hidráulica. La implementación de este equipo, al tener aprobado el proyecto, debe tenerse prevista la ubicación dentro de la planta.

Para instalar este equipo, se debe crear una base de concreto con aisladores de vibración para que cuando el motor esté en funcionamiento, la vibración generada sea absorbida por los vibradores y no reboten directamente contra el suelo. La vibración al ser constante, crea un esfuerzo de fatiga de corte en el concreto que con el tiempo lo deteriora por completo.

El montaje del motor con la bomba se hace con anclajes a base de tuerca y tornillo, para poder sujetar todo elemento mecánico; el anclaje se debe hacer con tornillos y tuercas para que el motor descansa primero en las bases de antivibración y luego se sujeten mediante las tuercas y de ser necesario remover o trasladar el motor, se pueda hacer fácilmente.

Para la protección de estos elementos de la intemperie, polvo, agua y sol, luego de ya instalado el equipo, se debe haber una caseta protectora para proteger estos elementos y tener un fácil acceso para las inspecciones.

4.2.1. Reubicación del equipo

Inicialmente el equipo de bombeo debe estar ubicado en el área de entrega de la planta del agua ya tratada, sin embargo esto no es suficiente para trasladar el caudal, ya que el traslado dependerá del lugar de la aplicación de entrega.

En este caso no es una reubicación total del equipo de bombeo, sino de las tuberías para entregar el caudal; el resto del equipo se mantendrá en su ubicación actual, si a mediano plazo si fuera necesario hacer una reubicación se procederá sin dificultad.

4.2.2. Estandarización del proceso de mantenimiento

Mediante las funciones de cada uno de los trabajadores de la planta y de la estandarización del proceso de tratamiento, se puede generar la normalización de las actividades de mantenimiento, y con ello crear un autocontrol de los técnicos, para que estos sepan cuál es su rutina diaria de operación y esto facilite y aumente la eficiencia de la operación.

La estandarización se estará llevando a cabo con el apoyo del personal técnico, el cual con la experiencia adquirida podrá sugerir las actividades y con esto, evaluarlas y mejorarlas enfocándose principalmente en una mejora continua de los procesos.

Con diagramas de procesos se puede tener una mejor proporción del tiempo que implica cada actividad y lo más importante, determinar el cuello de botella y calcular eficiencias y así continuar mejorando el proceso.

4.3. Indicadores

Entre los indicadores que se toman en cuenta para calcular la eficiencia de la planta son varios, entre los cuales los más importantes son: la cantidad de bacterias presentes al inicio y al final del tratamiento; y al final del mismo; la acidez y alcalinidad del agua al inicio y al final del tratamiento; estos dos indicadores se comparan con los parámetros ya establecidos para medir la calidad de agua no potable ya tratada y si no cumple con el rango de aceptación, verificar el proceso y corregir el fallo.

Tabla IX. **Indicadores para análisis de muestras de agua tratada**

Indicadores para medir la calidad de agua tratada	Dimensional
Alcalinidad	pH
Sólidos sedimentables	
Sólidos en suspensión	
Coliformes	NPM/100 cm ³
DBO5 (Demanda biológica de oxígeno)	mg/l
DQO(Demanda química de oxígeno)	mg/l
OD(Oxígeno disuelto)	mg/l

Fuente: elaboración propia.

4.3.1. Formato de mediciones

El supervisor de la planta debe hacer los formatos de medición de variables, para que mediante la toma de muestras y el análisis en el Laboratorio de la ERIS, lograr determinar la función real del tratamiento. Con estos formatos se llevarían historiales de los procesos y se podría verificar si las mejoras que se hacen a la planta y a los procedimientos están cumpliendo su objetivo.

Tabla X. **Formato de medición de variables**

FORMATO PARA LA TOMA DE MUESTRAS					
Nombre:					
Fecha:					
Hora:					
Punto de muestreo:					
Hora	Muestra	Hora	Muestra	Hora	Muestra
Temperatura		Temperatura		Temperatura	
pH		pH		pH	
Sólidos sedimentables		Sólidos sedimentables		Sólidos sedimentables	
Sólidos en suspensión		Sólidos en suspensión		Sólidos en suspensión	
DBO5(mg/l)		DBO5(mg/l)		DBO5(mg/l)	
DQO(mg/l)		DQO(mg/l)		DQO(mg/l)	
OD(mg/l)		OD(mg/l)		OD(mg/l)	
Coliformes totales (NMP/100 cm ³)		Coliformes totales (NMP/100 cm ³)		Coliformes totales (NMP/100 cm ³)	
Coliformes Fecales (NPM7100cm ³)		Coliformes Fecales (NPM7100cm ³)		Coliformes Fecales (NPM7100cm ³)	
Comentarios y observaciones					

Fuente: elaboración propia.

4.3.2. **Controles estadísticos**

Los controles estadísticos, se estarán basando en el gráfico de comparaciones de pH, el cual es un indicador de alcalinidad o acidez, el índice de pH para procesos aerobios debe estar entre 6,50 y 8, con este indicador y con la toma de muestras se logra llevar un control para darle el seguimiento histórico a este parámetro. Con datos se puede hacer un modelo matemático sin necesidad de llevar las muestras al laboratorio; con los datos y el modelo

matemático, se puede dar una respuesta inmediata de cómo está el proceso, en relación a la alcalinidad.

Con un gráfico indicando los valores promedios en función del tiempo se pueden hacer proyecciones a futuro con un acierto considerable, sin necesidad de tomar las muestras físicamente.

4.3.2.1. Selección de muestra

La selección de las muestras de agua, tanto en la entrada de la planta, se propone que se hagan dos veces al día, una por la mañana y la otra por la tarde, para verificar en qué condiciones la planta ofrece una mejor calidad de agua ya tratada.

4.3.2.2. Controles estadísticos

Con la recopilación, se pueden empezar a realizar análisis estadísticos de todas las operativas llevadas a cabo en la planta. Se podrían crear gráficos para determinar la eficiencia de cada elemento y con esto identificar muchas fallas y problemas que puedan mejorarse continuamente.

A medida de se tengan mayores datos recopilados se amplía la identificación de problemas del proceso y con esto, se pueden identificar los más recurrentes y aplicar una solución que los reduzca e incluso los elimine.

4.4. Capacitación

Al no estar estandarizados los procesos, es necesario instruir al personal a cargo, para que no solamente al inicio se le dé importancia a los cambios, sino que estos se vuelvan una rutina de trabajo de Mantenimiento de manera

adecuada y sobre todo resguarde la seguridad, industrial, si llegara a surgir un accidente, se pueda responder de la mejor manera.

La capacitación debe estar a cargo del supervisor de mantenimiento con la tutoría del jefe de Mantenimiento; estas capacitaciones van enfocadas a conocer los procesos de tratamiento de aguas residuales, su control y manejo y la importancia de la seguridad industrial.

Se deben coordinar capacitaciones por medio del INTECAP, con temas relacionados a tratamientos de aguas residuales y de mantenimiento de equipo y de crecimiento laboral.

4.4.1. Organización del personal

Todo el personal de la planta debe conocer cuál es la función que tiene que desempeñar dentro de la planta, es por eso que las instrucciones también van enfocadas a determinar las operaciones técnicas y administrativas que el personal tiene que llevar a cabo durante su horario de labores.

Conociendo cada persona que labora en la planta el rol que le corresponde, se procederá a delegar los niveles de toma de decisiones, las cuales determinan el poder que cada persona tiene para tomar acciones enfocadas al funcionamiento y control de la planta.

Se pueden organizar los programas de capacitación por grupos, por lo menos una vez al mes y cuando se capacite a un grupo, el otro grupo debe estar laborando normalmente sin interrumpir las rutinas de mantenimiento.

4.4.2. Rutinas de mantenimiento

Las actividades de mantenimiento y proceso de tratamiento deben ser común y normal para el técnico, supervisor y jefe de mantenimiento, y con esto reducir la curva de aprendizaje y lograr utilizar eficientemente los recursos de mano de obra y equipos.

Las rutinas de mantenimiento traen una gran ventaja, ya que cuando se nota algo que se sale de lo normal, fácilmente se puede identificar y solucionar, al observar algún defecto en los procesos de tratamiento, se debe reportar al supervisor, si el técnico no tiene la capacidad de solucionarlo.

4.4.3. Conocimiento de normativos

Además de capacitar al personal en mantenimiento industrial y procesos de tratamiento de aguas residuales, es muy importante hacerle saber las reglas y normativas que deben cumplir dentro del trabajo, para que mediante la práctica de buenas costumbres y formación de valores, se dignifique a cada técnico en primer lugar como persona y luego como empleado.

Este aspecto es muy importante de aplicar, ya que el trabajador al sentirse importante y sentir que se le valora rinde mucho más, independientemente del área en que se encuentre. El cumplimiento de los normativos de conducta se pueden direccionar los malos hábitos del técnico. Constantemente se le debe dar la importancia necesaria al cumplimiento, no solamente de metas laborales, sino también personales en relación a conducta y relación laboral.

4.4.4. Retroalimentación

Para que la capacitación en cualquier aspecto genere los resultados esperados, es necesaria la retroalimentación y evaluación constante, esto se logra mediante el seguimiento del adiestramiento y capacitación. Las capacitaciones logran su objetivo cuando participan todos los técnicos, el supervisor y jefe de mantenimiento, llevando a la práctica los conocimientos adquiridos.

Para conseguir esto se debe incentivar y formar valores en el personal de la planta, resaltando aspectos importantes como lo son:

- El trabajo en equipo, del cual dependen los logros de las metas, mediante el esfuerzo individual y colectivo.
- Responsabilidad, procurando hacer que cada empleado logre hacer su trabajo sin necesidad de tener una supervisión constante.
- Mejora continua, verificando y supervisando el trabajo y generando motivación más que todo a los técnicos, para lograr una mejora en todos los procesos, dando como resultado una mayor eficiencia reduciendo el tiempo de ejecución de los trabajos.

4.4.5. Autocontrol del personal

Quizá esta sea una de las tareas más difíciles de llevar a cabo cuando se trata de la supervisión y control de personal; independientemente del área de administración, el control sobre el personal requiere de mucha destreza y experiencia para generar un buen ambiente laboral, ya que los trabajadores tienden a trabajar únicamente cuando están siendo supervisados. La única manera de reducir este comportamiento es generando un autocontrol de parte

de cada técnico, lo cual se logra asignándole responsabilidades unidas al poder de tomar decisiones con respecto a su trabajo.

La motivación constante del personal de la planta, y la verificación del autocontrol de parte del técnico hacia su tarea diaria, sin tener que esperar que otros tomen decisiones cuando este tenga la oportunidad de hacerlo; es un factor motivacional muy importante, ya que logra que el técnico tome la iniciativa al momento de tener una dificultad al hacer algún trabajo que antes no había realizado.

Ejercer el autocontrol por parte del personal no solamente lo mantendrá motivado, sino que también ayudará al proyecto, las actividades serán delegadas al técnico y este con base en sus conocimientos y experiencias, efectuará el trabajo lo más eficientemente posible.

4.5. Cronograma de actividades

La planificación y organización del proceso, se debe hacer en función de los procesos y del tiempo, en sí esta es la parte de mayor relevancia, ya que por este medio, se orientan todos los esfuerzos en busca del fin principal, que es la realización física de las ideas propuestas.

Luego de la parte administrativa se ejecutan las actividades operativas, esta parte se enfoca en la modificación de la construcción de los sedimentadores, aumentando su altura para tener mayor capacidad y por lo tanto mayor caudal a sedimentar; luego, se llevará a cabo la cimentación y el montaje del equipo de bombeo con sus accesorios y tuberías, con el fin de bombear el agua ya tratada y entregarla para diferentes aplicaciones.

Esto se complementa con el adiestramiento y capacitación del personal de la planta, en seguridad industrial y los procesos que se hacen en la planta de tratamiento.

El cronograma muestra las actividades a realizarse, generando una fecha aproximada de inicio y de fin, que en su momento puede variar, en función del interés pero sobre, del presupuesto con que se cuente. (Ver figura 15).

4.6. Costo de implementación

Los costos de operación y funcionamiento de los cambios y mejoras se calcularon anteriormente. Basado en el análisis de costos de instalación y de operación, se puede determinar un costo aproximado de Q 91 000,00 al mes, los cuales contemplan salarios, imprevistos, combustible y mantenimientos preventivos de los equipos. Este valor se toma de referencia en los cálculos hechos en el cuadro número 5 del capítulo tres.

4.7. Análisis financiero

El presupuesto asignado al proyecto, debe de ir acompañado de análisis económicos que sirvan de indicadores para lograr visualizar en el presente, el óptimo aprovechamiento de los recursos económicos, y lograr hacer una proyección futura que se acople de la mejor manera a los costos reales de operación y mantenimiento. La desventaja es que no se tiene un historial que sirva de base para lograr una proyección futura, por lo que al inicio se debe buscar mediante una buena supervisión, como aprovechar los recursos al máximo y registrar datos para lograr una mejor proyección.

El análisis financiero se ha analizado en el capítulo tres, específicamente con los cálculos del VPN, TIR y B/C en función de los costos de implementación estimados para este proyecto.

4.7.1. Presupuestos anuales

El presupuesto que se le asigna al proyecto depende en gran medida del Departamento de Mantenimiento de la Universidad, ya que es este quien debe absorber los costos relacionados al proceso del tratamiento.

Anualmente la Universidad recibe el 5% del total del presupuesto nacional, el cual dependiendo de las necesidades y proyecciones se distribuye en los distintos centros universitarios, en función del aumento de personal y de proyectos a realizar.

En el 2013, el presupuesto asignado a la Universidad fue reducido a Q 1 356 000 000,00, siendo la proyección de Q 1 685 000,00 de acuerdo con fuentes periodísticas (Diario de Centroamérica, martes 12 de febrero de 2013), esto hace que el presupuesto asignado para proyectos internos se vean seriamente limitado, sin embargo la propuesta está enfocada a que se tome en cuenta basado en los resultados de ahorro y de conservación del medio ambiente.

De este presupuesto, el Departamento de Mantenimiento recibe una parte fija que ha sido manejada durante ya varios años, sin generar un aumento de inversión para ampliaciones o mejoras, asignando cada año los mismos presupuestos para este departamento.

4.7.2. Aumento del presupuesto

A medida que el tiempo transcurre, los recursos tienden a la alza de precios. Debido a que la planta funciona con equipos mecánicos, se deben verificar los costos de mantenimiento, tanto preventivos como correctivos, para establecer un porcentaje de aumento para el presupuesto, para lograr compensar cualquier aumento en los suministros y materiales.

Como se mencionó anteriormente, como el proyecto es nuevo, por lo que no se tienen historiales que puedan servir como base para generar proyecciones, sin embargo, al finalizar el periodo anual de operación del

proyecto, se pueden determinar los procesos que más inversión han absorbido y basado en ello, verificar si el presupuesto inicial cumplió o no con lo esperado, si en su momento el presupuesto no alcanza, se deben analizar nuevamente los procesos y determinar cómo reducir los costos sin que esto genere una mala operativa, del tratamiento de aguas y al mantenimiento del equipo.

La única forma de justificar un aumento en el presupuesto para realizar proyectos, es la demostración basada en estudios de ingeniería, que los proyectos tienen una rentabilidad que se refleja como un ahorro y como una muestra de compromiso social, si se trata de un proyecto que beneficie al medio ambiente.

Los cálculos hechos en el capítulo tres del VPN, TIR y B/C demuestran la rentabilidad del proyecto, basado en datos empíricos que a medida que se ejecute el proyecto, pueden pasar de datos estimados a un dato real y con esto hacer que las solicitudes de aumento de presupuesto, tengan una justificación que se pueda demostrar económicamente.

4.7.3. Rentabilidad de la inversión

La inversión que se le da al proyecto, debe ser reflejada con una rentabilidad, enfocada en aprovechar el agua ya tratada con fines de riego y reutilización en servicios sanitarios u otras aplicaciones; para verificar la rentabilidad de la inversión, el mejor indicador es el beneficio costo, el cual tiene la ventaja de no depender de datos históricos, sino que media vez se tenga un gasto y un beneficio, se puede establecer si el gasto es superior al beneficio o viceversa.

Contando con más datos históricos, se puede ir mejorando este indicador, y a su vez, lograr una proyección económica mucho más eficiente y con ello dar un porcentaje de aumento anual al presupuesto, que garantice la operación de la planta de tratamiento en condiciones aceptables. En cierta medida, la ventaja que se tiene con el presupuesto que se le asigna a la Universidad, es que este es en función del presupuesto nacional, el cual cada cuatro años tienden a incrementarse, y aunque el 5 % del total de ese presupuesto se mantenga constante, su valor cada cuatro años se incrementa.

La rentabilidad de este proyecto se establece mediante el cálculo del Beneficio Costo, el cual fue planteado en el capítulo tres, siendo su valor estimado de 2,34, lo cual establece una buena rentabilidad de la inversión.

5. MEDIO AMBIENTE

5.1. Inicios de los Estudios de Impacto Ambiental

Los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), surgen de la ley de las políticas de los Estados Unidos (NEPA), han hecho que más de 100 países adopten la legislación de los EIA enfocados en la conservación del medio ambiente. Al generar un proyecto industrial ya sea de carácter lucrativo o no, la NEPA exige que el EIA se considere en la planificación de proyectos. Los EIA deben describir las consecuencias ambientales de las principales actuaciones que afecten significativamente a la calidad del medio ambiente humano. La NEPA entró en vigor el 1 de enero de 1969; hasta 1998 se habían realizado aproximadamente 21 000 estudios y entre 30 000 y 50 000 EIA. Luego de esto, España en 1986, creó a Ley de Evaluación de Impacto Ambiental y su reglamento, el cual obliga a formular la Declaración de Impacto Ambiental (DIA).

Entre los países que adoptaron esta legislación están: Canadá, Australia y Nueva Zelanda, aproximadamente entre 1973 y 1974. En la década de 1970, países industrializados como Francia, Holanda, Alemania adoptaron estas normas para los EIA.

En Guatemala se iniciaron los estudios de evaluación de impacto ambiental a raíz de la creación de la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente Decreto 68-86.

Las leyes que amparan los EIA en Guatemala están regidos por el Ministerio de Ambiente y Recursos Renovables (MARN), de los cuales se puede establecer las políticas principales:

- Política de Conservación, protección y mejoramiento del ambiente y los recursos naturales. Esta política está contemplada en el Acuerdo Gubernativo No. 63-2007 de la Constitución de la República de Guatemala, en la cual se establece los parámetros que regulan los EIA en Guatemala.
- Política del Marco de Gestión Ambiental. Esta ley esta regulada y amparada en la Constitución de la República de Guatemala, siendo los artículos en mención: el Artículo 64 Patrimonio Cultural, el Artículo 97 Medio ambiente y Equilibrio ecológico; Artículo 118. Principios del Régimen económico y social; Artículo 119. Obligaciones del Estado, inciso a) Promover el desarrollo económico de la nación, b) Promover en forma sistemática la descentralización económica administrativa, c) Adoptar las medidas necesarias para la conservación de los recursos naturales.
- De igual manera, los Artículos 68-86 de la Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente del Congreso de la República y sus reformas, se enfocan en velar por el mantenimiento del equilibrio ecológico y la calidad del medio ambiente para mejorar la vida de los habitantes del país.
- Política de Desechos sólidos. Esta política esta normada en el Acuerdo Gubernativo No.111-2005 por medio del cual, se establece las condiciones y políticas de acción dirigidas para el manejo de desechos sólidos.

- Política de Educación Ambiental. Esta política se basa en la Ley de Fomento a la Difusión de la Conciencia Ambiental, la cual consta de 11 artículos y en el Decreto No. 116-96, donde a nivel general, se enfoca la formación e información sobre la conservación de los recursos naturales.

5.2. Entes involucrados

Entre los entes que utilizan el EIA para la evaluación de proyectos, se tiene el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN), el cual cuenta con asesores ambientales legales, encargados de la revisión, inspección y aprobación de los EIA.

El MARN es el encargado de la aprobación de los EIA, elaborados por las comunidades, empresarios y consultores que estén directa o indirectamente relacionados con la protección del medio ambiente y aprobación de proyectos.

5.2.1. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)

EIMARN es ente máximo encargado de la aprobación de EIA en Guatemala, regulando las leyes encargadas de la protección del medio ambiente en función de la actividad industrial que se realice. De igual manera, cuando se requiere hacer una evaluación, el MARN hace pública la licitación para que por medio del portal Guatecompras, las empresas o consultores oferten los EIA para algún proyecto específico.

En Guatemala, la legislación en relación al medio ambiente en comparación de otros países está muy atrasada, ya que por ser un país con recursos naturales, la inversión extranjera se interesa por explotar los recursos,

y es por ello que la regulación en temas ambientales es muy débil, con el ánimo de generar empleo y aprovechar la inversión extranjera.

5.2.2. Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA)

Al promulgarse la Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente (Decreto 68-86 del Congreso de la República) quedó establecido el marco general para la protección ambiental. Al crearse la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA), cuya función primordial es asesorar y coordinar todas las acciones tendientes a la formulación de la política nacional ambiental, y propiciar su aplicación a través de los distintos ministerios del Estado, dependencias autónomas, semiautónomas y descentralizadas gubernamentales, así como municipales y del sector privado del país (Art.20 Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente).

Es importante resaltar que, aunque CONAMA es la entidad rectora del ambiente en Guatemala, la legislación ambiental, dispersa en el ordenamiento jurídico, le dá la competencia, dentro de la gestión ambiental, a otras entidades gubernamentales.

Esta entidad a diferencia del MARN, se encarga de crear y de regular las leyes y reglamentos relacionados al medio ambiente, ya que el MARN se encarga de aplicarlos y aprobarlos. CONAMA tiene la función de velar porque la planificación de los proyectos industriales enfocados en el desarrollo nacional, sea compatible con la necesidad de proteger, conservar y mejorar el medio ambiente.

5.2.3. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARN)

La SEMARN se creó con el fin de ser el organismo rector de la gestión de medio ambiente, los ecosistemas y de los recursos naturales, para cumplir con las atribuciones que de conformidad con la legislación ambiental en general, corresponde al Estado, para alcanzar el desarrollo sostenible.

Las funciones principales que le corresponde a la SEMARN son:

- Administrar los recursos de dominio del Estado que se le hayan asignado.
- Velar por la preservación, protección y uso sostenible del medio ambiente y recursos naturales.
- Promover y garantizar la conservación y el uso sostenible de los recursos forestales y vigilar la aplicación de la política forestal de Estado, y las normas que regulan su aprovechamiento.

5.3. Evaluación de la planta

La planta de tratamiento, contamina hasta cierta medida, el ambiente donde se lleva a cabo el proceso, ya que cuando los sedimentadores están llenos de sedimentos, estos son trasladados mediante un drenado al patio de lodos, donde se dejan secar al aire libre para su utilización en agricultura como abono natural. Este proceso contamina el aire, ya que estos lodos llevan materia orgánica de desechos de drenajes; los olores fétidos que emanan de los diferentes elementos de la planta, por estar expuestos al medio ambiente también producen contaminación.

La eliminación del impacto al ambiente no se logra en su totalidad, pero se mitiga en un porcentaje aceptable, para mantener en un grado aceptable la contaminación que se genera. La ubicación de la planta favorece mucho la reducción del impacto ambiental, ya que se encuentra aislada de los edificios estudiantiles y administrativos.

5.3.1. Impacto significativo

El impacto significativo es aquel que altera las propiedades de un recurso natural, provocando un cambio relativo en el área y la perspectiva humana en el cambio; la planta de tratamiento no genera un impacto de alteración al área geográfica, ni a la perspectiva, ya que está ubicada en una área topográfica por debajo del nivel del suelo, en una ladera rodeada por vegetación en sus dos extremos y colindando con un barranco. A pesar de esto, el impacto ambiental significativo que generó cuando se procedió a su construcción e instalación, fue la erradicación de vegetación en el área total de la planta, este impacto a simple vista no se percibe porque la planta está aproximadamente a 3,5 kilómetros del edificio de ERIS, el cual es el más cercano.

Su ubicación le permitió, no impactar significativamente en el paisaje natural, ya que en sus alrededores la vegetación está presente y por generar un grado de humedad en el suelo, lo hace propicio para que la vegetación crezca.

5.3.2. Impacto primario

El impacto primario, es aquel que sucede en el mismo momento y lugar de la acción. Este impacto se asocia con los trabajos de construcción, operación y mantenimiento de una instalación o actividad, los cuales son plenamente visibles; en la planta de tratamiento en su momento de construcción, se

procedió a trabajar las áreas nivelándolas, realizando trabajos topográficos del terreno, destruyendo toda la vegetación y árboles en el área, lo cual generó impacto ambiental, ya que se destruyó el hábitat de animales y se redujo las áreas verdes, sin que en un futuro esta área se pueda reforestar.

Este impacto ambiental es visible, ya que al ubicarse desde la parte superior del suelo, la entrada de la planta se visualiza el área que ocupa la planta y que está totalmente deforestada por la construcción de estructuras de concreto.

Ahora bien, con la propuesta de instalación de equipo de bombeo, el impacto directo será la generación de humo, por la utilización del motor de combustión interna. Por lo general en estos motores, en el encendido inicial es donde generan la mayor expulsión de humo, sin embargo, por estar en una área de ventilación natural, el humo fácilmente puede ser absorbido por el ambiente, siempre y cuando este no genere una contaminación excesiva.

La reducción y control de la expulsión de humo se logra con un buen mantenimiento al motor y dándole sus servicios preventivos dependiendo de las horas de operación.

5.3.3. Impacto secundario

Este ocurre posteriormente en el lugar de la acción del impacto primario o en un lugar distinto, generando cambios directos o indirectos en la población o ambiente; en este sentido el cambio que generó y sigue generando la planta, es la expulsión de olores fétidos en el ambiente, cuando no se le ha dado a la planta su mantenimiento correcto y periódico, sin embargo en sus alrededores no se encuentran edificios o construcciones estudiantiles a los cuales impacte

directamente, sin embargo el olor se transmite al ambiente, el cual debido a la cantidad de viento, lo absorbe y lo traslada hacia otro lugar.

Con la operación del motor de combustión para generar el bombeo de agua, se genera ruido, el cual sería prácticamente constante; este se logra reducir a niveles aceptables, protegiendo el motor con una caseta termo acústica.

5.3.4. Impacto directo

Este se genera, como un efecto positivo o negativo, producido por el proyecto sobre el medio físico, biológico y humano; el impacto directo que genera la implementación del equipo de bombeo para trasladar el agua tratada a otras áreas de aplicación, produce un cambio repentino en el ambiente, ya que el ruido del motor de combustión y también de la turbina, generan contaminación auditiva tanto para el personal interno que labora en la planta, como también para los animales que tienen su hábitat en los alrededores.

Este ruido genera en cierta medida que las aves se desorienten y ahuyenta a los reptiles, y atrae a insectos por el calor que expulsa el motor de combustión. Este impacto directo no hay forma de mitigarlo, ya que el calor del motor, tiene que ser expulsado al ambiente para mantener la temperatura de operación del motor, sin que este calor se recupere, son el ruido y la vibración los factores directos de contaminación.

5.3.5. Impacto indirecto

Este impacto causa un daño positivo o negativo, el cual es producto de un proyecto; la planta de tratamiento genera un impacto indirecto en el ambiente, ya que cuando se drenan los sedimentadores para sacar el lodo y trasladarlo al patio de secado, el proceso genera una contaminación ambiental de olores fétidos, lo cual genera un aumento de insectos, como moscas y los zancudos, los cuales transmiten enfermedades con sus picaduras, siendo el personal que labora en la planta los afectados directos, e indirectamente los estudiantes o personas que llegan a inspeccionar la planta o a una visita técnica.

La extracción de los lodos depende de la cantidad de sólidos que contenga las aguas negras, ya que estas son las que por medio de la gravedad y la densidad, depositan la materia orgánica en el fondo de los sedimentadores, este impacto al medio ambiente se puede mitigar, con una fumigación manual para ahuyentar a los insectos y evitar que se reproduzcan en el patio de lodos, la fumigación logra en ciertos niveles la reducción de los insectos en este entorno.

5.4. Estudio de Impacto Ambiental

El objetivo de la realización de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA), es proporcionar información veraz y que se pueda demostrar que una actividad agrícola, industrial, comercial con fines o no de lucro, cumple ciertos parámetros técnicos para que se pueda autorizar la construcción, implementación o remodelación, dependiendo de las condiciones de aplicación del proyecto.

Siendo el estudio ya aprobado por el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, la empresa puede iniciar los trabajos correspondientes, sin embargo

en Guatemala no existe una cultura ambiental donde se procure la conservación del medio ambiente, luego de la destrucción que se genera; esto es muy común en actividades como la minería y los procesos de caña de azúcar, el primero destruye cerros y montañas para extraer el mineral de su interior, sin que este daño se puede recuperar, de igual manera los ingenios para su operación utilizan calderas, las cuales funcionan con base en agua, siendo su consumo elevado y constante, y el vapor que emana se traslada el medio ambiente, aparentemente no logra medir su dimensión, pero ya visualizándolo a detalle, se puede concluir que al igual que la minería, los ingenios conllevan a la destrucción del medio ambiente.

El daño al medio ambiente no solo se concentra en estas dos actividades industriales, de hecho toda construcción conlleva un daño directo o indirecto al medio ambiente, y a pesar de que la planta de tratamiento de la Universidad cumpla una función importante para reducir la contaminación, en su proceso de aprovechar los recursos, mantiene un daño permanente y hasta cierto grado tolerable al medio ambiente.

5.4.1. Beneficios

La identificación de los impactos directos e indirectos son los aspectos más importantes de un EIA, ya que con esto se logra proponer y aplicar soluciones a mediano y largo plazo, para la recuperación y preservación del daño al medio ambiente.

Otro beneficio de un EIA es que le da a la empresa u organización una calificación y la visualiza como una empresa responsable y con valores, ya que actualmente las acreditaciones de las normas ISO exigen que se cumplan

parámetros de calidad no solamente en los procesos, sino también en lo relacionado a la conservación del medio ambiente.

En lo que respecta también al cumplimiento de normas y reglamentos municipales, en relación a ubicación, cantidad de ruido, olores y desechos hace que un EIA reduzca costos a futuro, generados por multas o sanciones de parte de las entidades municipales a la empresa, por no cumplir con las normas municipales.

Y quizá lo más importante, la inversión extranjera requiere que las subsidiarias en Guatemala, cumplan con normativos y parámetros para lograr una acreditación internacional, que le permita a la firma de otro país, poder operar en Guatemala. Este tema es muy delicado porque dependiendo de la calidad del EIA se atrae o se desaprovecha la inversión extranjera en el país.

5.4.2. Delimitaciones

Las delimitaciones, que por lo general las establecen el país y las municipalidades departamentales, influyen de manera directa en los EIA, ya que estos varían en función de la ubicación geográfica y de la industria relacionada. Otro aspecto crítico en Guatemala es el beneficio que genera una industria en las comunidades rurales, la cuales por lo general dependen de los recursos naturales para sus actividades diarias, y con la llegada de nuevas industrias que lleguen a afectar estos recursos, se generan problemas sociales en los que un buen estudio de impacto ambiental puede explicar que el daño hasta cierta medida se puede minimizar.

Quizá la mayor delimitación a la cual está sujeta los EIA en Guatemala, incluyendo a la planta de tratamiento, es el factor económico, ya que por la

misma cultura, se ve la conservación del medio ambiente como un gasto, y si se invierte ese valor no se vuelve a recuperar tan fácilmente en términos económicos y se mantiene como un costo de operación.

5.4.3. Costos del estudio

Como todo EIA conlleva lo que son costos en su proceso de elaboración, presentación y aplicación, estos costos se deben balancear para que se logre tener los recursos económicos y físicos para cumplir con los requerimientos. La relación del costo de los EIA está en función del proceso que se está evaluando, y de las áreas que se verán afectadas por algún proyecto.

Para hacer una aproximación del costo que sea rentable de un EIA, se tienen que tomar en cuenta aspectos tales como:

- El tipo de infraestructura que manejará el proyecto y la diversidad de materiales en su proceso de construcción.
- El tiempo que conllevará el estudio de campo.
- La cantidad de procesos industriales, si el proyecto lo amerita.
- El número de personas encargadas de hacer el estudio, o en sí, la institución que lleva el proceso.
- Los procedimientos para la toma de muestras.

Estos factores determinan los costos de los EIA a nivel general, en la mayoría de los casos, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales es el encargado de realizar los EIA, los cuales no se hacen con fines de lucro, sino como un trabajo necesario para aprobar un proyecto en función del daño ambiental que generen sus procesos.

6. SEGUIMIENTO

6.1. Optimización de recursos

Realizar proyectos sociales y con entidades nacionales hace que los recursos asignados tengan limitantes económicas, y es por ello que el seguimiento que se le dá a un proyecto es de vital importancia; La mano de obra juntamente con los materiales deben ser de la mejor calidad y con un costo razonable para el proceso de la planta de tratamiento.

Esta reducción abarca la reutilización de agua no para consumo humano, pero que cumpla con las Normas COGUANOR NGO 29,001 la cual establece los parámetros del agua potable para consumo humano.

Se pretende que la optimización de recursos de mano de obra se enfoque en actividades eficientes, que logren mantener y aumentar la vida útil del proceso de tratamiento, entre las cuales se debe contemplar las actividades que se presentan en el siguiente formato:

Tabla XI. **Formato de rutina de mantenimientos**

Control de rutinas de mantenimiento			
Efectuado por:			
Fecha:			
Actividad	Se realizó	No se realizó	Comentarios
Mantener limpias las estructuras de entrada, interconexión y salida			
Mantener libre de vegetación la superficie del agua			
Verificar coladores en las entradas de los sedimentadores			
Verificar el caudal promedio			
Inspeccionar el color del agua en la entrada y en la salida			
Comparación del olor del agua en la entrada y salida			
Controlarlas alturas de las compuertas			
Limpiarlas compuertas			
Verificar el nivel de lodo en los sedimentadores			
Verificarlos controles de encendido del equipo de bombeo			
Inspeccionar el nivel de combustible que alimenta al motor			
Inspeccionar la caseta de la bomba y de la turbina			
Comentarios finales			

Fuente: elaboración propia.

6.1.1. Reducción de tiempos

A medida que la curva de aprendizaje de los técnicos se reduce, las actividades se vuelven más eficientes, por lo que se tendría más tiempo

disponible para otras actividades necesarias para mantenimientos o procesos de tratamiento.

6.1.2. Vida útil del equipo

Los motores de combustión interna requieren de ciertos mantenimientos básicos preventivos y correctivos que ayudan a incrementar su vida útil, y para prever posibles fallas a pesar de tener un programa de mantenimiento, las piezas mecánicas del motor y bomba, y de cualquier accesorio, tienden a desgastarse y necesita su reemplazo ya sea de parte o de su totalidad.

El horómetro del equipo, el cual indica la horas de operación, es el indicador principal para determinar qué tipo de mantenimiento se le debe realizar al equipo, y por medio de la tabla siguiente se puede establecer esto:

Tabla XII. **Mantenimiento preventivo de un motor diésel en función de las horas de reparación**

Mantenimiento del motor de combustión en función de la horas de operación	
Servicio	Mantenimiento
250 horas	Cambio de aceite de motor y de filtro de aceite.
500 horas	Cambio de aceite de motor y de filtro de aceite y dependiendo de la saturación, cambio del filtro de aire, revisión del refrigerante y de líneas y mangueras de agua.
2000 horas	Cambio de aceite, filtro de combustible, trampa de agua, filtro de aire, asentamiento de válvulas, cambio de refrigerante, calibración de válvulas, cambio de empaques de tapadera de válvulas.

Fuente: elaboración propia.

Dependiendo de la cantidad de horas se realizarían las reparaciones y reemplazos necesarios de componentes y aceites.

Finalizando el mantenimiento, se procedería a realizar un reporte de trabajo para que se tenga un historial de los trabajos realizados. El siguiente formato se llenaría cada vez que se lleve a cabo el servicio:

Tabla XIII. **Formato de control de mantenimiento preventivo del motor diésel**

REPORTES SERVICIOS PREVENTIVOS MOTOR DIESEL				
Preparado por				
Fecha y hora de la inspección:				
Horómetro del equipo:				
	En condición	Reemplazo	Calibración	Comentarios
Aceite de motor				
Filtro de aceite				
Filtro de aire				
Calibración de válvulas				
Engrase del equipo				
Revisión del sistema de enfriamiento				
Mangueras				
Refrigerante				
Fugas de aceite o refrigerante				
Termostato				
Detalles del servicio				
Acción Preventiva o correctiva				
Informe final del servicio				
Firma				
Horómetro final del equipo				

Fuente: elaboración propia.

El equipo encargado de bombear el caudal es la turbina, la cual también maneja los mantenimientos preventivos, en función de las horas trabajadas.

Se aprovecharía de una sola vez, hacer los mantenimientos a los componentes ya que tendrían los mismos horómetros de operación y cuando uno de estos elementos esté inactivo el otro también lo estará.

Las piezas o inspecciones se presentan en la siguiente tabla, indicando en cada cantidad de horas trabajadas, lo que procede:

Tabla XIV. **Servicios en funciones del horómetro para turbina**

Mantenimiento de Turbina en función de las horas de operación	
Servicio	Mantenimiento
250 horas	Cambio de aceite y revisión de álabes; inspección de ruidos
500 horas	Cambio de aceite y engrase general, revisión de bujes y cojinetes
2000 horas	Cambio de aceite y de grasa, cambio de bujes y cojinetes

Fuente: elaboración propia.

En el formato siguiente se establecen los elementos a inspeccionar de la turbina; los datos de las horas para hacer el mantenimiento están en función de lo que indique el manual del fabricante, tanto para el motor como para la turbina.

Tabla XV. **Formato de inspección de mantenimiento a la turbina**

REPORTES SERVICIOS PREVENTIVOS TURBINA				
Preparado por				
Fecha y hora de la inspección:				
Horómetro del equipo:				
	En condición	Reemplazo	Calibración	Comentarios
Aceite				
Filtro de aceite				
Graseras				
Álabes				
Juego axial y radial de ejes				
Bujes y cojinetes				
Housing				
Ruidos y vibraciones				
Fugas de aceite				
Detalles del servicio				
Acción Preventiva o correctiva				
Informe final del servicio				
Firma				
Horómetro final del equipo				

Fuente: elaboración propia.

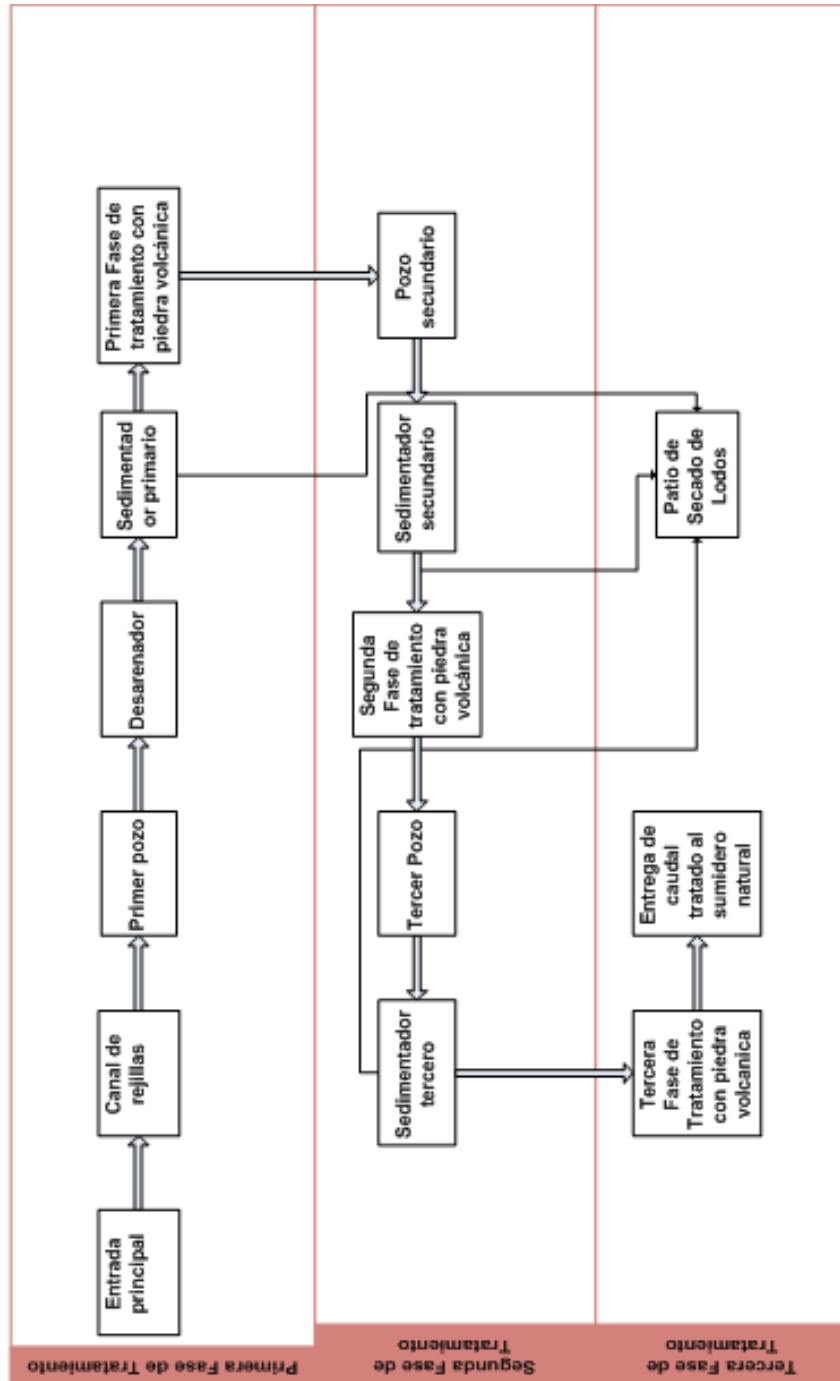
6.1.3. Mejora en el proceso

El proceso de tratamiento se mejoraría con la mejora en los elementos de la planta y con la implementación de equipos mecánicos para bombear el agua ya tratada y con esto, utilizarla para diferentes aplicaciones.

Los procesos actuales únicamente se encargan de mantener en operación la planta, sin que se genere un programa o proceso para darle un seguimiento continuo, y se está desperdiciando el agua tratada.

El siguiente cuadro indica el proceso actual de tratamiento de la planta en sus distintas fases:

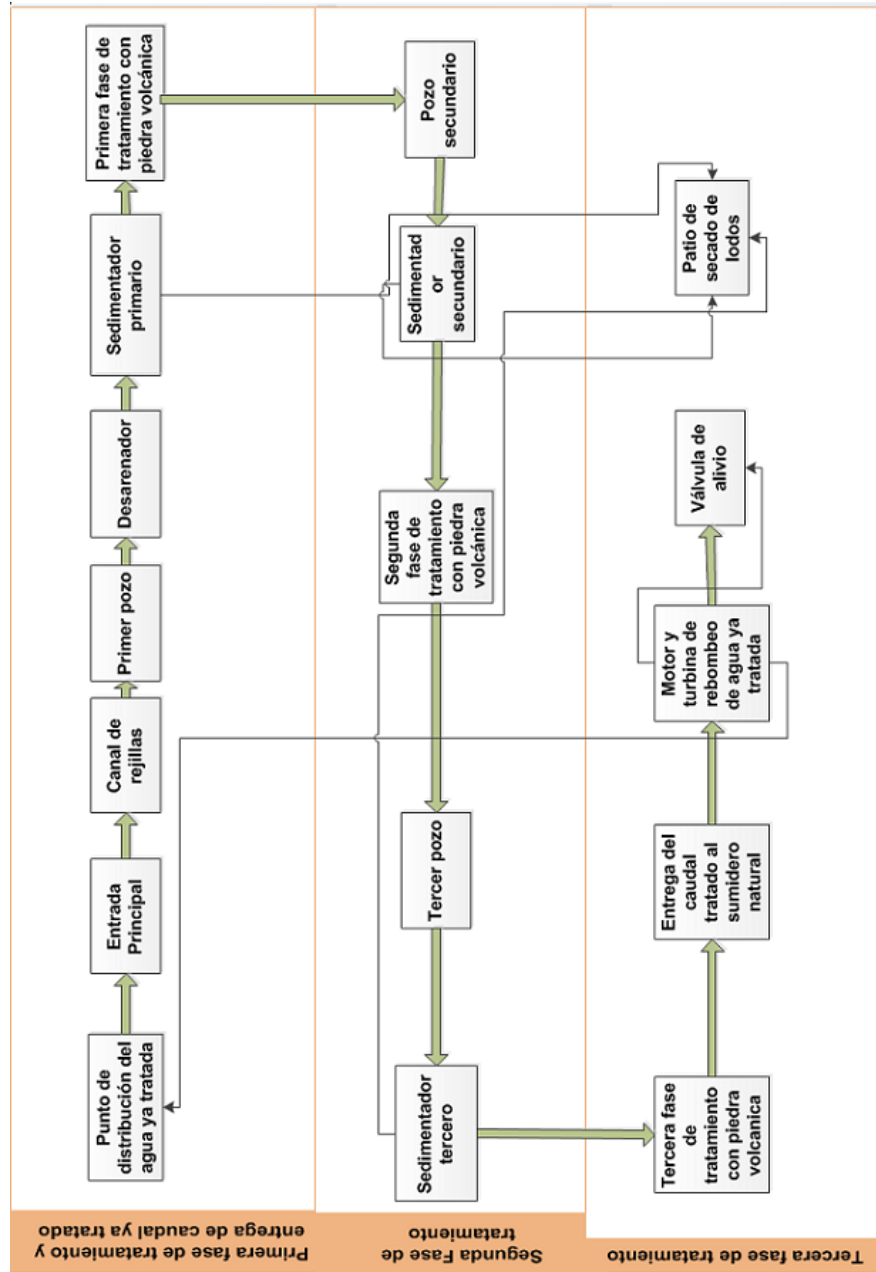
Figura 16. Diagrama del proceso actual de la planta de tratamiento



Fuente: elaboración propia, con Adobe Illustrator.

Contemplada la reutilización, el proceso de tratamiento no cambiaría, más que todo se estaría agregando más procesos enfocados en el rebombeo del agua ya tratada al punto de distribución, el cual estaría ubicado en la entrada de la planta; a la vez se agrega una válvula de alivio para que cuando no se necesite la reutilización del agua esta nuevamente sea trasladada al sumidero natural.

Figura 17. Propuesta del proceso para la planta de tratamiento



Fuente: elaboración propia, con Adobe Illustrator.

6.1.4. Factores a mejorar

Las tecnologías cada día son más modernas y menos destructivas del medio ambiente, y es por ello que como en todo proceso se tiene que estar actualizado y con disposición aceptar cambios constantes, sin que estos repercutan en la función principal del proceso, en este sentido, la Universidad de San Carlos de Guatemala tiene un enorme reto,debiendo aplicar no solamente este tratamiento en el campus central, sino también a nivel general e inclusive a nivel nacional, ya que en muchos países se está manejando cada día más el reciclaje de agua para utilización humana.

Como en la mayoría de proyectos, el factor económico es el decisivo al momento de tomar una decisión, más aun cuando se manejan inversiones millonarias que se tienen que mantener durante la vida del proyecto, es por ello que la inversión y el presupuesto se debe manejar con la mayor responsabilidad y con ello buscar el beneficio principal, que es la conservación del medio ambiente y los recursos naturales.

6.2. Evaluación

La auditoría es la forma para determinar si el proceso de tratamiento sigue cumpliendo su función, la cual es en si lo que interesa, esto se logra con el análisis de muestras de aguas, las cuales se evalúan en el laboratorio de la ERIS, donde se puede determinar mediante un estudio bacteriológico, la cantidad de microbios y microorganismos presentes en el agua, medido en partes por millón; también la asignación del presupuesto y su manejo, esto se logra con las auditorías internas y con el análisis de mantenimiento y de tratamiento, para verificar realmente que el proceso de tratamiento ha mejorado, esto se demuestra con la reducción de tiempos muertos en el

mantenimiento y con una reducción económica ya que el agua tratada, evitaría el uso y consumo de agua de los pozos mecánicos para fines de riego.

Los parámetros para determinar la calidad del agua deben acoplarse a las Normas COGUANOR NGO 29001:99, por medio de los cuales se puede determinar una evaluación del agua ya tratada.

Tabla XVI. **Características físicas para considerar agua potable**

Características	LMA	LMP
Color	5,0 u	35,0 u(1)
Olor	No rechazable	No rechazable
Sabor	No rechazable	No rechazable
Turbiedad	5,0 UNT	15,0 UNT(2)
(1) Unidades de color en la escala de platino-cobalto		
(2) Unidades nefelométrías de turbiedad (UNT), estas siglas deben considerarse en la expresión de los resultados		

Fuente: Normas COGUANOR NGO 29.001.98 septiembre 2003.

La tabla anterior se puede tomar como referencia base para establecer la calidad del agua, aunque no llegará a los parámetros establecidos ya que el agua que trata no proviene directamente de ríos, sino de drenajes, sin embargo como base inicial de comparación, puede utilizarse para tener un valor a comparar mediante los análisis de las muestras de agua, en el laboratorio de ERIS.

De igual manera, la tabla siguiente muestra los valores máximos permisibles en el agua potable para consumo humano, usados como referencia

en los análisis iniciales de la calidad del agua; hay que dejar claro que el agua ya tratada no se utilizará para consumo humano, ya que no cumpliría con los valores que obligatoriamente piden la normas COGUANOR para agua potable, más sin embargo es de mucha importancia esta comparación para mejorar de una u otra manera la calidad de agua que trata la planta.

Tabla XVII. Límites permisibles de sustancias químicas

Características	Límite máximo aceptable	Límite máximo permisible
Cloruro residual libre(1)(2)	0,5 mg/l	1,0 mg/l
Cloruro(CL)	100 mg/l	250 mg/l
Conductividad		< de 1 500 μ S/cm
Dureza total(CaCO ₃)	100 mg/l	500 mg/l
Potencial de hidrogeno(3)	7,0-7,5	6,5-8,5
Solidos totales disueltos	500 mg/l	1 000 mg/l
Sulfatos(SO ₄)	100 mg/l	250 mg/l
Temperatura	15 a 25 Grados Celsius	34 Grados Celsius
Aluminio(Al)	0,050 mg/l	0,1000 mg/l
Calcio(Ca)	75,000 mg/l	150 mg/l
Zinc(Zn)	3 mg/l	70 mg/l
Cobre(Cu)	0,050 mg/l	1,5 mg/l
Magnesio(Mg)	50 mg/l	100 mg/l
<p>(1)El límite máximo aceptable seguro y deseable de cloro residual libre, en los puntos más alejados del sistema de distribución es de 0,5 mg/l, después de por lo menos 30 minutos de contacto a un pH menor de 0,8, con el propósito de reducir en un 99% la concentración de <i>Escherichia Coli</i> y ciertos virus.</p> <p>(2) En aquellas ocasiones en que amenacen o prevalezcan brotes de enfermedades de origen hídrico, el residual de cloro puede mantenerse en un límite máximo permisible de 0,2 mg/L, haciendo caso omiso de los olores y sabores en el agua de consumo. Deben de tomarse medidas similares en los casos de interrupción o bajas en las eficiencias de los tratamientos para potabilizar el agua.</p> <p>(3) En Unidades de pH.</p>		

Fuente: Normas COGUANOR NGO 29.001.98 septiembre de 2003.

6.2.1. Método implementado contra método anterior

La mejor forma de analizar si la muestra actual supera a la anterior, es generando comparaciones que generen resultados positivos, donde se puede determinar que la inversión hecha logró los objetivos y que se logra mantener el nuevo proceso bajo condiciones de mejora continua.

Esta parte abarca las muestras de agua y sus posteriores análisis en el laboratorio. Para llevar a cabo esto se debe tomar muestras inicialmente en los siguientes lugares de la planta.

Tabla XVIII. Lugares para toma de muestra

Ubicación	Volumen de la muestra(ml)
Entrada de la planta	10 ml
Entrada de la Fase I	10 ml
Salida de la Fase I	10 ml
Entrada de la Fase II	10 ml
Salida de la Fase II	10 ml
Entrada de la Fase III	10 ml
Salida de la Fase III	10 ml

Fuente: elaboración propia.

En este caso, el indicador más importante es la calidad del agua, en función de los análisis de laboratorio que se hagan y que se comparen y se logre establecer un valor promedio que indique si se está logrando mantener la calidad del agua.

Para esto también las normas COGUANOR establecen los indicadores a tomar en consideración:

Tabla XIX. **Límites para toma de muestra**

Cuando se examinan porciones de 10 ml	No más del 10 % deben mostrar, en cualquier mes, la presencia del grupo coliforme.
No se permitirá la presencia del grupo coliforme en tres o más porciones de 10 ml de una muestra normal cuando ocurran:	En dos muestras consecutivas.
	En más de una muestra mensual. Cuando se examinan mensualmente menos de 20 muestras.
	En más de 5 % de las muestras cuando se examinan mensualmente más de 20 muestras.

Fuente: Normas COGUANOR NGO 29.001.98, septiembre de 2003.

La falta de datos históricos hace que sea necesario empezar a llevar historiales, y con estos realizar comparaciones tanto de inversiones económicas como de indicadores, es por esto que se indica el formato siguiente, para establecer las muestras de agua, en función de su ubicación:

Tabla XX. **Formato para la toma de muestra**

Nombre del que toma la muestra			
Día			
Fecha			
Hora			
Cantidad de muestras			
Ubicación	Hora inicial de la toma de muestra	Hora final de la toma de muestra	Temperatura del ambiente
Entrada de la planta			
Entrada de la Fase I			
Salida de la Fase I			
Entrada de la Fase II			
Salida de la Fase II			
Entrada de la Fase III			
Salida de la Fase III			
	Tolerable	No tolerable	
Olor de la ubicación			
	Normal	Anormal	
Color de la muestra			
	Diaria	Semanal	Mensual
Frecuencia de las muestras			
Comentarios			

Fuente: elaboración propia.

6.2.1.1. Gráficos estadísticos

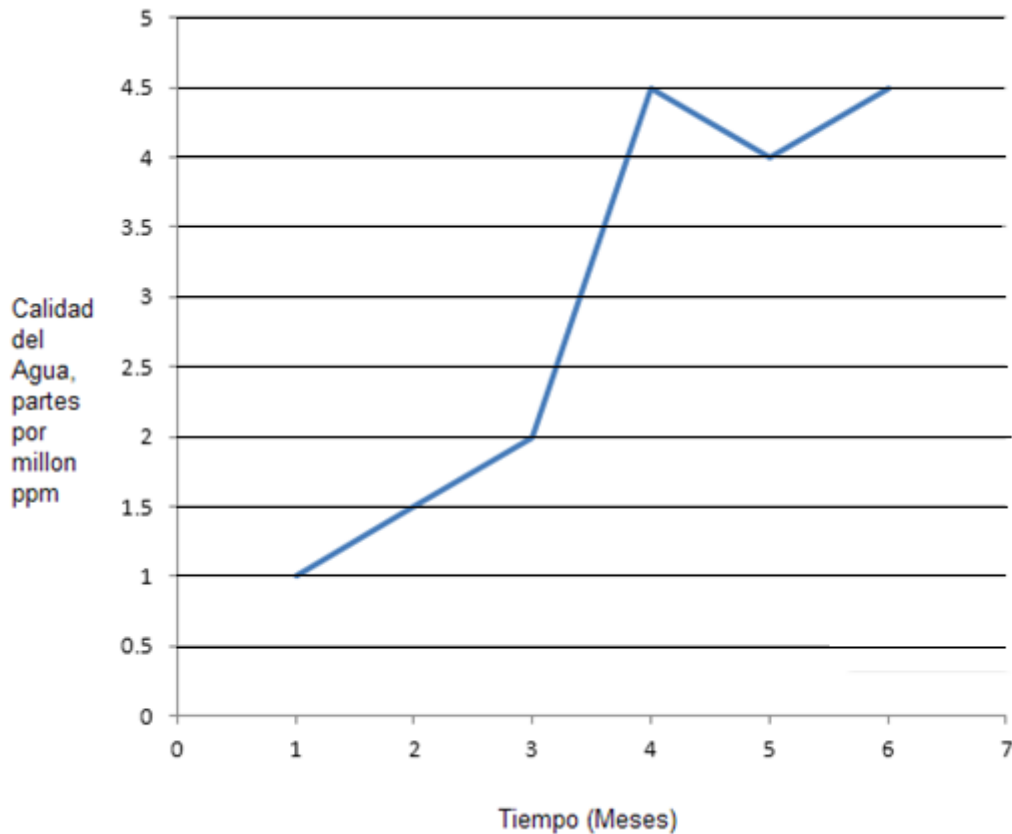
Para verificar el rendimiento de la capacidad de la planta y de su buen funcionamiento no solo se deben expresar en valores numéricos, sino también mediante gráficas, que muestren el crecimiento y avance de los procesos de tratamiento de agua. Estos gráficos se elaboran a través de datos históricos recopilados mensualmente, y que a medida que se tengan más datos en función de las actividades, así serán mucho más exactos los datos de las gráficas.

Esto es importante determinarlo, ya que por medio de una gráfica se puede visualizar en función del tiempo, los avances o los obstáculos que pueden en su momento, afectar el funcionamiento de los equipos.

Los gráficos necesarios para determinar la capacidad de la planta se determinan con la variable a verificar en contra del tiempo, por citar algunos ejemplos, donde ya teniendo un historial de 4 a 6 meses se pueden elaborar para verificar y dar resultados.

A medida que se llenen los formatos con los parámetros de evaluación, se puede elaborar gráficas que demuestren cierta estabilidad de las variables, y con esto llevar un mejor control y determinar factores críticos y darles a la vez, una solución.

Figura 18. **Calidad del agua en función del tiempo**

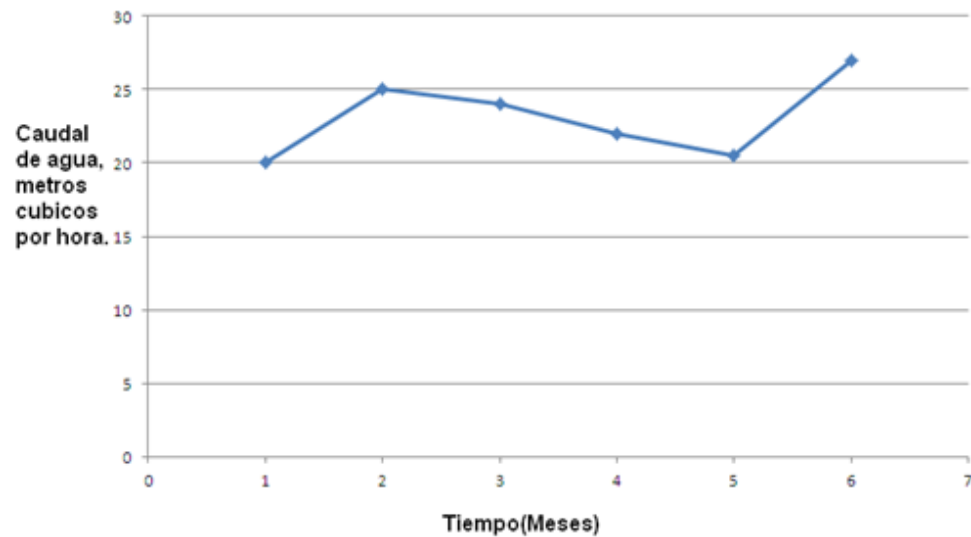


Fuente: elaboración propia, con Microsoft Excel.

Con este gráfico, se puede determinar si la planta está cumpliendo con la calidad de tratamiento de agua, ya que cada vez que se trata el agua, esta debe tener un promedio aceptable, y que no se salga de los parámetros establecidos, y si en su momento no se está logrando la calidad deseada, verificar y corregir la parte del proceso.

Otro gráfico importante es el que determina el caudal que la planta está entregando en función del tiempo, esto permite conocer un caudal promedio y sobre todo verificar y medirlo, si en su momento se puede o no cumplir con alguna demanda de agua ya tratada.

Figura 19. **Caudal de la planta en función del tiempo en meses**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Excel.

A medida que se logra tener más datos de la planta, de igual manera se pueden elaborar otros gráficos estadísticos para poder predecir el comportamiento futuro de la planta, y en su momento, anteponerse a futuros problemas y proponer y tener lista una solución que minimice el fallo en el proceso.

6.2.1.2. Auditorías constantes

Dentro del control interno de la planta, se tiene previsto tener auditorías constantes, no solamente del proceso, sino también de los recursos, para verificar que se están utilizando de la mejor manera posible, y se está aprovechando tanto la mano de obra como los recursos materiales.

Con las auditorías se tiene la ventaja que serían una presión para cumplir con los objetivos, y una forma de confirmar que los procesos y los recursos están siendo utilizados correctamente. Estas auditorías estarán a cargo del jefe del Departamento de Mantenimiento de la Universidad, juntamente con los auditores financieros, para evaluar el proceso.

6.2.1.3. Evaluación de costos

Dentro de la evaluación de los recursos económicos, de igual manera, se puede volver a utilizar el indicador Beneficio costo para verificar el beneficio del proyecto, y determinar si en su momento ha subido o ha bajado y tomar acciones para corregirlo.

Otros indicadores en este caso, serían la devaluación de los equipos mecánicos en función del tiempo y los costos de mantenimiento, ya que en la mayoría de casos, la maquinaria y equipo se deprecia y los repuestos poco a poco se vuelven obsoletos y se requieren una inversión casi constante para mantener el funcionamiento basado en un mantenimiento preventivo, es por ello que se tiene que evaluar y verificar el aumento anual del presupuesto para que se logre mantener la operación del equipo en condiciones óptimas.

Dentro de esta evaluación, quizá el indicador más sencillo de utilizar es el beneficio costo.

Beneficio costo B/C= Beneficios/costos

Con esto se puede de manera mensual establecer cuáles han sido los costos y los beneficios, y con ello verificar si los recursos con los que se cuenta están siendo utilizados de la mejor manera.

6.2.1.3.1. Maximización del presupuesto

El presupuesto que se maneja estaría acorde a los gastos de la planta y para hacerlo más efectivo, sería un presupuesto anual, el cual cada año tiene que incrementarse por el aumento de los gastos de operación, aunque la mano de obra se logre mejorar con el tiempo y dé como resultado una reducción en el tiempo de operación, también el deterioro de las instalaciones y de los equipos, hacen que se tenga que utilizar más recursos económicos en los mantenimientos preventivos y correctivos.

La mejor forma de minimizar el presupuestos, es haciendo una previsión acorde a los datos históricos que se han tenido con anterioridad, sin embargo, como en este caso no se tienen antecedentes, se puede tomar como base el presupuesto basado en los costos de operación y de mantenimiento, y al final del año, dependiendo si se logró cumplir con el objetivo económico, darle una tolerancia de aumento para anticipar cualquier eventualidad que pudiera afectar y dejar sin el presupuesto asignado, la continuidad del proceso de tratamiento.

6.2.1.3.2. Reducción de costos innecesarios

Para lograr una reducción en los costos innecesarios, se debe llevar una supervisión constante de los gastos en recursos humanos y materiales, que conlleven la operación y mantenimiento de la planta, es por ello que a través de la experiencia y de los datos históricos, se evalúan los procesos que están de más y que tienen que evitarse para aprovechar mejor el tiempo de trabajo, asignando las tareas que mejor convengan y que sean vitales en el proceso.

La supervisión abarca el control de todos los recursos del tratamiento y es por ello que el supervisor de mantenimiento, a medida que el proceso se va estandarizando, debe evaluar las actividades vitales en el proceso y enfocarse en hacerlas en un tiempo estándar adecuado y así reducir tiempos muertos, la anticipación de las averías de los equipos mediante un buen mantenimiento preventivo reducen costos constantemente, ya que evitaría asignar tiempo y recursos a procesos que no están estandarizados y que detienen y obstruyen el adecuado proceso de tratamiento de aguas.

6.2.1.3.3. Gráficos financieros

La relación de costo y beneficio es quizá el indicador más importante cuando el proyecto está ya en proceso, en este caso el beneficio tiene que superar al costo para que el proceso sea rentable, aprovechando los recursos en todo sentido.

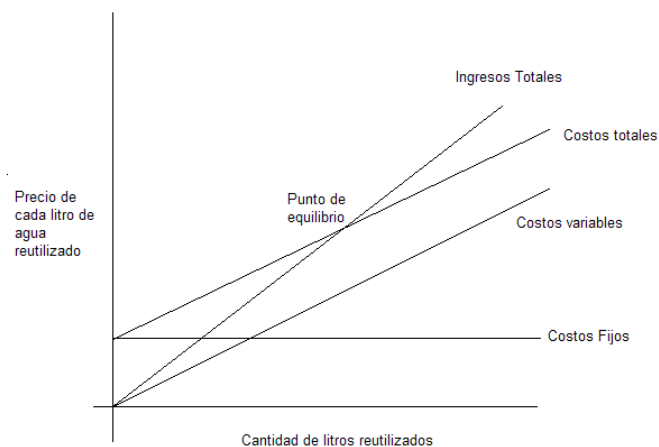
En su momento se pueden utilizar los gráficos ya definidos anteriormente con el cálculo del VPN, para determinar inicialmente que el proyecto es rentable y luego, utilizar constantemente el gráfico beneficio costo para establecer si

realmente el beneficio sobrepasa los gastos y en qué porcentaje lo hace, y si en su momento no se está logrando el beneficio, verificar en los costos cual es el proceso que está generando mayor gasto del presupuesto y enfocarse en reducir al mínimo ese gasto.

Igualmente, cuando se inicia un proceso, no se puede determinar un gráfico ya que no se tienen datos históricos, sin embargo, a medida que el tiempo pasa y el proyecto sigue generando el beneficio esperado, se puede llevar el historial de datos financieros y técnicos que en su momento, se pueden utilizar para llevar a cabo un mejor análisis en relación a costos.

Como en todo proyecto, se busca tener un beneficio que supera los costos invertidos.

Figura 20. **Punto de equilibrio**



Fuente: elaboración propia, con Microsoft Excel.

El gráfico de punto de equilibrio aplica en este caso, ya que por medio de este se puede determinar el punto de equilibrio y determinar desde que cantidad de caudal recuperado se obtiene un beneficio para la planta y con esto, al reutilizar este caudal, maximizar los esfuerzos por sobrepasar ese punto y así generar una ganancia no económica, pero si en sentido de aprovechamientos de recursos.

CONCLUSIONES

1. En este trabajo se logró determinar el estado actual de la planta de tratamiento, la cual no presenta un programa de parte del Departamento de Mantenimiento para darle soporte y conservación. Las únicas actividades que se realizan son la limpieza del área y la jardinería de las áreas verdes. También se verificó que no se tiene proyectado a mediano plazo, la reutilización del agua tratada, la cual se entrega al sumidero de aguas negras sin que se aproveche este caudal.
2. El caudal promedio que trata la planta es de $383 \text{ m}^3/\text{h}$, y haciendo los cálculos tomando como referencia un tonel de agua, se genera un ahorro estimado diario de Q 12 820,00 tomando como referencia la reutilización de 8 horas de recuperación del agua tratada.
3. Con el caudal recuperado se logra reducir considerablemente el consumo de agua potable, y esto a su vez genera un ahorro en la época de verano, de Q 256 400,00 al mes, tomando como referencia el precio promedio del tonel de agua potable y el caudal que entrega la planta por hora.
4. Para aumentar la cantidad de agua tratada, se pretende aumentar la altura de los sedimentadores, ya que en época de invierno cuando el caudal alcanza sus valores máximos, este rebalsa los implementos, generando contaminación en los alrededores de la planta, como los son olores y materia orgánica visible. Adicional a estos trabajos, también se

pretende instalar equipos de bombeo para recuperar el agua tratada para diferentes aplicaciones.

5. La implementación de equipo, para bombear el caudal en la entrada la planta implica costos, que basados en los indicadores del VPN y del B/C dan un resultado que favorece la inversión, en este caso el total a invertir en los equipos de bombeo, incluyendo su mantenimiento preventivo y correctivo es de Q 583 000,00 y agregando los costos de operación propiamente de la planta, se estimada genera una inversión de Q 91 000,00 al mes, y utilizando una tasa de interés basada en los datos del Banco de Guatemala que es de 9,36% y un periodo de recuperación de la inversión de 10 años, se genera un valor de VPN de Q 9 182 981,57 y un valor B/C de 2,35 indicando que si es factible la inversión en este proyecto.

6. La implementación de esta propuesta, genera no solamente un ahorro económico, sino que se logra invertir en la conservación del medio ambiente, ya que el agua potable es un recurso cada vez más escaso, y con esta inversión se puede demostrar la importancia que sería la creación de más plantas de tratamiento de aguas en el país.

RECOMENDACIONES

A la Universidad de San Carlos de Guatemala:

1. Darle la importancia a la planta de tratamiento de la Universidad y ver la conservación y reutilización del agua como una inversión y no como un gasto.
2. Aprobar un presupuesto anual, para que se pueda llevar a cabo el proyecto y a mediano plazo verificar y controlar los resultados obtenidos.

Al Departamento de Mantenimiento:

3. Planificar un programa de implementación de la propuesta, y posteriormente llevar un control de mejora continua a los procesos tanto del tratamiento, como la conservación del equipo mecánico que interviene en el proceso.
4. Revisar y evaluar los trabajos de mantenimiento preventivos a todos los equipos, y llevar un historial de los trabajos realizados y minimizar los mantenimientos correctivos.
5. Utilizar los formatos establecidos y archivarlos, para llevar un control diario de las actividades para anticiparse a posibles fallas en el proceso.

A la Facultad de Ingeniería

6. Verificar las distintas aplicaciones que se le puede dar al agua tratada, para fines no potables y con esto, complementar las labores realizadas por el Departamento de Mantenimiento.

7. Apoyar constantemente las propuestas enfocadas a la conservación del medio ambiente y no con fines lucrativos, sino con el fin de utilizar las herramientas de las ramas de ingeniería para la reutilización de los recursos no renovables.

BIBLIOGRAFÍA

1. CRUZ AVILA, Napoleón Antonio. *Administración de operaciones, aplicación y mantenimiento de la red en telecomunicaciones de servicios integrados de la USAC*. Trabajo de graduación de Ing. Mecánico Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 241 p.
2. CRUZ NUÑEZ, Héctor Javier. *Evaluación de dos filtros percoladores para tratamiento de aguas negras*. Guatemala: USAC, Eris. Facultad de Ingeniería, Noviembre. 2007. 100 p.
3. Guatemala. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Ministerio de Educación. *Política Nacional de educación ambiental*. Guatemala: MSPAS, 2003. 31 p.
4. _____. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Reglamento Especial en Materia de Sustancia, Residuos y Desechos Peligrosos. Decreto 41*. Guatemala: MARN, 2000. 26 p.
5. _____. Presidencia de la República. *Política nacional para el manejo integral de los residuos y desechos sólidos Acuerdo Gubernativo 111-2005*. Guatemala: Presidencia de la República, 2005. 29 p.

6. _____. *Reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos. Acuerdo Gubernativo No. 236-2006.* Guatemala: MSPAS, 2006. 18 p
7. MAYORGA CRUZ, Francisco Javier *Eficiencia en el tratamiento de aguas servidas por medio de un sistema de filtros percoladores construidos en serie.* Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería, Eris, 1980. 145 p.
8. MORENO SOTO, Sergio Adolfo. *Evaluación de la eficiencia de operación de un reactor anaeróbico de lecho de lodos y flujo ascendente híbrido en una fábrica de cereales listos para comer.* Mazatenango, Universidad de San Carlos de Guatemala. CUNSOROC, 1995. 114 p.
9. VADO ALVAREZ, Sergio. *Tratamiento de aguas residuales domésticas por medio de Jacintos.* Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Eris, 1978. 247 p.