



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA
RESIDUAL PARA LA EXTRACTORA DE PALMA ACEITERA LA
SEXTA”.**

**Trabajo de Titulación Presentado para optar el grado académico:
INGENIERO QUÍMICO**

AUTOR: JHONATHAN MIGUEL RIVAS VÉLEZ

TUTOR: ING. MARCO CHUIZA

RIOBAMBA – ECUADOR

2016

©2016, Jhonathan Miguel Rivas Vélez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA
ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de investigación: “REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL PARA LA EXTRACTORA DE PALMA ACEITERA LA SEXTA, de responsabilidad del señor Jhonathan Miguel Rivas Vélez, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Marco Chuiza
DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN

Ing. Mabel Parada
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

“Yo Jhonathan Miguel Rivas Vélez, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual del Trabajo de titulación pertenece a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”

JHONATHAN MIGUEL RIVAS VELEZ

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a Dios ya que es a quien le debo todo, por cuidarme y protegerme a cada instante de mi vida.

A mis padres y a mis hermanas que son las personas que han estado conmigo en los momentos más difíciles, siendo el apoyo para ir fortaleciendo cada día las adversidades que se han presentado a lo largo de mi vida.

A mi querido hijo Josué que es la base fundamental que tengo para cada día seguir adelante e ir cumpliendo todas mis aspiraciones.

AGRADECIMIENTO

Me gustaría empezar este agradecimiento a mi padre celestial que es Dios, por haberme dado la vida y la oportunidad de concluir una de mis grandes metas en la vida.

A cada uno de los integrantes de mi familia empezando con mi madre Olinda Vélez, ya que ha sido ese apoyo incondicional en mi formación como persona, hijo, estudiante, padre y ahora como profesional, a mi padre Nexar Rivas ya que el con sus sabios concejos me a permito ser el hombre que hoy en día soy, a mis hermanas Johana y Jomayra, a mi abuela Aida, y a mi principal fuerza que me impulsa cada día a seguir adelante mi hijo Josué.

A la Extractora de Palma Aceitera “La Sexta”, por haberme brindado su confianza para poder realizar este estudio, al Ing. Wellington Meneses que fue mi guía dentro de la empresa y a cada uno de los trabajadores que conforman el laboratorio de la Extractora la Sexta S.A. por haberme aportado su experiencia

A los guías académicos, mi Director Ing. Marco Chuiza, a mi colaboradora Ing. Mabel Parada, y a la Ing. Mónica Andrade, quienes me aportaron su valioso conocimiento para la realización de este proyecto.

De igual manera a todas las personas que han formado parte de mi vida personal, amigos y demás familiares que siempre estuvieron apoyándome de manera incondicional con sus concejos y brindándome ese aliento de vida para poder concluir una etapa más en mi vida.

Jhonathan

Tabla de Contenidos

Contenido

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	2
JUSTIFICACIÓN	4
OBJETIVOS	5
1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	6
1.1. Agua Residual	6
1.1.1. Tipos de Aguas Residuales	6
1.2. Características de las Aguas Residuales.	7
1.2.1. Características Físicas.	7
1.2.2. Características Químicas	9
1.2.3. Características Microbiológicas	12
1.3. AGUAS RESIDUALES PRODUCIDAS POR LAS EXTRACTORAS DE PALMA ACEITERA.....	14
1.3.1. Problemas Ambientales por las Extractoras.....	15
1.3.2. Normativa Ambiental.....	16
1.4. Descripción del proceso utilizado para la extracción del aceite	18
1.4.1. Proceso de Extracción.	19
1.4.2. Esterilización.....	19
1.4.3. Desfrutado	19
1.4.4. Digestor	19
1.4.5. Prensado	19
1.4.6. Aceite rojo.....	20
1.4.7. Tamizado.....	20
1.4.8. Clarificador	20
1.5. Tratamientos de las Aguas Residuales	20
1.5.1. Tipos de Tratamientos Empleados	21
1.6. REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	41
1.6.1. Rediseño de Ingeniería	41
1.6.2. Tratamientos para aguas Residuales de Extractoras	42
CAPITULO II.....	90

2.	PARTE EXPERIMENTAL	90
2.1.	Área de desarrollo de estudio	90
2.1.1.	Localización del Cantón Quinindé	91
2.2.	Métodos y Técnicas.....	91
2.2.1.	Métodos.....	91
2.2.2.	Técnicas.....	92
2.3.	Muestreo.....	93
2.3.1.	Plan de muestreo	93
2.4.	Datos Experimentales.....	96
2.4.1.	Pruebas de laboratorio	96
2.5.	Eficiencia Actual del Sistema de tratamiento de aguas residuales	100
2.5.1.	Diagrama de Bloques de la Planta Actual	101
3.	REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA	
	RESIDUAL DE LA EXTRACTORA DE PALMA ACEITERA “LA SEXTA”..	104
3.1.	Condiciones de rediseño	104
3.1.1.	Cálculo del caudal	104
3.1.2.	Tratamiento del Sistema.....	104
3.2.	Análisis y Resultados Obtenidos.....	143
3.2.1.	Análisis de las condiciones de Diseño	143
3.2.2.	Análisis de las características del Agua Residual	145
3.2.3.	Resultados de la caracterización después del Tratamiento Propuesto	147
3.2.4.	Tabla de resultados de los cálculos de ingeniería en el rediseño	151
3.3.	Propuesta de Rediseño	155
3.3.1.	Análisis de Costos para la implementación de la Propuesta de Rediseño	158
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	160
	CONCLUSIONES	160
	RECOMENDACIONES.....	161
	BIBLIOGRAFÍA	162

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 – 1: Parámetros de Contaminación de las Aguas Residuales Generadas por las Extractoras	16
Tabla 2 - 1: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua.....	16
Tabla 3 – 1: Operaciones y Procesos Usados en el tratamiento preliminar de aguas residuales, junto con el tamaño de partícula afectado	22
Tabla 4 - 1: Descripción de Equipos Usados en el Tratamiento del Agua Residual.....	24
Tabla 5 - 1: Clasificación de los filtros según su forma de operar	38
Tabla 6 – 1: Capacidad de Procesamiento de la Extractora “La Sexta”	42
Tabla 7 – 1: Dimensiones del Tanque florentino; Base, Longitud, Altura	43
Tabla 8 - 1: Dimensiones del Canal	46
Tabla 9 – 1: Zona de Sedimentación de Arenas, costado izquierdo	48
Tabla 10 – 1: Zona de Sedimentación de Arenas, costado derecho	48
Tabla 11 – 1: Sección frontal del desarenador	48
Tabla 12 – 1: Sección posterior del desarenador	48
Tabla 13 – 1: Valores de " α " según el diámetro de la partícula	49
Tabla 14 –1: Dimensiones de la Cámara de sedimentación.....	50
Tabla 15 – 1: Valores de la velocidad de sedimentación	51
Tabla 16 - 1: Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación.....	53
Tabla 17 – 1: Dimensiones de la Piscina de Desaceitado	57
Tabla 18 – 1: Altura en las diferentes zonas de la piscina de desaceitado	57
Tabla 19 – 1: Dimensiones del Tanque de almacenamiento de Aceite recuperado	59
Tabla 20 – 1: Dimensiones del Aireador en Cascada	61
Tabla 21 – 1: Parámetros típicos para diseño de cascadas de oxigenación.....	61
Tabla 22 – 1: Dimensiones de la Piscina Facultativa.....	63
Tabla 23 – 1: Valor de la altura en diferentes zonas de la piscina facultativa	64
Tabla 24 – 1: Dimensiones de la piscina.....	67
Tabla 25 –1: Valor de la altura en diferentes zonas de la piscina de estabilización	68
Tabla 26 – 1: Información usual para diseño de sedimentadores rectangulares y circulares empleados para el tratamiento primario y secundario de aguas residuales	72
Tabla 27 – 1: Valores para el cálculo de la velocidad de arrastre del sedimentador.....	73
Tabla 28 – 1: Valores de las constantes empíricas	75
Tabla 29 – 1: Carga superficial para diferentes floculantes	79
Tabla 30 - 1: Parámetros de Diseño de paletas en un tanque Floculador.....	82
Tabla 31 - 1: Valores de CD para Secciones rectangulares	83

Tabla 32 – 1: Tipos de Filtros Utilizados en Aguas Residuales.....	84
Tabla 33 - 1. Parámetros de Diseño de Filtro rápidos de Arena	86
Tabla 34 - 1. Parámetros de Diseño Laterales.....	87
Tabla 35 – 2: Información General de la Empresa	90
Tabla 36 – 2: Técnicas y parámetros determinados en laboratorio.....	92
Tabla 37 - 2: Valores de Caudal, ph y temperatura en la Piscina de Desaceitado	94
Tabla 38 - 2: Valores de Caudal, ph y temperatura en la Piscina Facultativa.....	95
Tabla 39 - 2: Valores de Caudal, ph y temperatura en la Piscina de Estabilización	95
Tabla 40 - 2: Caracterización previo al ingreso del sistema de Tratamiento	96
Tabla 41 - 2: Caracterización físico – químicas y microbiológica del sistema de tratamiento actual	98
Tabla 42 - 2: Parámetros fuera de Norma	100
Tabla 43 - 3: Pérdida total del área de la piscina	110
Tabla 44 – 3: Pérdida total del área de la Laguna Facultativa	115
Tabla 45 - 3: Pérdida total del área de la piscina de Estabilización	119
Tabla 46 - 3: Pruebas con Policloruro de Aluminio a diferentes concentraciones	132
Tabla 47 - 3: Pruebas con Sulfato de Aluminio a diferentes concentraciones	133
Tabla 48 - 3: Pruebas con Cloruro Férrico a diferentes concentraciones.....	134
Tabla 49 - 3: Pruebas con el floculantes eficaz (2.0%).....	135
Tabla 50 - 3: Pruebas con el floculante eficaz (25%)	135
Tabla 51 - 3: Prueba con el Coagulante Aniónico (0.25%)	136
Tabla 52 - 3: Dimensiones de la Laguna de secado.....	142
Tabla 53 - 3: Caracterización a la Salida del sedimentador	147
Tabla 54 – 3: Caracterización a la Salida del Aireador.....	148
Tabla 55 - 3: Caracterización Físico – Química Final	149
Tabla 56 - 3: Caracterización Físico – Química Final del agua.....	150
Tabla 57 - 3: Caracterización Biológica Final	150
Tabla 58 - 3: Condiciones de diseño para la implementación del Sedimentador	151
Tabla 59 - 3: Condiciones de diseño para la implementación del Aireador	152
Tabla 60 - 3: Condiciones de diseño para la implementación del Tanque Floculación - Coagulación	153
Tabla 61 - 3: Cantidad de Floculante y Coagulante utilizado en el día	154
Tabla 62 - 3: Características de Diseño para la implementación del Filtro	154
Tabla 63 - 3: Costos del diseño del sedimentador.....	158
Tabla 64 - 3: Costos de la implementación del aireador	158
Tabla 65 - 3: Costos del tanque Floculador	158
Tabla 66 - 3: Costos del filtro	159

Tabla 67 - 3: Costos de utilización del floculante.....	159
Tabla 68 - 3: Análisis de costo Total	159

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - 3: Variación del Caudal en la Piscina de Desaceitado.....	143
Gráfico 2 - 3: Variación del Caudal en la Laguna Facultativa.....	144
Gráfico 3 - 3: Variación del Caudal en la Laguna de Estabilización	144
Gráfico 4 - 3: Parámetros Físico – Químicos en la piscina de Estabilización	146
Gráfico 5 - 3: Rangos microbiológicos en la piscina de estabilización	146
Gráfico 6 – 3: Caracterización a la Salida del sedimentador	148
Gráfico 7 – 3: Caracterización a la Salida del sedimentador	148
Gráfico 8 – 3: Caracterización Final del agua tratada en comparación con la norma.....	149
Gráfico 9 - 3: Agua Inicial en comparación al Agua Tratada	150
Gráfico 10 – 3: Comparación del Agua Inicial vs Agua Tratada.....	151
Gráfico 11 - 3: Comparación con el sistema actual y el sistema propuesto.....	157

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- 1: Densidades del Aceite de Palma en Función de la Temperatura	12
Figura 2 - 1: Secciones comunes de control usados en desarenadores de canal con flujo horizontal, para mantener constante la velocidad a: vertedero Suro, b; vertedero proporcional, c; Canaleta Parshall y d: Canal de sección parabólica con salida rectangular	27
Figura 3 - 1: Laguna Anaerobia.....	34
Figura 4 - 1. Diseño de una Laguna Aireada	35
Figura 5 - 1: Laguna con Procesos Facultativos	36
Figura 6 - 1: Tipos y configuración de medios filtrantes: (a) filtro convencional, monocapa, flujo descendente; (b) filtro convencional, bicapa, flujo descendente.....	39
Figura 7 - 1: Tipos y configuración de medios filtrantes; (c) filtro convencional, monocapa, de lecho profundo, flujo descendente; (d) filtro de lecho profundo y flujo ascendente.....	39
Figura 8 – 1: Diseño de un Lecho de Secado.....	40
Figura 9 – 1: Tanque florentino, utilizado en las extractoras para recuperación de aceite	43
Figura 10 – 1: Secciones utilizadas en el diseño de canales	47
Figura 11 – 1: Equipo para remover material orgánico de las arenas.....	55
Figura 12 – 1: Aireador de Cascadas	60
Figura 13 - 1: Aireador de Cascadas tipo Escalera	60
Figura 14 – 1: Sedimentador de Flujo Horizontal	71
Figura 15 – 1: Corte de la zona de sedimentación	71
Figura 16 – 1: Vista aérea de la zona de sedimentación	72
Figura 17 - 1: Agitador de paletas planas	84
Figura 18 - 2: Ubicación geográfica	90
Figura 19 - 2: Esquema del sistema de tratamiento de agua residual Extractora “La Sexta” ..	101

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Análisis físico – químico del agua inicial del sistema

ANEXO B: Análisis microbiológico del agua inicial del sistema

ANEXO C: Análisis físico – químico a la salida de la piscina de estabilización

ANEXO D: Caracterización microbiológica después del rediseño

ANEXO E: Análisis físico – químico a la salida de la piscina de estabilización

ANEXO F: Caracterización físico – química después del rediseño

ANEXO G. Muestra del agua en diferentes etapas

ANEXO H: Diseño del sistema de agua residual actual de la empresa

ANEXO I: Propuesta de rediseño

INDÍCE DE ABREVIATURAS

G	Aceleración de la gravedad
Et	Agua Consumida
h	Altura del tanque florentino
Al	Aluminio
a_a	Ancho del tanque de aireación
Ao	Área del orificio
A_f	Área del tanque florentino
A_m	Área máxima
Ba	Bario
B	Base del tanque florentino
A_f	Cantidad de aceite y grasa previo a la salida del tanque florentino
A_i	Cantidad de aceite y grasa previo al ingreso del tanque florentino
ST_R	Cantidad de sólidos removidos en la piscina
DBO_A	Carga orgánica al ingreso de la piscina de oxidación
DBO_D	Carga orgánica después del proceso biológico
DBO_R	Carga orgánica removida por microorganismos
H	Carga sobre la cresta del vertedero
Cm	Centímetros
C	Coeficiente de descarga
C_d	Coeficiente de Descarga
Y	Coeficiente de producción
K_b	Coeficiente de reducción bacteriana
S_o	Concentración de DBO_5 , del efluente
DBO	Demanda Biológica de oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
D	Densidad
Da	Densidad del aceite a una temperatura establecida
$\% E_{DBO}$	Eficiencia de remoción de carga orgánica de la piscina de oxidación
EDAR	Estación Depuradora de Aguas Residuales
FVL	Fracción de volumen de lodo en la laguna
n_l	Frecuencia de limpieza de la piscina
Td	Fruta Procesada
°C	Grados centígrados

Fe	Hierro
Cl-	Ion Cloruro
H+	Ion de hidrógeno
OH-	Ion de hidróxilo
OH-	Ion Oxidrilos
(SO₄)-2	Ion Sulfato
(PO₄)-3	Ion Sulfato
L	Largo del tanque florentino
L	Longitud de la cresta
Mg	Magnesio
M	Metros
D	Número de dispersión
<i>n_f</i>	Número de filtro a ser diseñados
<i>P_m</i>	Perímetro Mojado
%	Porcentaje
%<i>A_R</i>	Porcentaje de Aceite removido
pH	Potencial de hidrógeno
<i>P_A</i>	Presión barométrica
<i>Rh</i>	Radio hidráulico
<i>WO₂</i>	Requerimiento de Oxígeno
Rpm	Revoluciones por minuto
Na	Sodio
<i>k</i>	Tasa constante de primer orden de remoción de DBO ₅
<i>K_d</i>	Tasa constante relativa a la respiración endógena
<i>TAL</i>	Tasa de acumulación de lodos
<i>T_f</i>	Tasa de filtración
Tulas	Texto Unificado de Legislación Secundaria
<i>t_b</i>	Tiempo de Caída
<i>t_h</i>	Tiempo de Caída entre escalón
<i>t_R</i>	Tiempo de retención
<i>θ_t</i>	Tiempo de retención en el aireador
Tt	Tiempo trabajado
<i>T_p</i>	Total Perdidas
Vs	Velocidad de Sedimentación

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, JHONATHAN MIGUEL RIVAS VÉLEZ, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 23 de Mayo del 2016

JHONATHAN MIGUEL RIVAS VÉLEZ

C.I. 172298874 - 6

RESUMEN

Se realizó el rediseño del sistema de tratamiento de agua residual de la Extractora de Palma Aceitera “La Sexta” ubicada en el cantón Quinindé provincia de Esmeraldas, con el fin de evitar la contaminación generada por el proceso de extracción de aceite de palma. Para esto se inicia con el diagnóstico del estado actual de la planta, luego se determinan los caudales y se realiza la caracterización evidencia los siguientes parámetros fuera de norma: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) = 4000 mg/l, Demanda Química de Oxígeno (DQO) = 20800 mg/l, Sólidos Totales (ST) = 6920 mg/l, Sólidos en Suspensión = 1900 mg/l, Coliformes totales = 286×10^7 UFC/100 ml y Coliformes Fecales = 126×10^7 UFC/100 ml. Con los datos obtenidos se realizaron las pruebas de tratabilidad obteniendo la dosis óptima de cloruro férrico al 2.5% y coagulante Anionico 0.25%. La propuesta de rediseño constara con los procesos de sedimentación, aireación por difusión, coagulación – floculación y filtración, para tratar un caudal de $302.4 \text{ m}^3/\text{día}$ y en el que se obtendrá la reducción de los parámetros en los siguientes valores: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) = 520 mg/l, Demanda Química de Oxígeno (DQO) = 780 mg/l, Sólidos Totales (ST) = 720 mg/l, Sólidos en Suspensión = 120 mg/l, Coliformes totales = 161200 UFC/100 ml y Coliformes Fecales = 7500 UFC/100 ml.

Palabras Claves: < DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO [DBO] > < DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO [DQO] > <GRASAS > < ACEITES > <SÓLIDOS> < EXTRACTORA > < LA SEXTA> <AGUA RESIDUAL> < REDISEÑO > < TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL [TULAS] > <SEDIMENTADOR> <AIREACIÓN> <FLOCULACIÓN><COAGULACIÓN> <FILTRACIÓN>

SUMMARY

“It was held the redesign of system on treatment of residual water from the oil Palm Extractor “LA SEXTA” in Canton Quinindé, Esmeraldas Province, in order to avoid the pollution generated by the extraction process of oil palm. For this purpose, it starts with the diagnosis of the current state of plant. Then, flows are determined and the characterization is performed following parameters outside the norm: Biological Oxygen Demand (DBO) = 4000 mg/l, Chemical oxygen demand (DQO) = 20800 mg/l, Total Solids (ST) = 6920 mg/l, Suspension Solids (SS) = 1900 mg/l, Total Coliforms = 286×10^7 UFC/100 ml, and Fecal Coliforms = 126×10^7 UFC/100 ml. With the data obtained, treatability tests were performed to obtain the optimal dose of ferric chloride to 2.5%, and Anionic coagulant 0.25%. The proposal of redesign will consist with sedimentation processes, diffusion aeration, coagulation – flocculation and filtration to treat a flow of 302.4 m³/day, and wherein the reduction parameters the following values are obtained; Biological Oxygen Demand (DBO) = 520 mg/l, Chemical oxygen demand (DQO) = 780 mg/l, Total Solids (ST) = 720 mg/l, Suspension Solids (SS) = 120 mg/l, Total Coliforms = 161200 UFC/100 ml, and Fecal Coliforms = 7500 UFC/100 ml. In conclusion. It is advised to constantly monitor the processes established”.

Keywords: < BIOLOGICAL OXYGEN DEMAND [DBO]> < CHEMICAL OXYGEN DEMAND [DQO]> < GREASE > < SOLID OILS > < EXTRACTORA THE SIXTH > < RESIDUAL WATER > < REDESIGN > < TEXT UNIFIED ENVIRONMENTAL LEGISLATION [TULAS]> < SETTLER > < AERATION > < FLOCCULATION > < COAGULATION > < FILTRATION >

INTRODUCCIÓN

El agua hoy en día es nuestro recurso indispensable para la vida humana, de igual manera en la mayoría de procesos industriales es utilizado en mayor cantidad este recurso, pero su calidad se ha visto afectada por diferentes motivos, el de mayor impacto es la contaminación de fuentes naturales con la descarga de aguas residuales sin estas poder tener un adecuado tratamiento, que minimice el impacto ambiental que este genera.

La Extractora de Palma Aceitera “La Sexta”, ubicada en el cantón Puerto Quito, empresa líder en la extracción de aceite rojo de palma actualmente procesa un promedio de 480 - 510 toneladas de fruta, necesitando una cantidad de agua mayor a 300 m³. Dicha cantidad puede variar conforme al aumento o disminución de fruta procesada al día, por lo cual la contaminación que puede estar generando es muy grande, viendo en la necesidad de mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de agua residual que actualmente cuenta la empresa.

El problema principal del sistema es que no está eliminando la cantidad de carga orgánica que diariamente produce la empresa, bajando considerablemente su rendimiento, otro problema es la existencia de muchas piscinas de oxidación de las cuales solo la mitad funcionan adecuadamente y las demás solo mantienen los mismos rangos de contaminación, y en determinados casos estos en vez de disminuir van en aumento.

El mejoramiento del sistema de tratamiento de agua residual es evidente, por estas razones se plantea el rediseño de la misma, obteniendo la caracterización físico – química y microbiológica inicial y final del agua residual generada por la empresa, y poder realizar una propuesta que ajuste los parámetros a las normas establecidas y descargar libremente hacia nuestra fuente de agua dulce (río Sábalo).

ANTECEDENTES

La EXTRACTORA “LA SEXTA” es el resultado de años de trabajo, creatividad y constancia, ya que como empresa extractora y comercializadora de aceite rojo de palma, ha alcanzado reconocimiento por la calidad de su producto y utilización de procesos de última tecnología, cuya materia prima proviene principalmente de la zona de Quinindé y una pequeña parte de la zona de Puerto Quito.

Sus actividades tienen su soporte fundamental en el apoyo a sus socios productivos (proveedores de fruta de palma) y en el compromiso diario de sus colaboradores. La experiencia en el negocio, le ha permitido extender sus fronteras con actividades comerciales hacia Colombia, Venezuela, Brasil, Holanda, entre otros.

En Ecuador la cantidad de efluentes producidos en las Plantas Extractoras de aceite de palma, en proporción con la fruta procesada, oscila entre 10 -15 m³ de agua por tonelada de racimos, obteniéndose un promedio de 12.5 m³ de agua por tonelada de racimos procesados y un promedio de 7.8 m³ para ser alimentada el agua de caldera (dilución y limpieza), de estas cantidades por lo menos la mitad es descargada como agua residual y la otra parte se pierde a lo largo de todo el proceso.

Para las extractoras además de los parámetros establecidos por el TULAS que deben ser regulados y controlado su descarga, existen otros que son muy relevantes tales como el nitrógeno amoniacal y los aceites y grasas que son muy controlados en las extractoras debido a que son fuente de contaminación en los ríos.

En el caso de la extractora la Sexta S.A. tenemos algunos parámetros fuera de norma según los determinan las pruebas realizadas por laboratorios de Análisis Técnicos de Agua tales es el caso de Oxígeno disuelto, Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, sólidos disueltos totales, y turbiedad. Se debe tomar en cuenta que estos parámetros fueron establecidos a la salida de la piscina # 3 “Estabilización”, el cual es nuestro punto de partida para realizar el rediseño.

Debido a las características del agua generada por la empresa, cuenta con un sistema de aguas residuales en la cual combina procesos físicos y biológicos, la cual se basa en la utilización de lagunas conectadas en serie que combina procesos aerobios (con presencia de aire) y anaerobios

(en ausencia de aire), las cuales garantiza la eliminación de la carga orgánica generada por la misma.

JUSTIFICACIÓN

Debido al constante aumento de las actividades industriales realizadas por el hombre y en su afán de ser productores masivos, ha provocado el deterioro del medio ambiente así como el agua, suelo y aire, el cual dependiendo del tipo de actividad que se dedique cada empresa ocasionan diferentes daños, en los que algunos casos son irremediables, por lo cual el ministerio del ambiente de la provincia de Esmeraldas, que es el ente regulador de todas estas contaminaciones, promueve que cada empresa tenga un estudio detallado de la calidad del agua que genera cada industria, siendo las extractoras las que más contaminación presentan.

La extractora de Palma Aceitera “La Sexta”, dispone de un sistema de tratamiento para el agua residual, tomando en cuenta que dicho sistema fue construido hace aproximadamente cinco años atrás y al momento no se encuentra cumpliendo el total de todas sus funciones, debido que no fue construido con criterios técnicos y no se consideraron algunos otros aspectos, tales como el aumento de la producción, la cantidad de lodos generados que cada año y el uso de tratamientos alternativos.

La mayor dificultad que presentan las piscinas para su adecuado funcionamiento es la formación de lodos, debido a su alto contenido de carga orgánica y que en la actualidad se ha reducido en casi un 30% de altura que tenían inicialmente cada piscina, cuyo valor va a ir en aumento ya que la producción con la que trabaja la empresa cada año es mayor.

Con el presente proyecto se busca realizar un estudio acorde a las necesidades que presenta la empresa, donde se realizaran las respectivas pruebas para identificar el tipo de agua y los contaminantes que se están generando, proponiendo un sistema de tratamiento adecuado con la mayor factibilidad económica, en el cual la disminución del impacto generado al medio ambiente es nuestra prioridad, dejando los usos finales que se pueden disponer del agua residual que va a ser tratada.

Por los motivos mostrados anteriormente es necesario proponer un “Rediseño del Sistema de Tratamientos del Agua Residual para la Extractora de Palma Aceitera la Sexta”, con el fin de cumplir con los parámetros que establece la normativa del TULAS.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- Rediseñar el Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para la Extractora de Palma Aceitera “La Sexta”

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar la caracterización físico – química y microbiológica de las aguas residuales antes y después del tratamiento basadas en la norma del TULAS Libro VI Anexo I que indica los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
- Diagnosticar el estado actual de la Planta de Aguas Residuales.
- Identificar las variables de proceso para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Realizar pruebas de tratabilidad para que los parámetros medidos en la caracterización que estén fuera de rango cumplan con la norma.
- Ejecutar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del sistema de tratamiento

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.

1.1. Agua Residual

Las aguas residuales es el conjunto de aguas que lleva elementos extraños, bien por causas naturales, bien provocadas de forma directa o indirecta por la actividad humana, estando compuestas por una combinación de:

- Líquidos de desagüe de viviendas, comercios, edificios de oficinas e instituciones.
- Líquidos efluentes de establecimientos industriales.
- Líquidos efluentes de instalaciones agrícolas y ganaderas.

Aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que circulan por calles, espacios libres, tejados y azoteas de edificios que pueden ser admitidas y conducidas por las alcantarillas

1.1.1. Tipos de Aguas Residuales

1.1.1.1. Aguas Residuales Domésticas

Son las aguas residuales producidas por las actividades humanas relacionadas con el consumo de agua potable: lavado de platos, duchas, lavatorios, servicios sanitarios y similares. Su calidad es muy uniforme y conocida y varía un poco con respecto al nivel socioeconómico y cultural de las poblaciones.

1.1.1.2. Aguas Residuales Industriales

Son las aguas que ha sido utilizada en procesos industriales y que han recibido subproductos contaminantes como efecto de ese uso. Su calidad es sumamente variable y prácticamente se requiere un estudio técnico y particular para cada industria.

1.1.1.3. Aguas Residuales Urbanas

Las aguas residuales domésticas o la mezcla de las mismas con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial. Todas ellas habitualmente se recogen en un sistema colector, por lo que es necesario que sean enviadas a EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales). Las industrias que realicen el vertido de sus aguas residuales en esta red colectora, habrán de acondicionar previamente sus aguas

1.2. Características de las Aguas Residuales.

1.2.1. Características Físicas.

Entre las principales características físicas presentes en el agua residual tenemos a la cantidad de sólidos totales, sólidos disueltos, sólidos suspendidos, olor, temperatura, color, turbidez y temperatura.

1.2.1.1. Color

El agua residual evacuada por las industrias suele ser de color gris, sin embargo a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias, el oxígeno disuelto se reduce a cero y el color del agua residual cambia a negro. En esta condición, se dice que el agua residual es séptica. El color se determina por comparación visual de la muestra con soluciones coloreadas de concentraciones conocidas o bien utilizadas disco de vidrios coloreados previamente calibrados.

1.2.1.2. Turbiedad

La medida de la turbidez está basada en la instrucción óptica de los rayos luminosos cuando pasan a través del líquido, la unidad de turbidez es la producida por una ppm de sílice en agua destilada. Otra forma de poder pedir la turbidez in situ es a través del disco de Secchi que usualmente es de madera o metal de 30 cm de diámetro pintado de blanco y negro con pesas colgado que le permitan sumergirse en el agua.

El disco se suspende de un cordel marcado en centímetros. Cuando el disco Secchi es sumergido en el agua, desaparece de la vista a cierta profundidad, midiéndose en el propio cordel que suspende al disco, la norma establece que a 2 m de profundidad el disco debe ser visible, para poder establecer un valor de turbidez normal.

1.2.1.3. Temperatura

La temperatura debe tomarse en el punto donde se coloca la muestra. Debe sumergirse el termómetro en la corriente o en un recipiente con la muestra manteniéndose dentro del agua, hasta que el nivel del mercurio permanezca estático. La temperatura debe leerse antes de extraer el termómetro del agua y se expresa en grados centígrados °C.

1.2.1.4. *Olor*

Las impurezas orgánicas disueltas producen olores y sabores indeseables, que son difíciles de evaluar por su naturaleza sugestiva. Los olores en el agua son debidos a pequeñísimas concentraciones de compuestos volátiles. La intensidad y lo ofensivo de los olores varían con el tipo; algunos son de tierra y moho, mientras que otros son putrefactos, producidos por la polución con desechos industriales.

1.2.1.5. *Sólidos Totales*

Se definen como los residuos de material que quedan en un recipiente después de ser sometidos a una evaporación de una muestra determinada (103 – 105 °C) y su consecutivo secado con una estufa a temperaturas definidas. Los sólidos totales incluyen los sólidos suspendidos – porción de sólidos totales retenidos por un filtro y los sólidos disueltos totales, porción que atraviesa un filtro.

1.2.1.6. *Sólidos Sedimentables*

Se definen como aquellos que sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables, se encuentran expresados en unidades de ml/l, constituyen una medida aproximada de la cantidad de fango o de lodos, estos sólidos se concentran en la parte inferior del cono, los cuales por métodos posteriores como la decantación primaria del agua residual serán eliminados.

1.2.1.7. *Sólidos suspendidos totales*

Son sólidos constituidos por sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión, que son retenidos en el elemento filtrante, estos sólidos de una muestra de agua residual industrial se la conoce como la porción de sólidos retenidos por un filtro de fibra de vidrio, que posteriormente se seca a 103 – 105 °C, hasta establecer un peso constante. El incremento de peso del filtro representa el total de sólidos en suspensión.

1.2.1.8. *Sólidos Suspendidos Volátiles*

Es la cantidad de materia orgánica (incluidos los inorgánicos) que pueden volatilizarse por el efecto de la calcinación de la mufla, la cual se encuentra entre 550 ± 50 °C, en un tiempo de 15 minutos aproximadamente, se debe tomar en cuenta que el peso establecido a determinar debe ser constante. La concentración de estos sólidos se considera como una medida aproximada del contenido de materia orgánica.

1.2.2. Características Químicas

Se relaciona con los compuestos químicos disueltos en el agua y que pueden modificar sus propiedades. Las características químicas más comunes que se determinan en el laboratorio de la planta de un acueducto para el control de la calidad del agua.

1.2.2.1. Alcalinidad

Es la capacidad que tiene el agua para reaccionar con un ácido. Se debe frecuentemente a la presencia de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos. El agua siempre se ioniza en pequeñas proporciones, produciendo tanto iones de hidrógeno como iones de hidróxido. El pH es la forma de medir el ion de hidrógeno (H⁺) o el ion de hidroxilo (OH⁻). El pH es igual al logaritmo en base 10 del inverso de la concentración del ion hidrógeno.

1.2.2.2. Hierro

Este parámetro se lo hace con el fin de determinar la clase de tratamiento que debe hacerse al agua. En las aguas tratadas para comprobar la eficacia del tratamiento. En las muestras que se toman de la red, la determinación de hierro puede servir como base para demostrar el efecto corrosivo que el agua puede estar teniendo sobre las redes y sobre las instalaciones metálicas del sistema de distribución.

1.2.2.3. Materia Orgánica

En un agua residual de intensidad media, un 75% de lo sólidos en suspensión y el 40% de lo sólidos filtrables de un agua residual son de naturaleza orgánica. Los compuestos orgánicos se forman por combinaciones de carbono, hidrogeno, oxígeno en presencia de nitrógeno y en pocos casos pueden también estar presentes al azufre, fosforo y hierro. El agua residual puede contener pequeñas cantidades de un gran número de diferentes moléculas orgánicas sintéticas cuya estructura puede variar desde muy simple hasta sumamente complejas como son agentes tenso activos, fenoles y pesticidas.

1.2.2.4. DBO

El parámetro de polución orgánica más utilizada y aplicable al agua residual y superficial es la D.B.O a los 5 días. Supone esta determinación, la medida del oxígeno disuelto utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de la materia orgánica y sirve para determinar la

cantidad aproximada de oxígeno que se requiere para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente.

Se utiliza para medir el grado de contaminación, el método utilizado es inoculando la muestra en donde primero se prepara la dilución de acuerdo a la concentración que se contenga y se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO_5), se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro.

1.2.2.5. *DQO*

El ensayo de la D.Q.O se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas residuales como naturales. La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida.

1.2.2.6. *Materia Inorgánica*

Varios componentes inorgánicos de las aguas residuales y naturales tienen importancia para el establecimiento y control de la calidad del agua. Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua aumentan por la formación geológica con la que el agua entra en contacto y también por las aguas residuales tratadas o sin tratar que se descargan a ella.

Comprenden nutrientes como amoníaco, nitritos, nitratos, fósforo, los mismos que han sido identificados como los causantes del crecimiento indeseable de plantas acuáticas. Las aguas residuales, a excepción de algunos residuos industriales, son raramente tratadas para la eliminación de los constituyentes inorgánicos.

1.2.2.7. *Nitrógeno Amoniacal*

El amoníaco es uno de los componentes transitorios en el agua puesto que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica. Es el producto natural de descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados.

Las aguas superficiales no deben contener normalmente amoníaco. En general, la presencia de amoníaco libre o ion amonio es considerado como una prueba química de contaminación reciente y peligrosa. Si el medio es aerobio, el nitrógeno amoniacal se transforma en nitritos.

En cuanto a sus orígenes se pueden mencionar los siguientes:

- Aguas residuales industriales (fábricas de gas, hielo, etc.)
- Aguas de lluvia, tras un periodo de sequía, en zonas industriales.
- Aguas residuales agrícolas (excrementos de animales, basuras, fertilizantes).
- En ciertas aguas con hierro que pueden reducir los iones nitrato.
- Descomposición de productos nitrogenados orgánicos en el suelo.
- Putrefacción de plantas

1.2.2.8. *Aceites y Grasas*

Las grasas son compuestos orgánicos que se forman de carbono, hidrógeno y oxígeno, siendo la fuente más concentrada de energía en los alimentos. Pertenecen al grupo de las sustancias llamadas lípidos y vienen en forma líquida o sólida. Todas las grasas son combinaciones de los ácidos grasos saturados y no saturados.

La determinación analítica de grasas y aceites no mide una sustancia específica sino un grupo de sustancias susceptibles de disolverse en hexano, incluyendo ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier otras sustancia extractable con hexano, siendo el método de soxhlet el que se utiliza.

1.2.2.8.1. *Determinación de la densidad de un aceite*

La densidad del aceite es la relación entre su peso y su volumen, y en este caso está afectada por la temperatura. Aplicando el método de la norma AOAC 26.004 establecida para aceites, grasas y ceras; podemos determinar la variación de la densidad con respecto a un cambio de temperatura, la tabla con las diferentes densidades en cuanto a la variación de la temperatura es la siguiente:

DENSIDAD DEL ACEITE DE PALMA EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

°C	DENSIDAD	°C	DENSIDAD
30	0,904800	71	0,877125
31	0,904125	72	0,876450
32	0,903450	73	0,875775
33	0,902775	74	0,875100
34	0,902100	75	0,874425
35	0,901425	76	0,873750
36	0,900750	77	0,873075
37	0,900075	78	0,872400
38	0,899400	79	0,871725
39	0,898725	80	0,871050
40	0,898050	81	0,870375
41	0,897375	82	0,869700
42	0,896700	83	0,869025
43	0,896025	84	0,868350
44	0,895350	85	0,867675
45	0,894675	86	0,867000
46	0,894000	87	0,866325
47	0,893325	88	0,865650
48	0,892650	89	0,864975
49	0,891975	90	0,864300
50	0,891300	91	0,863625
51	0,890625	92	0,862950
52	0,889950	93	0,862275
53	0,889275	94	0,861600
54	0,888600	95	0,860925
55	0,887925	96	0,860250
56	0,887250	97	0,859575
57	0,886575	98	0,858900
58	0,885900	99	0,858225
59	0,885225	100	0,857550
60	0,884550	101	0,856875
61	0,883875	102	0,856200
62	0,883200	103	0,855525
63	0,882525	104	0,854850
64	0,881850	105	0,854175
65	0,881175	106	0,853500
66	0,880500	107	0,852825
67	0,879825	108	0,852150
68	0,879150	109	0,851475
69	0,878475	110	0,850800
70	0,877800	111	0,850125

Figura 1- 1: Densidades del Aceite de Palma en Función de la Temperatura

Fuente: Francisco Claver Delgado R. densidad del aceite

1.2.3. Características Microbiológicas

1.2.3.1. Coliformes Fecales

Los Coliformes Fecales son un subgrupo de los Coliformes totales y se tiene aproximadamente el 95% del grupo de los Coliformes presentes en heces que se encuentran formados por *Escherichia coli*.

La capacidad de los Coliformes fecales de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad. Desde hace mucho tiempo se han utilizado como indicador ideal de contaminación fecal. Su presencia se interpreta como una indicación de que los organismos patógenos pueden estar presentes y su ausencia indica que el agua o el alimento estudiado se hallan exentos de organismos que se pueden ser productores de distintas enfermedades.

Existen diversos métodos para cuantificar el número de microorganismos presentes en muestras líquidas y sólidas. Dentro de las técnicas más comunes se encuentra el recuento directo por microscopía de fluorescencia, así como los procedimientos basados en diluciones en serie, haciendo crecer microorganismos en medios de cultivo sintéticos sólidos o líquidos, como el recuento en placa de Unidades Formadoras de Colonias.

1.2.3.2. Bacterias

Los organismos patógenos más frecuentes en el agua residual municipal son los pertenecientes al género *Salmonella*. Este grupo de microorganismos comprende un gran número de especies capaces de producir enfermedades en las personas y en los animales.

En el agua residual pueden detectarse numerosos tipos distintos de bacterias, entre las que pueden nombrarse las especies *Vibrio*, *Mycobacterium*, *Clostridium*, *Leptospirasp* y *Yersinia*. Aunque estos microorganismos patógenos pueden encontrarse en el agua residual, sus concentraciones son normalmente muy bajas para iniciar un brote epidémico.

1.2.3.2.1. Bacteria Heterotróficas

Este tipo de bacterias abundantes en el medio ambiente, en particular el agua - incluyendo el agua del grifo de agua y tratada. Gracias a su capacidad de adaptarse a un entorno de sistemas de agua desnutridos, las bacterias heterótrofas son capaces de sobrevivir a otros microorganismos en el agua, estas bacterias pueden existir en ambos oxígeno y su falta de oxígeno.

Se utilizan sustancias orgánicas a partir de su hábitat natural para generar energía para el metabolismo y para el material en general para sintetizar sus compuestos. Bacterias heterótrofas

son una parte integral del ecosistema, su importancia en el proceso de desnitrificación decadencia y no se puede negar. A través de la respiración y la fermentación, estas bacterias liberan de nuevo muchos inorgánicos en la naturaleza, que puede ser utilizado por otros seres vivos.

Estas bacterias emiten exo-enzimas que pueden descomponer la celulosa, la lignina, la queratina y otras moléculas naturales difíciles de descomponer. Los procesos de desnitrificación y la descomposición, no serían capaces de tener lugar de la manera más eficaz sin las funciones realizadas por estos microorganismos.

1.2.3.2.2. Bacteria Escherichia coli

E. coli (*Escherichia coli*), es una bacteria que pertenece a la familia Enterobacteriaceae y forma parte del grupo denominado coliformes totales. Desde el punto de vista metodológico el E. coli es considerado tradicionalmente como un coliforme fecal que además da positivo a la prueba del Indol.

1.2.3.2.3. Aerobios Mesófilos

Son consideradas todas las bacterias aerobias, mesófilas capaces de crecer en agar nutritivo. Su determinación es por el método de recuento en placa con siembra en profundidad, que se basa en contar el número de colonias desarrolladas en una placa de medio de cultivo sólido utilizando un agar para recuento en placa.

1.2.3.3. Mohos y Levaduras

Los mohos y levaduras son microorganismos eucariotas, que se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, la mayoría de ellos son saprofitos pero algunos de ellos pueden llegar a ser dañinos para el ser humano y de otros seres vivos llegando a producir diferentes patologías clasificadas como: micosis profundas, oportunistas, subcutáneas y superficiales. Este procedimiento aplica para todo tipo de aguas.

1.3. AGUAS RESIDUALES PRODUCIDAS POR LAS EXTRACTORAS DE PALMA ACEITERA

En la extracción del aceite de palma se utilizan grandes cantidades de agua - alrededor de 1 a 1,5 toneladas de agua se requieren para procesar una tonelada de RFF. Se utilizan alrededor de 0,5 toneladas de agua para alimentar la caldera (para diluir y lavar). Aproximadamente la mitad del

agua utilizada termina como efluente; la otra mitad se pierde principalmente por el tubo de escape del esterilizador, derrame y agua para lavar.

Los efluentes de la planta extractora incluyen descargas de las siguientes operaciones:

- Esterilización (36%)
- Clarificación de aceite crudo (60%)
- Separación de la mezcla triturada (palmiste y cascara) (4%)

El volumen de efluentes descargado depende, en gran parte, de la operación de extracción. Para una planta extractora en buen funcionamiento, con buen manejo, se calcula que 2,5 toneladas de efluentes son generadas por tonelada de aceite de palma crudo producido. Sin embargo, el promedio nacional es de alrededor de 3,5 toneladas de efluentes por tonelada de aceite crudo.

1.3.1. Problemas Ambientales por las Extractoras

Serios problemas ambientales se pueden originar si los desechos generados se continúan multiplicando y salen sin control o tratamiento alguno. Sólo en 1992, las plantas extractoras de aceite de palma generaron 15,9 millones de metros cúbicos de efluente altamente contaminante. En términos de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), este tiene una población equivalente alrededor de 25 millones de personas.

Las plantas extractoras de aceite de palma están ubicadas principalmente cerca de ríos, debido a que se requieren grandes cantidades de agua para la operación de éstas. Es muy normal que durante los primeros días, las plantas extractoras descarguen el efluente directamente al río. Mientras más efluente contaminante se descargue en la cuenca del río, mayor es el impacto ambiental adverso ocasionado en el ecosistema del río.

En la mayoría de los casos, el río eventualmente se vuelve séptico y seriamente se destruye la vida acuática y el hábitat. Desde la aprobación y sanción de la Ley de Calidad Ambiental de 1974, las reglamentaciones ambientales de Malasia requieren que los efluentes de las plantas extractoras de aceite de palma sean tratados hasta un nivel aceptable por el Departamento del Medio Ambiente, antes de que se permita su descargue en aguas receptoras.

Tabla 1 – 1: Parámetros de Contaminación de las Aguas Residuales Generadas por las Extractoras

Parámetro	Margen de las Extractoras	Rango Permitido	Unidad
Ph	3.8 – 4.5	5.0 – 9.0	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	10.250 – 47.500	50	mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	15.550 – 106.360	100	mg/l
Sólidos Totales	11.450 – 164.950		mg/l
Sólidos Suspendedos (SS)	410 – 60.360	100	mg/l
Sólidos Volátiles (SV)	8.670 – 154.720		mg/l
Nitrógeno Amoniacal	0 – 110	100	mg/l
Aceites y Grasas	8.000		mg/l
Temperatura	80 – 90	40	°C

Fuente: Publicaciones.fedepalma.org.

1.3.2. Normativa Ambiental

1.3.2.1. Norma general para descarga de efluentes a un cuerpo de agua dulce.

La normativa ambiental establece disposiciones para salvaguardar las fuentes de agua dulce, en la cual establece para la caracterización del agua residual y la calidad del efluente que previamente será descargado hacia el río Sábalo, deberá regirse a la norma establecida por LA NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA TULAS, libro VI, anexo I, tabla 12.

Tabla 2 - 1. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0.3

Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		⁸ Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0

Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de Organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendedos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

Fuente: TULAS, Libro VI, anexo I, tabla 12

1.4. Descripción del proceso utilizado para la extracción del aceite de palma Africana

Dependiendo de la tecnología disponible en cada empresa los procesos de extracción de aceite de palma pueden variar, pero de forma general empezamos desde el campo donde son recolectados los racimos de fruta fresca que posteriormente son llevados a la extractora para poder ser procesados. En este proceso se incluye algunas operaciones tales como la esterilización, el bunch stripping, la digestión, la extracción de aceite, tamizado y finalmente el proceso de clarificación que garantiza la calidad del aceite extraído.

1.4.1. Proceso de Extracción.

El ciclo de extracción del fruto de palma africana inicia con la recepción de la fruta en la extractora, para el control y evaluación de la calidad. El procesamiento se producirá dentro de las 24 horas posteriores a la recepción.

1.4.2. Esterilización

Es la primera etapa del proceso de extracción, el cual consiste en transportar los racimos de fruta recién cosechada hacia el molino que trabaja a baja presión de vapor a 3 bares y temperatura que oscila entre 125°C - 145°C y de esta manera acelera el proceso de ablandamiento entre el raquis y la tuza, además facilita el desgrane de la fruta de los racimos para ablandar el pericarpio en el proceso de extracción de aceite. En este proceso se generan condensados con alto contenido de materia orgánica.

1.4.3. Desfrutado

El siguiente paso es el bunch stripping o desfrutamiento en este proceso es donde se separa la fruta esterilizada del tallo del racimo por medio de un pelador mecánico que consiste en un tambor rotatorio con velocidad de 21 y 24 rpm. Los racimos dentro del tambor caen por gravedad y los frutos por la combinación de gravedad y rotación son removidos por la fuerza centrípeta.

Se debe tomar en cuenta que para este proceso no se utiliza agua, sin embargo, la fruta llega con humedad del esterilizador. (Rosero, 2014)

1.4.4. Digestor

La fruta separada y esterilizada llega a un proceso de digestión que se da al calentar la fruta usando vapor a una temperatura de 80 a 90°C, en este procedimiento, se prepara la fruta para el proceso de extracción del aceite mediante la ruptura de la nuez, facilitando el siguiente proceso.

1.4.5. Prensado

En esta etapa se aplica agua de dilución con la finalidad de lavar la fibra y extraer el aceite con mayor eficiencia, en esta parte la colada formada será adecuada para realizar la separación de 24 aceite en la clarificación. La extracción del líquido y la nuez se realiza por medio de un tornillo en prensa que gira rompiendo la nuez. Del prensado se generan dos descargas; sólidos y líquidos, el sólido que son las fibras y nueces mientras que el líquido es la colada compuesta de aceite-agua-lodo

1.4.6. Aceite rojo

Derivado de la extracción de aceite de palma es el aceite rojo de origen vegetal, el color se da ya que el fruto presenta la tonalidad rojiza y el mismo proviene de la pulpa y representa el 18-26% del peso fresco del racimo. Como alimento natural tiene alto contenido de vitamina A, es usado por lo general en el aceite de cocina.

1.4.7. Tamizado

Las partículas de fibra provenientes del prensado se remueven primero porque pasan por una pantalla vibratoria debido a que la arena y suciedad se sedimentan. El aceite con agua pasa al proceso homogeneizador y clarificador, mientras que la pulpa tamizada regresa al digestor repitiendo el proceso. Después se realiza una homogenización, para adecuar la temperatura (90°C), y dejar listo el aceite para pasar por el Tridecanter.

1.4.8. Clarificador

Es durante el cual se separa el aceite, agua y lodos del licor de prensas, la relación de humedad presente en el aceite es de 0.1 – 0.25 % de humedad. Esto se consigue al dejar sin movimiento el licor de prensa e inducir la separación por los pesos específicos. También se suele utilizar centrífugas, que ayudan a la separación de la parte sólida con la parte líquida. (Ortiz, 2006)

Posteriormente, el agua y lodos son enviados a las piscinas de oxidación para ser utilizados como abonos orgánicos en las plantaciones de palma. El aceite pasa a secadores, con el fin de provocar la evaporación del restante de agua que pudo haber quedado.

El proceso finalmente termina cuando el aceite es almacenado en los tanques, los mismos que la empresa cuenta son 5 cada uno de ellos con 240 m³, y en total de 1200 m³, para posteriormente ser enviado a la refinería de aceites en tanqueros y poder dar paso a la generación de una gran variedad de productos y subproductos a partir de esta materia prima.

1.5. Tratamientos de las Aguas Residuales

El tratamiento del agua es el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda con el fin de remover o reducir sus contaminantes y lograr que sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas cumplan las especificaciones contenidas en las normas que regulan la materia. El agua debe ser tratada debido a la presencia de impurezas como sólidos suspendidos, materiales colorantes, microorganismos, materia orgánica, gases disueltos, minerales y otros.

Las plantas de tratamiento de aguas, independientemente de su tamaño, nivel de sofisticación tecnológica o la calidad actual del agua tratada, necesitan periódicamente introducir cambios en sus procesos para garantizar mejoras en su funcionamiento y en la calidad del agua tratada para estar a la par de los avances en el ramo y cumplir con legislaciones gubernamentales cada día más exigentes.

La utilización de los coagulantes más comunes como, por ejemplo, el sulfato de aluminio, se ha venido cuestionando en los últimos tiempos debido, entre otras causas, a la dificultad técnica para mantener estable el pH óptimo de coagulación durante la operación y su posible relación con la aparición de enfermedades neurodegenerativas.

Si el pH no está dentro del intervalo adecuado, la clarificación es pobre y puede solubilizarse el aluminio ocasionando problemas de altas variaciones en los valores de turbiedad, pH, alcalinidad, dureza y aluminio residual del agua clarificada.

1.5.1. Tipos de Tratamientos Empleados

Aquellos métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos se conocen como operaciones unitarias, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza con base en procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios. Al referirse a operaciones y procesos unitarios es porque se agrupan entre sí para constituir los tratamientos primario, secundario y terciario.

1.5.1.1. Tratamientos Preliminares

Aunque no reflejan un proceso en sí, sirven para aumentar la efectividad de los tratamientos primarios, secundarios y terciarios. Las aguas residuales que fluyen desde los alcantarillados a las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), son muy variables en su flujo y contienen gran cantidad de objetos, en muchos casos voluminosos y abrasivos, que por ningún motivo deben llegar a las diferentes unidades donde se realizan los tratamientos y deben ser removidos.

El tratamiento preliminar ocurre a través de una secuencia de unidades de tratamientos encargados de modificar la distribución del tamaño de las partículas presentes en el agua residual. Actualmente materiales como colillas de cigarrillos, piezas de plásticos y elementos profilácticos, han tomado gran importancia en sistemas de tratamientos que incluyen la estabilización por compostaje de los biosólidos (lodos biológicos) generados en el tratamiento de las aguas residuales.

Si estos materiales no son removidos eficientemente en el pretratamiento, tendrían que ser tamizados del compost curado para así cumplir con las exigentes especificaciones del producto estabilizado. Las principales operaciones y procesos empleados en esta fase, así mismo los procesos que afectan las partículas presentes en las aguas residuales según su tamaño, se identifican en la siguiente tabla. (TCHOBANOGLOUS, 2010, pág. 241)

Tabla 3 – 1: Operaciones y Procesos Usados en el tratamiento preliminar de aguas residuales, junto con el tamaño de partícula afectado

Operación / proceso	Aplicación / ocurrencia	Tamaño de partícula afectada
Dilaceracion	Usada para cortar o triturar particulas grandes que no son removidas por el tamizado grueso, y asi obtener particulas de menor tamaño y mas uniformes	6 mm
Filtracion (como pretratamiento de procesos con membrana y desinfeccion)	Remocion de particulas que afectan el desempeño de los procesos aguas abajo	0.015 – 0.5 mm
Flotacion	Remocion de particulas con gravedad especifica menor a la del agua	0.0005 – 5 mm
Homogenizacion de caudales	Empleado para mantener constante el caudal y las características del agua residual	Mayor 0.040mm
Remoción por gravedad	Remocion de sólidos sedimentables y material flotante	0.15- 1.0 mm
Remoción por sedimentacion acelerada	Remocion de arena	0.15- 1.0 mm
Remoción de arenas	Remoción de gravas, arenas y cenizas, generalmente a continuacion de la dilaceración	0.15- 1.0 mm
Tanque Imhoff	Usada para remocion de material suspendido de las aguas residuales por sedimentación o flotación	Menor 0.0040 mm
Filtracion por membrana (como pretratamiento para osmosis inversa)	Usada para la remoción de material coloidal y subcoloidal	0.06 – 100 um
Mezcla	Empleado para mezclar quimicos y homogeneizar materiales de desecho	

Remoción de grasas y aceites	Remoción de grasas y aceites provenientes de vertimientos particulares	
Filtración del afluente primario (FEP)	Usado para la remoción de material suspendido después de la sedimentación primaria	0.005 – 4mm
Tamizado grueso	Utilizado para la remoción de palos, trapos, y demás escombros presentes en aguas residuales crudas	Mayor 15 mm
Tamizado fino	Remoción de partículas pequeñas	2.5 – 5.0 mm
Microtamizado	Remoción de partículas pequeñas	0.15 – 1.5 mm
Tanque Sèptico	Utilizado en la remoción de material suspendido presente en aguas residuales residenciales por sedimentación y flotación	Mayor 0.040 mm

Fuente: Sistemas de Manejos de Aguas Residuales pag. 242

1.5.1.1.1. Tamizado Grueso

El tamizado es por lo general la primera operación unitaria encontrada en una planta de tratamiento de agua residual. El tamizado grueso se emplean equipos para interceptar y retener sólidos gruesos presentes en el agua residual cruda: estos equipos constan, en esencia, de barras o varillas paralelas, o alambres de tamaño uniforme. El tamiz compuesto de barras o varillas paralelas se llama rejillas, la cual se encarga de remover materiales sólidos conocidos como residuos del tamizado. (TCHOBANOGLIOUS, 2010, pág. 244)

Tabla 4 - 1: Descripción de Equipos Usados en el Tratamiento del Agua Residual

Clase de equipo por Tamaño	Clasificación	Abertura del Tamiz Pulg.	Abertura del Tamiz mm	Material	Aplicación
Rejillas Limpieza Manual	Grueso	1.0 – 2.0	25 – 50	Barrotes	Remoción de solidos suspendidos gruesos y como tratamiento preliminar en la remoción de solidos finos
Limpieza Mecánica	Grueso	0.6 – 3.0	15 – 75	Barrotes	
Rejillas Finas o Tamiz					
Rejilla Fina	Fino grueso	0.125 – 0.50	3 – 12.5	Barrotes delgados	Tratamiento Preliminar
Plato perforado	Fino grueso	0-125- 0.375	3 – 9.5	Plato perforado	Tratamiento Preliminar
Tambor Rotatorio	Fino grueso	0.125-0.50	3-12.5	Malla de cuña en acero inoxidable	Tratamiento Preliminar
Tamiz Fino (Limpieza Mecánica)					
Parabólico Fijo	Fino	0.010-0.125	0.25-3.2	Malla de cuña en acero inoxidable	Tratamiento Preliminar

Tambor rotatorio	Fino	0.010-0.125	0.25-3.2	Malla de cuña en acero inoxidable	Tratamiento Preliminar
Disco Rotatorio	Muy fino	0.006-0.015	0.15-0.38	Tela de acero inoxidable	Tratamiento primario

Fuente: (TCHOBANOGLIOUS, 2010, pág. 246)

1.5.1.1.2. Desarenador

Los desarenadores tienen como principal objetivo eliminar partículas más pesadas que el agua, las cuales posean un tamaño superior a 200 micras, sobre todo arena, cascaras de residuo de palma, semillas, otras sustancias etc. Con el desarenado se consigue asegurar una protección a los equipos o procesos que se den posteriormente al sistema, y evitando atascos o sobrecargas. A los desarenadores se los considera como procesos capaz de sedimentar, toda partícula que se encuentre en suspensión por acción de la gravedad.

Normalmente, los desarenadores se ubican después de las unidades que remueven sólidos gruesos (tamizado) y antes de tanques de sedimentación primaria, aunque en algunas plantas de tratamientos los desarenadores anteceden las unidades de tamizado. Por lo general, la instalación de unidades de tamizado fino antes del desarenador facilita la operación y mantenimiento de las instalaciones destinadas a la remoción de arenas. Tres clases de desarenadores son los más usados: de flujo horizontal para canales de sección rectangular o cuadrada: aireados y de vórtice.

1.5.1.1.2.1. Tipos de Desarenadores:

➤ Desarenador de Flujo Horizontal de Tipo Canal

El desarenador más antiguo es el de flujo horizontal de tipo canal con velocidad controlada. Este desarenador opera en la práctica velocidades cercanas a 1.0 pie/s (0.3m/s), proporcionando tiempo suficiente para que las partículas de arena sedimenten en el fondo del canal. Bajo condiciones ideales, la velocidad de diseño debe permitir la sedimentación de las partículas más pesadas, mientras que partículas orgánicas pasan a través del sedimentador.

La velocidad de flujo se controla con las dimensiones del canal y el uso de vertederos con secciones especiales para el efluente. La extracción de arenas sedimentadas en los desarenadores de flujo horizontal se realiza mediante un mecanismo transportador dotado de raspadores o cangilones. La elevación de las arenas para su posterior lavado y disposición se realiza mediante tornillos o elevadores de cangilones. En plantas pequeñas es común la limpieza manual de los desarenadores.

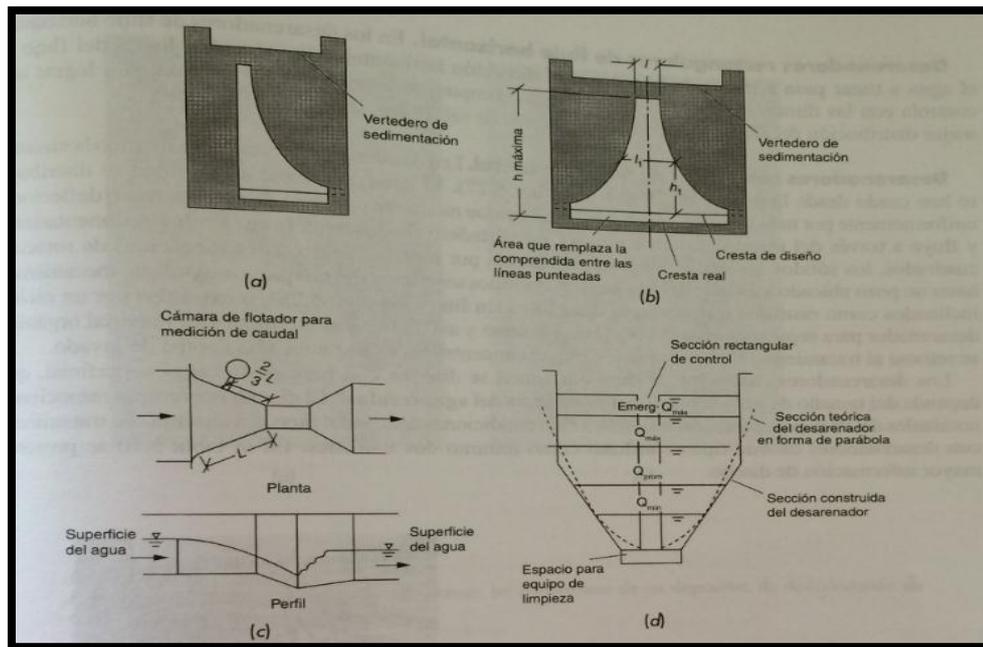


Figura 2 - 1: Secciones comunes de control usados en desarenadores de canal con flujo horizontal, para mantener constante la velocidad a: vertedero Sutro, b; vertedero proporcional, c; Canaleta Parshall y d: Canal de sección parabólica con salida rectangular

Fuente: (TCHOBANOGLIOUS, 2010, pág. 293)

➤ *Desarenadores Cuadrados de Flujo Horizontal*

Los desarenadores cuadrados de flujo horizontal se han usado desde la década de 1930, el caudal afluente a la unidad se distribuye uniformemente por toda la sección transversal del tanque mediante una serie de compuertas o deflectores y fluye a través del mismo hasta rebosar por un vertedero de descarga libre. En los sedimentadores cuadrados, los sólidos que sedimentan se transportan por medio de barredores mecánicos de rotación hasta un pozo ubicado a un lado del tanque.

Los sólidos se extraen del tanque con la ayuda de mecanismos inclinados como rastrillos reciprocantes o tronillos sin fin, o extraídos por un ciclón desarenado para separar el material orgánico presente y así concentrar las arenas.

1.5.1.2. *Tratamiento Primario*

El principal objetivo es el de remover aquellos contaminantes que pueden sedimentar, como por ejemplo los sólidos sedimentables y algunos suspendidos o aquellos que pueden flotar como las grasas.

1.5.1.2.1. *Aireación*

En purificación y tratamiento de aguas se entiende por aireación el proceso mediante el cual se pone el agua en contacto íntimo con el aire, con el propósito de modificar las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella.

La transferencia de oxígeno es fundamental para el tratamiento biológico de las aguas residuales. El funcionamiento de los procesos biológicos tales como lodos activados, filtración biológica y digestión aeróbica dependen de la cantidad de oxígeno disponible, con las características propias del sistema a trabajar se realiza la selección los sistemas de aireación que dependen del tipo y geometría del reactor, los costos y el sistema de operación.

Las funciones más importantes de la aireación son:

- a) Disminuir la concentración de CO_2
- b) Disminuir la concentración de H_2S
- c) Remover gases como CH_4 , Cl y NH_4
- d) Oxidar Fe y Mn
- e) Remover compuestos orgánicos volátiles
- f) Remover sustancias volátiles productoras de olores y sabores

“En tratamiento de aguas residuales la función más común del sistema de aireación es transferir oxígeno al líquido, a las tasas requeridas para que el oxígeno no limite la utilización de la materia orgánica y las funciones metabólicas de los microorganismos. La aireación representa una de las operaciones de uso más intensivo de energía en los sistemas de tratamiento, mediante equipos de aireación difusa, equipos de turbina y aireadores mecánicos”. (Romero, 2004, pág. 29)

1.5.1.2.2. *Sedimentación primaria*

Se realiza en tanques ya sean rectangulares o cilíndricos en donde se remueve de un 60 a 65% de los sólidos sedimentables y de 30 a 35% de los sólidos suspendidos en las aguas residuales. En

la sedimentación primaria el proceso es de tipo floculento y los lodos producidos están conformados por partículas orgánicas.

En los parámetros de diseño un tanque de sedimentación primaria tiene profundidades que oscilan entre 3 y 4 metros y un tiempo de retención entre 2 y 3 horas. En estos tanques el agua residual es sometida a condiciones de reposo para facilitar la sedimentación de los sólidos sedimentables. El porcentaje de partículas sedimentadas puede aumentarse con tiempos de retención más altos, aunque se sacrifica eficiencia y economía en el proceso; las grasas y espumas que se forman sobre la superficie del sedimentador primario son removidas por medio de rastrillos que ejecutan un barrido superficial continuo.

1.5.1.2.3. Decantación

La decantación es el proceso mediante el cual se promueve el depósito del material en suspensión por acción de la gravedad. Por lo general, las aguas en movimiento arrastran partículas granulares y materia floculenta que, por su carácter liviano, se mantienen en suspensión. La remoción de materiales en suspensión se obtiene al reducir la velocidad del agua, hasta lograr que las partículas en suspensión se depositen en determinado tiempo de retención.

El decantador es un tanque generalmente de sección rectangular o circular, cuyo fondo muchas veces está inclinado hacia uno o más puntos de descarga. Este tanque posee dispositivos de entrada y salida del agua, previstos para evitar cortocircuitos y zonas muertas y obtener una mejor distribución del líquido en el interior de la unidad.

1.5.1.2.3.1. Mecanismos de la decantación

Cada partícula tiene una velocidad máxima por encima de la cual no hay decantación. Esta velocidad depende de la forma y, principalmente, de la densidad de la sustancia considerada. Una partícula dentro de la masa de agua del decantador está sujeta a la acción de dos fuerzas:

- a) Fuerza horizontal resultante del movimiento del agua en el decantador, que origina la velocidad horizontal (VH);
- b) Fuerza vertical debida a la acción de la gravedad, que causa la velocidad de sedimentación (Vs).

En consecuencia, la partícula avanza en el decantador y baja simultáneamente hasta aproximarse al fondo. Si en el decantador la partícula solo posee tales movimientos, entonces el tiempo necesario para que el agua lo atravesara sería igual al tiempo que demora en llegar al fondo, pero esto, en la práctica, no sucede, porque existen movimientos ascendentes del agua que se deben a las variaciones de temperatura, a la acción de los vientos, etc.

1.5.1.2.4. Coagulación

La coagulación tiene como finalidad anular las cargas eléctricas de las partículas y transformar las impurezas que se encuentran en suspensiones finas o en estado coloidal y algunas que están disueltas en partículas que puedan ser removidas por la decantación (sedimentación) y la filtración. Tales aglomerados gelatinosos se agrupan y producen los flóculos (floculación).

1.5.1.2.4.1. Coagulación - Floculación

Se llama coagulación – floculación al proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al del agua llamadas floc dicho proceso se usa para:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no se puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacterias, virus, organismos patógenos susceptibles de ser separados por coagulación.
- Destrucción de algas plancton en general.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánico entre otros.

Hay que distinguir dos aspectos fundamentales en la coagulación – floculación del agua:

- a) La desestabilización de las partículas suspendidas. O sea la remoción de las fuerzas que las mantienen separadas.
- b) El transporte de ellas dentro del líquido para que hagan contacto, generalmente estableciendo puentes entre si y formando una malla tridimensional de coágulos porosos.

Al primer aspecto suelen referirse como coagulación y al segundo como la floculación. La coagulación comienza en el mismo instante en que se agrega los coagulantes al agua y dura solamente fracciones de segundo. Básicamente consiste en una serie de reacciones físicas y químicas entre los coagulantes, la superficie de las partículas, la alcalinidad del agua y el agua mismo.

La coagulación de las partículas coloidales se consigue añadiéndole al agua un producto químico (electrolito) llamado coagulante. Normalmente se utilizan las sales de hierro (cloruro férrico) y aluminio.

Se pueden considerar dos mecanismos básicos en este proceso:

A. Neutralización de la carga del coloidal

El electrolito al solubilizarse en agua libera iones positivos con la suficiente densidad de carga para atraer a las partículas coloidales y neutralizar su carga.

Se ha observado que el efecto aumenta marcadamente con el número de cargas del ion coagulante.

Así pues, para materias coloidales con cargas negativas, los iones Ba (bario) y Mg (magnesio), bivalentes, son en primera aproximación 30 veces más efectivos que el Na (sodio), monovalente; y, a su vez, el Fe (hierro) y Al (aluminio), trivalentes, unas 30 veces superiores a los divalentes. Para los coloides con cargas positivas, la misma relación aproximada existe entre el ion cloruro, Cl⁻, monovalente, el sulfato, (SO₄)⁻², divalente, y el fosfato, (PO₄)⁻³, trivalente.

B. Inmersión en un precipitado o flóculo de barrido.

Los coagulantes forman en el agua ciertos productos de baja solubilidad que precipitan. Las partículas coloidales sirven como núcleo de precipitación quedando inmersas dentro del precipitado. La Floculación es el fenómeno por el cual las partículas ya desestabilizadas chocan unas con otras para formar coágulos mayores. Existen dos mecanismos que pueden actuar:

Primer fenómeno o también llamado de adsorción – desestabilización basado en las fuerzas electrostáticas de atracción y repulsión, el de puente químico que establece una relación de dependencia entre las fuerzas químicas y de la superficie de los coloides, y el de sobresaturación de la concentración de coagulantes en el agua.

En el segundo aspecto debe distinguirse entre: floculación ortocinética y pericinetica. La primera es la inducida por la energía comunicada al líquido por fuerzas externas (paletas giratorias) la segunda es la promovida, internamente dentro del líquido, por el movimiento de agitación que las partículas tienen dentro de aquel movimiento, y se realiza en un tiempo muy corto después de desestabilizada la partícula.

➤ *Reactivos coagulantes y floculantes más comunes*

Sulfato de Alúmina: Conocido como Alumbre, es un coagulante efectivo en intervalos de pH 6 a 8. Produce un flóculo pequeño y esponjoso por lo que no se usa en precipitación previa de aguas residuales por la alta carga contaminante del agua. Sin embargo su uso está generalizado en el tratamiento de agua potable y en la reducción de coloides orgánicos y fósforo.

Sulfato Férrico: Funciona de forma estable en un intervalo de pH de 4 a 11, uno de los más amplios conocidos. Producen flóculos grandes y densos que decantan rápidamente, por lo que está indicado tanto en la precipitación previa como en la coprecipitación de aguas residuales urbanas o industriales. Se emplea también en tratamiento de aguas potables aunque en algún caso puede producir problemas de coloración.

Cloruro Férrico: Es similar al anterior aunque de aplicación muy limitada por tener un intervalo de pH más corto. Es enérgico aunque puede presentar problemas de coloración en las aguas.

Aluminato sódico: Se emplea poco. Su uso más habitual es eliminar color a pH bajo. Además se puede usar en el ablandamiento de agua con cal

➤ *Polielectrolitos*

Son polímeros orgánicos con carga eléctrica, inicialmente se utilizaron los de origen natural, como almidón, celulosa, gomas de polisacáridos, etc. Hoy en día se usan una gran variedad de polielectrolitos sintéticos, ya que estos pueden actuar solos o como coadyuvantes para floculación.

Los polielectrolitos pueden clasificarse en:

- Catiónicos: Cargados positivamente, estos tipos de polielectrolitos catiónicos son poliaminas que se hidrolizan en agua como sigue:



Puesto que la hidrólisis da OH^- , a pH alto se fuerza la reacción a la izquierda y el polímero se vuelve no iónico.

- Aniónicos: Cargados negativamente. - No iónicos: No son polielectrolitos en sentido estricto aunque exhiben en disolución muchas de las propiedades floculantes de los anteriores. Los polímeros aniónicos incorporan a su estructura un grupo carboxilo que en agua se ioniza del siguiente modo:



Un pH bajo fuerza la reacción a la izquierda y transforma el polímero aniónico en no iónico. Según esto, generalmente se usan los polímeros catiónicos a bajos pHs y los aniónicos a altos pHs. Esto no significa que en caso contrario dejen de funcionar, lo que ocurre es que se transforman en no iónicos, lo que hará variar en cierto modo su efectividad en el tratamiento concreto a que se aplican.

1.5.1.3. Tratamiento Secundario

El tratamiento secundario de depuración constituye una serie de importantes procesos de naturaleza biológica de tratamiento de las aguas residuales que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto coloidal como disuelta, así como la eliminación de compuestos que contienen elementos nutrientes (N y P).

En la mayor parte de los casos, la materia orgánica constituye la fuente de energía y de carbono que necesitan los microorganismos para su crecimiento. Además, también es necesaria la presencia de nutrientes, que contengan los elementos esenciales para el crecimiento, especialmente los compuestos que contengan N y P, y por último, en el caso de sistema aerobio, la presencia de oxígeno disuelto en el agua. Este último aspecto será clave a la hora de elegir el proceso biológico más conveniente.

1.5.1.3.1. Lagunas Anaerobias

Las lagunas anaerobias se utilizan normalmente como primera fase en el tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales con alto contenido en materia orgánica biodegradable. El objetivo primordial de estas lagunas es la reducción de contenido en sólidos y materia orgánica

del agua residual, y no la obtención de un efluente de alta calidad. Por esta razón, las lagunas anaerobias operan en serie con lagunas facultativas y de maduración.

Generalmente se utiliza un sistema compuesto por al menos una laguna de cada tipo en serie, para asegurar que el efluente final de la planta depuradora va a poseer una calidad adecuada durante todo el año.

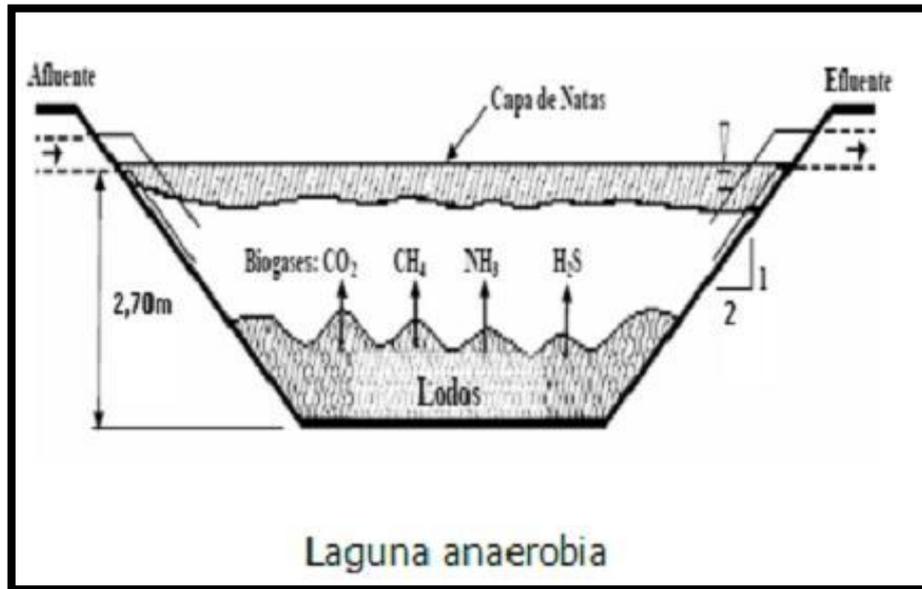
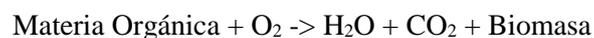


Figura 3 - 1: Laguna Anaerobia.

Fuente: Oakley, S. M. 2005.

1.5.1.3.2. Laguna Aerobia

En el tratamiento de las aguas servidas, se llaman lagunas aeróbicas o lagunas de oxidación, cuando se usa el oxígeno molecular disuelto como aceptador de electrones, el proceso es aeróbico y se conoce también como respiración aeróbica. En la forma simplificada:



La oxidación biológica aeróbica es la conversión bacteriana de los elementos, de su forma orgánica a su forma inorgánica altamente oxidada, en un proceso conocido también como Mineralización.

La mineralización o descomposición microbiológica del material orgánico de las aguas residuales en productos finales inorgánicos como dióxido de carbono, agua, nitrógeno amoniacal o nitratos, orto fosfatos y sulfuros es característica de la oxidación aeróbica de carbohidratos y lípidos; sin embargo, no se aplica a muchos compuestos aromáticos que tienen

masa molecular alta, estado de oxidación alto y son estables bioquímicamente, como la lignina, materia húmica y muchos hidrocarburos aromáticos clorados.

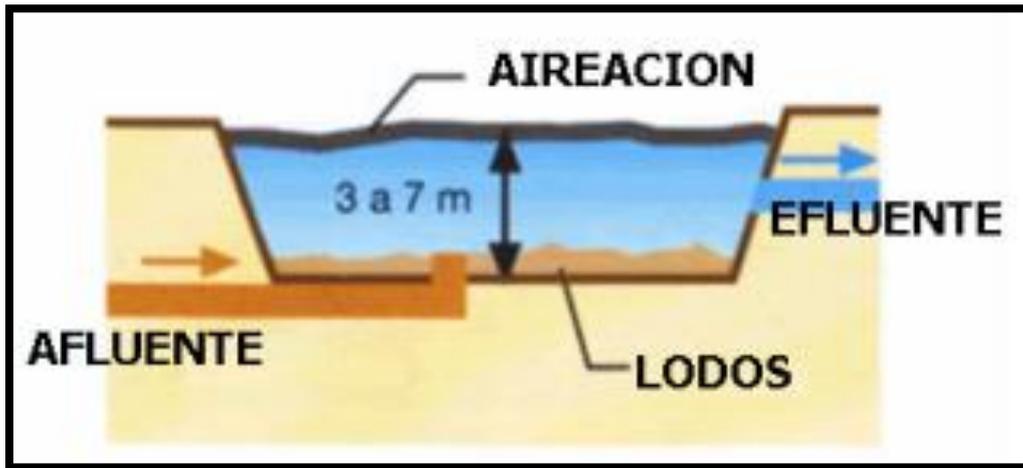


Figura 4 - 1. Diseño de una Laguna Aireada

Fuente: http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_29.pdf

1.5.1.3.3. *Laguna Facultativa*

Las lagunas facultativas son aquellas que poseen una zona aerobia y una zona anaerobia, situadas respectivamente en superficie y fondo. Por tanto, en estas lagunas podemos encontrar cualquier tipo de microorganismo, desde anaerobios estrictos en el fango del fondo hasta aerobios estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie. Sin embargo, los seres vivos más adaptados al medio serán los microorganismos facultativos, que pueden sobrevivir en las condiciones cambiantes de oxígeno disuelto típicas de estas lagunas a lo largo del día y del año.

Además de las bacterias y protozoos, en las lagunas facultativas es esencial la presencia de algas, que son las principales suministradoras de oxígeno disuelto. Las lagunas facultativas son los más usados y versátiles entre las diferentes clases de lagunas, por la combinación de dos procesos simultáneos por su característica de tener la presencia y ausencia de oxígeno en la misma laguna.

El tratamiento se desarrolla por acción de bacterias aerobias en la capa superior y de bacterias anaerobias en la capa inferior, dependiendo de la mezcla que se induce por acción del viento. El aporte de oxígeno se logra por fotosíntesis y por la aireación natural superficial.

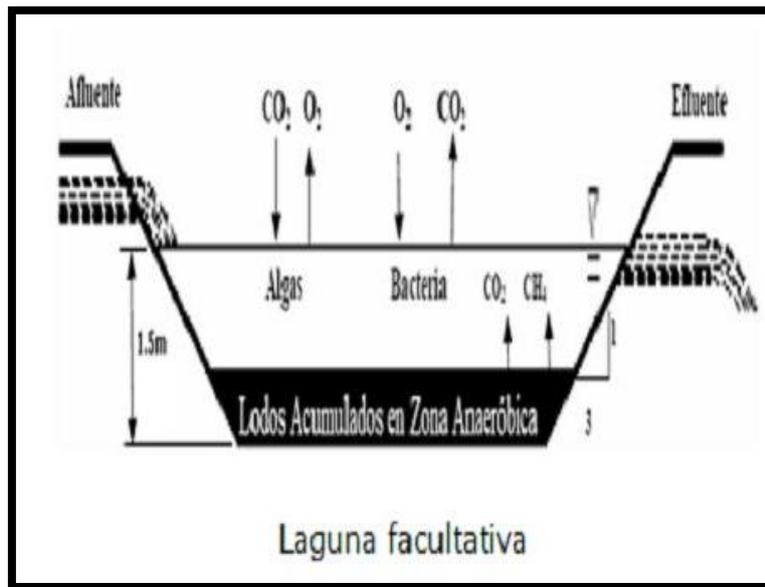


Figura 5 - 1: Laguna con Procesos Facultativos

Fuente: Oakley, S. M. 2005.

1.5.1.4. Tratamiento Terciario

El tratamiento terciario se emplea para separar la materia residual de los efluentes de procesos de tratamiento biológico, a fin de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua receptores, o bien, obtener la calidad adecuada para su diferente utilización al final del tratamiento.

1.5.1.4.1. Filtración

Es considera como operación unitaria para los procesos de tratamiento de aguas residuales, es una práctica relativamente reciente. Actualmente la filtración se emplea, de modo generalizado, para conseguir una mayor eliminación de sólidos en suspensión, de los efluentes de los procesos de tratamientos biológicos y químicos.

El objetivo básico de la filtración, por lo tanto, es separar las partículas y microorganismos objetables, que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. En consecuencia el trabajo que los filtros desempeñan, depende directamente de la mayor o menor eficacia de los procesos preparatorios.

La filtración puede efectuarse de muchas formas: con baja carga superficial (filtros lentos) o con alta carga superficial (filtros rápidos), en medios porosos (pastas arcillosas, papel de filtro) o en medios granulares (arena, antracita, granate o combinados), con flujo ascendente; descendente y

mixto (parte ascendente y parte descendente). Por otro lado, el filtro puede trabajar a presión o por gravedad, según sea la magnitud de la carga hidráulica que exista sobre el lecho filtrante.

En los filtros de arena de acción rápida con superficie libre, el agua desciende por gravedad a través de la arena a alta velocidad. Se utilizan para efluentes de aguas residuales provenientes de un tratamiento secundario, y es indispensable un pretratamiento con un coagulante para eliminar la mayor parte de las materias en suspensión por asentamiento. El filtro de arena de acción rápida, se limpia con una corriente de agua en dirección contraria, que expande y lava la arena separando los sólidos acumulados. (Arboleda, 2000)

1.5.1.4.1.1. Clasificación de los sistemas de filtración

Tabla 5 - 1: Clasificación de los filtros según su forma de operar

Operación del Filtro	Tipo de Filtro	Detalle del Lecho Filtrante			Dirección de Flujo	Lavado
		Tipo de lecho	Medio	Profundidad		
Semicontínuo	Convencional	Único	Arena o antracita	75	Descendiente	Discontinuo
Semicontínuo	Convencional	Doble	Arena y antracita	90	Descendiente	Discontinuo
Semicontínuo	Convencional	Múltiple	Arena, antracita y gránale	90	Descendiente	Discontinuo
Semicontínuo	Lecho profundo	Único	Arena o antracita	120 – 180	Descendiente	Discontinuo
Semicontínuo	Lecho profundo	Único	Arena	120 – 180	Ascendiente	Discontinuo
Semicontínuo	Lecho pulsatorio	Único	Arena	27.5	Descendiente	Discontinuo
Continuo	Lecho profundo	Único	Arena	120 – 180	Ascendiente	Continuo
Continuo	Puente Móvil	Único	Arena	27.5	Descendiente	Semicontínuo
Continuo	Puente Móvil	Doble	Arena	40	Descendiente	Semicontínuo

Fuente: (METCALF Y EDDY , 2006)

1.5.1.4.1.2. Tipos de medios filtrantes

Los principales tipos de configuración de los lechos filtrantes empleados actualmente para la filtración de aguas están representados en la Figura y se pueden clasificar en función del número de capas de material filtrante, lo cual da lugar a los filtros de una única capa, los de doble capa y los filtros multicapa. (METCALF Y EDDY , 2006)

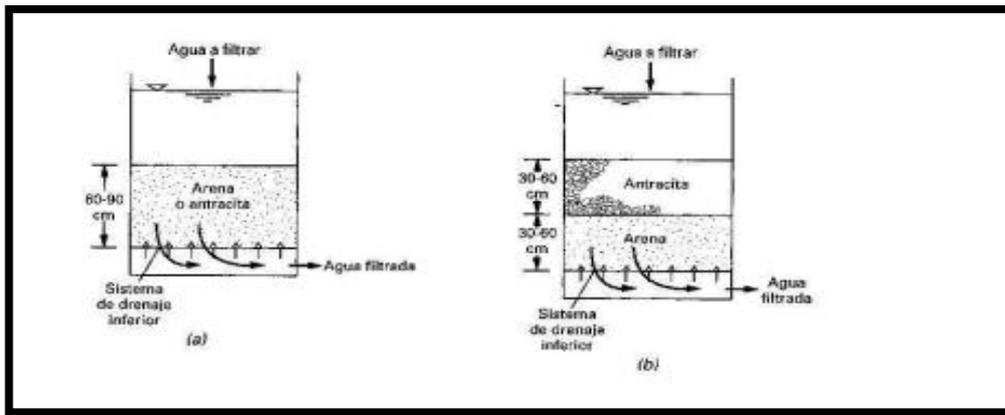


Figura 6 - 1: Tipos y configuración de medios filtrantes: (a) filtro convencional, monocapa, flujo descendente; (b) filtro convencional, bicapa, flujo descendente.

Fuente: (METCALF Y EDDY , 2006)

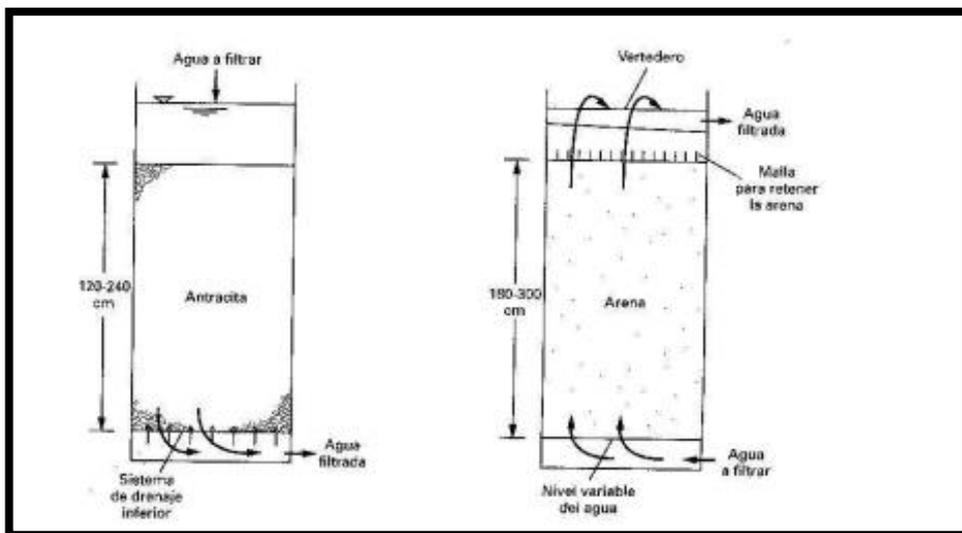


Figura 7 - 1: Tipos y configuración de medios filtrantes; (c) filtro convencional, monocapa, de lecho profundo, flujo descendente; (d) filtro de lecho profundo y flujo ascendente

Fuente: (METCALF Y EDDY , 2006)

1.5.1.5. Lecho de Secado

El lecho de secado es básicamente una estructura filtrante que permite que los lodos que se generan en los tanques anaerobios y aerobios sean evacuados, secados y filtrados con el fin de devolver el lixiviado al tratamiento y evitar así que estos líquidos altamente contaminantes pasen directamente a la quebrada sin ningún tratamiento.

Este proceso de deshidratación es uno de los más antiguos y más sencillos debido a su eficiencia y economía. Generalmente son rectangulares, poco profundos y con fondos porosos que utilizan una red de drenaje hasta un tanque acumulador de lixiviado (líquido filtrado altamente contaminado)

La deshidratación del lodo tiene lugar debido al drenaje de las capas inferiores y a la evaporación de la superficie bajo la acción del sol y el viento. El lodo pastoso se agrieta a medida que se seca, lo que permite mayor evaporación y el escape del agua de lluvia de la superficie. En buenas condiciones, el contenido de sólidos que se obtiene es casi del 25% en unas cuantas semanas; El periodo de secado del lodo oscila entre una 10 y 30 días, dependiendo de las condiciones climáticas tales como lluvias, vientos, radiación solar y demás condiciones climáticas. (Santander)

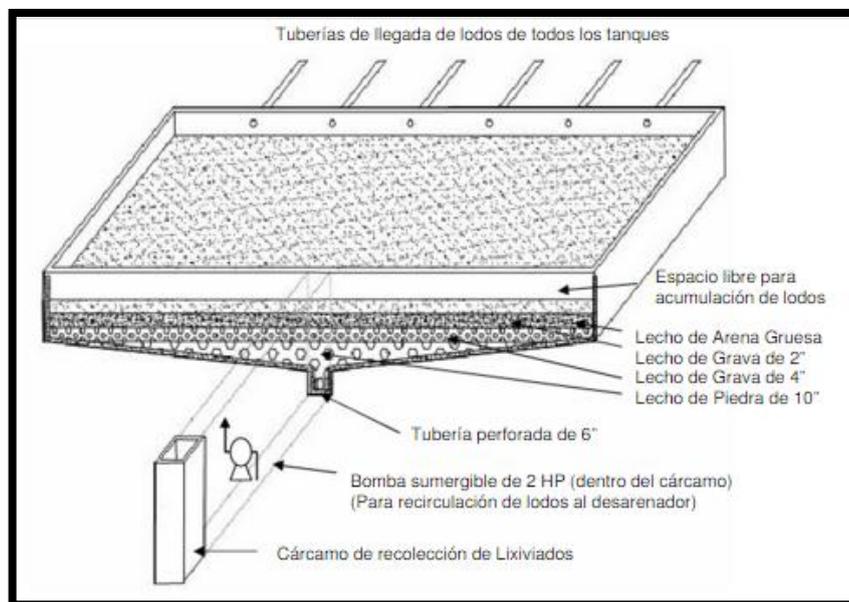


Figura 8 – 1: Diseño de un Lecho de Secado

Fuente: (Santander)

1.6. REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

1.6.1. Rediseño de Ingeniería

Es el diagnóstico total de un proceso, con la finalidad de ser mejorado, aumentando su eficiencia y rendimientos, de la misma manera disminuyendo el uso de materiales, energía y costos, para poder ser aplicados a sistema de tratamiento de aguas residuales que actualmente se dispone.

1.6.1.1. Caudal

En mecánica de fluidos, caudal representa la cantidad de fluido que avanza en una unidad de tiempo. Normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. La medición de caudales se encuentra incluida en las operaciones físicas unitarias más utilizadas en el tratamiento de aguas residuales.

1.6.1.1.1. Métodos volumétricos

La forma más sencilla de calcular los caudales pequeños es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. La corriente se desvía hacia un canal o cañería que descarga en un recipiente adecuado y el tiempo que demora su llenado se mide por medio de un cronómetro.

Para determinar el caudal podemos utilizar la siguiente ecuación:

$$Q = V/t \quad \text{Ec. 1}$$

Dónde:

Q = Caudal (m³/s)

V = Volumen (m³)

t = Tiempo (s)

1.6.1.1.2. Cálculo del Caudal de diseño de la Extractora

Tabla 6 – 1: Capacidad de Procesamiento de la Extractora “La Sexta”

Parámetro	Abreviatura	Unidad de Medición	Valor Establecido
Fruta Procesada	Td	Ton / h	21
Agua Consumida	Et	m ³ / Ton	0.6
Tiempo trabajado	Tt	H	24

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

$$Q_{Dis} = Td * Et * Tt \quad Ec. 2$$

Donde:

Q_{Dis} = Caudal de diseño (m³/día)

Td = Cantidad de fruta procesada al día (Ton/ h)

Et = Agua consumida para procesar fruta (m³/Ton)

Tt = Tiempo total trabajado por la empresa (h)

1.6.1.1.3. Método velocidad/superficie

Este método depende de la medición de la velocidad media de la corriente y del área de la sección transversal del canal, calculándose a partir de la fórmula:

$$Q = A * v \quad Ec. 3$$

Donde:

Q = Caudal (m³/s)

v = velocidad (m/s)

A = área (m²)

1.6.2. Tratamientos para aguas Residuales de Extractoras

1.6.2.1. Pretratamiento

1.6.2.1.1. Tanque Florentino

Sirven para remover en lo posible, materiales sedimentables tales como arenas y trozos de fruta, de manera a evitar el desgaste de tuberías y bombas. De igual manera sirve para recuperar aceite que

puede retornarse al proceso. Los tanques florentinos permiten que el aceite (menos denso que el agua) se ubiquen en la parte superior de los tanques, lo que facilita su recuperación por medio del reboce.

Son tanques diseñados para recuperar aceite, el cual permite que el aceite de menor densidad del agua, se ubique en la parte superior del tanque, mediante esta acción facilita su recuperación, los cuales son bombeados nuevamente al proceso para evitar la descarga al sistema de tratamiento de aguas residuales. Estos tanques también se presenta la sedimentación de sólidos pesados, lo cual su limpieza y evacuación es periódica.



Figura 9 – 1: Tanque florentino, utilizado en las extractoras para recuperación de aceite

Fuente: <http://cultivopalma.webcindario.com/lagunas.htm>

1.6.2.1.1.1. Cálculo del área del tanque

Tabla 7 – 1: Dimensiones del Tanque florentino; Base, Longitud, Altura

Base (m)	Longitud (m)	Altura (m)
3.5	28	1.23

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

Utilizando los valores de la **Tabla 7 – 1**, determinamos el valor del área del tanque florentino con la siguiente ecuación:

$$A_f = b * h \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

A_f = Área del tanque florentino (m²)

b = Largo del tanque florentino (m)

h = Altura del tanque florentino (m)

1.6.2.1.1.2. *Cálculo del Volumen del Tanque Florentino*

$$V = A_f * l \quad \text{Ec. 5}$$

Donde

V = Volumen del tanque florentino (m³)

A_f = Área del tanque florentino (m²)

l = longitud del tanque florentino (m)

1.6.2.1.1.3. *Cálculo del tiempo de retención en el tanque florentino*

$$t_R = V/Q_{dis} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde:

t_R = tiempo de retención en el tanque (h)

Q_{dis} = Caudal de diseño (m³/h)

V = Volumen del tanque florentino (m³)

1.6.2.1.1.4. *Cálculo del Caudal del tanque florentino*

Se requiere calcular el caudal a la cual circula el fluido dentro del tanque florentino, para poder establecer la cantidad de aceite recuperado, el caudal se lo determina mediante la siguiente formula:

$$Q = V/t \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño del tanque florentino (m³/h)

V = Volumen del tanque florentino (m³)

t = tiempo de retención (h)

1.6.2.1.1.5. Cálculo del Aceite Recuperado en el Tanque Florentino

Para realizar el cálculo del aceite recuperado, se debe considerar la densidad del aceite y la temperatura a la cual sale del tanque florentino.

➤ *Cálculo de la densidad*

Aplicando el método de la “Norma AOAC 26.004” y considerando el valor del aceite, se establece lo siguiente:

$$D_a = D - 0.000675 (T - 30 \text{ } ^\circ\text{C}) \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

D_a = Densidad del aceite a una temperatura kg / m³.

D = Densidad del aceite a una temperatura de 30 °C

T = Temperatura para D_a °C.

➤ *Cálculo del volumen de aceite recuperado*

$$V = \frac{m}{D_a} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

V = Volumen del aceite recuperado (m³)

D_a = Densidad del aceite a una temperatura kg / m³.

m = masa del aceite recuperado (kg)

➤ *Eficiencia de recuperación de aceite*

$$\%A_R = \frac{A_i - A_f}{A_i} * 100\% \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

% A_R = Porcentaje de remoción del desarenador (%)

A_i= Cantidad de aceite y grasa previa al ingreso del tanque florentino (mg/l)

A_f= Cantidad de Aceite y grasa a la salida del tanque florentino (mg/l)

1.6.2.1.2. *Canal de unión del Florentino con el Desarenador*

Tabla 8 - 1: Dimensiones del Canal

Base (m)	Longitud (m)	Altura (m)
0.40	32.5	0.28

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

1.6.2.1.2.1. *Cálculo del área del canal*

$$A = b * h \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

A = Área del canal (m²)

b = base del canal (m)

h = altura del canal (m)

1.6.2.1.2.2. *Cálculo del Perímetro Mojado*

$$P_m = b + 2y \quad \text{E. 12}$$

Donde:

P_m = Perímetro mojado del canal (m)

b = base del canal (m)

y = altura del canal (m)

1.6.2.1.2.3. *Cálculo del Radio Hidráulico del Canal*

Es un parámetro importante en el dimensionado de canales, tubos y otros componentes de las obras hidráulicas, generalmente es representado por la letra R, y expresado en m es la relación entre el área mojada (A, en m²) y el perímetro mojado (P, en m).

➤ *Cálculo según la sección del canal*

Las expresiones que permiten su cálculo son función de la forma geométrica de la sección transversal del canal.

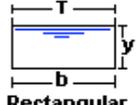
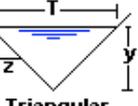
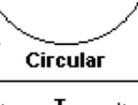
Tipo de sección	Área A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\frac{\text{sen}\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$2/3 Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Figura 10 – 1: Secciones utilizadas en el diseño de canales

Fuente: <http://ivanepinoza-hidraulica.blogspot.com/>

$$Rh = \frac{A}{P_m} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

Rh = Radio hidráulico (m)

b = base del canal (m)

h = altura del canal (m)

1.6.2.1.2.4. Cálculo de la velocidad del flujo previo al ingreso del desarenador

$$v = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

v = velocidad de flujo (m²/s)

n = Coeficiente de Manning

Rh = Radio hidráulico (m)

S = Gradiente hidráulico (m/m)

1.6.2.1.3. Desarenador

El desarenador que actualmente cuenta la empresa es de flujo horizontal, el cual consta con una cámara de retención de arenas y con dos naves de sedimentación. En el estudio planteado no es necesario realizar un rediseño al desarenador, debido a que se encuentra cumpliendo con los fines establecidos, por esta razón serán mencionadas las condiciones de diseño con el cual se encuentra trabajando.

1.6.2.1.3.1. Dimensiones del Desarenador

Tabla 9 – 1: Zona de Sedimentación de Arenas, costado izquierdo

Longitud (m)	Base (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volumen (m ³)
4.10	0.85	0.50	0.425	1.74

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

Tabla 10 – 1: Zona de Sedimentación de Arenas, costado derecho

Longitud (m)	Base (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volumen (m ³)
4.10	0.85	0.70	0.595	2.43

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

Tabla 11 – 1: Sección frontal del desarenador

Longitud (m)	Base (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volumen (m ³)
3.5	0.8	0.28	0.224	0.78

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

Tabla 12 – 1: Sección posterior del desarenador

Longitud (m)	Base (m)	Altura (m)	Área (m ²)	Volumen (m ³)
3.5	0.8	0.28	0.224	0.78

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

El área y el volumen total del desarenador se lo establece a través de la sumatoria de las cuatro secciones que consta el mismo (Zona # 1 – 2 de sedimentación, zona frontal y zona posterior). Siendo el área total 1.47m² y el volumen total 5.73m³.

1.6.2.1.3.2. Transición de Entrada del Desarenador

Une al canal con la nave de desarenación propiamente dicha, cuya transición debe ser proyectada de la mejor forma posible, pues la eficiencia de la sedimentación, depende de la uniformidad de la velocidad en la transición transversal. Las condiciones de diseño fueron consideradas en tal sentido que la longitud requerida de la transición del desarenador se la determinó con la siguiente fórmula requerida:

$$L_t = \frac{B_{des} - B_{can}}{2 \tan 12.5^\circ} \quad Ec. 15$$

Donde:

L_t = Longitud de transición (m)

B_{des} = Ancho del desarenador a nivel de la superficie libre (m)

B_{can} = Ancho del canal a nivel de la superficie (m)

1.6.2.1.3.3. Velocidad de flujo en el desarenador

La velocidad media de flujo que debe prevalecer en el desarenador para garantizar la decantación de las partículas sólidas presentes en el agua residual generada está dada por la siguiente ecuación:

$$v = a\sqrt{d} \quad Ec. 17$$

Donde:

v = velocidad del flujo del desarenador (cm / s)

Los valores de “a” depende del diámetro de diseño y son los siguientes valores:

Tabla 13 – 1: Valores de "a" según el diámetro de la partícula

Diámetro	Valor de a
Para $d > 1$ mm	$a = 36$
Para $0.1 < d < 1$ mm	$a = 44$

Para $d < 0.1$ mm	$a = 51$

Fuente: (METCALF Y EDDY , 2006)

1.6.2.1.3.4. Cálculo del Caudal del desarenador

$$Q = A * v \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

Q = Caudal del desarenador en forma rectangular (m^3/s)

A = área del desarenador (m^2)

v = velocidad del flujo del desarenador (cm / s)

1.6.2.1.3.5. Cámara de sedimentación

Es el compartimiento en el que las partículas sólidas decantan debido a la disminución de la velocidad de flujo producida por el aumento de la sección transversal, en el caso particular del diseño del desarenador establecido se realizó un aumento en la altura para lograr controlar la velocidad de flujo. El diseño hidráulico está en función del diámetro de las partículas para garantizar que dichas partículas mayor o igual al diámetro de diseño queden retenidas de manera efectiva. La condiciones en las cuales fue diseñado el desarenador, fueron establecidas dos cámaras de sedimentación con iguales condiciones de diseño, y una zona de retención de arenas, la cual se encuentra en la parte céntrica del desarenador y es evacuado las arenas retenidas semanalmente.

Tabla 14 –1: Dimensiones de la Cámara de sedimentación

Altura (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m^2)
0.28	3.10	0.40	0.112

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

1.6.2.1.3.6. Cálculo del Volumen de la Cámara de Sedimentación

$$Va = l * b * h \quad \text{Ec. 19}$$

Donde:

Va = Volumen de arena m^3

l = largo de la zona de retención de arenas (m)

b = base de la zona de retención de arenas (m)

h = altura de la zona de retención de arenas (m)

1.6.2.1.3.7. Velocidad de sedimentación en el Desarenador

La velocidad de sedimentación w_o , puede determinarse mediante la aplicación de muchos métodos, pero el método establecido para el diseño actual es mediante la tabla establecido por Arkangelski, el cual proporciona directamente el valor estimado de la velocidad de sedimentación, a partir del tamaño de la partícula, los cuales son los siguientes valores establecidos:

Tabla 15 – 1: Valores de la velocidad de sedimentación

d (mm)	w_o (cm/s)
0.05	0.178
0.10	0.692
0.15	1.560
0.20	1.160
0.25	2.700
0.30	3.240
0.35	3.780
0.40	4.320
0.45	4.860
0.50	5.400
0.55	5.940
0.60	6.480
0.70	7.320
0.80	8.070

1.00	9.44
2.00	15.29
3.00	19.25
5.00	24.90

Fuente: Arkangelski

1.6.2.1.3.8. Vertedero del desarenador

Las arenas sedimentadas son retiradas mediante un extractor de arenas, se debe tomar en cuenta que esta acción a ser realizada es manual, y se la realiza semanalmente para evitar aglomeraciones y taponamientos de las arenas. Posteriormente dichas arenas son retiradas y secadas para ser enviadas a lugares apropiadas (rellenos sanitarios). El vertedero opera con descarga libre, el cual por lo general su velocidad no supera los 1m/s.

➤ Caudal del vertedero

$$Q = CL H^{3/2} \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

Q = caudal m³/s

C = coeficiente de descarga (1.84 cresta cruda y 2.0 perfil de Creager) (m/s)

L = longitud de la cresta (m)

H = carga sobre la cresta del vertedero (m)

➤ Compuerta de purga

$$Q = Cd A_o \sqrt{2gH} \quad \text{E. 21}$$

Donde

Q = Caudal de descarga (m³/s)

Cd = coeficiente de descarga 0.60

A_o = Área del orificio (m²)

H = carga sobre el orificio

g = aceleración de la gravedad 9.81 m/s²

➤ *Velocidad de salida*

$$v = \frac{Q}{A_o} \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

v = Velocidad de salida de la compuerta (m/s)

Q = Caudal descargado por la compuerta (m³/s)

A_o = Área del orificio (m²)

Tabla 16 - 1: Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación.

Material	ϕ Límite de las partículas (cm)	# de Reynolds	Vs	Régimen	Ley Aplicable
Grava	>1.0	>10 000	100	Turbulento	$V_s = 1.82 \sqrt{dg \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)}$ <p style="text-align: center;">Newton</p>
Arena Gruesa	0.100 0.080 0.050 0.050 0.040 0.030 0.020 0.015	1 000 600 180 27 17 10 4 2	10.0 8.3 6.4 5.3 4.2 3.2 2.1 1.5	Transición	$V_s = 0.22 \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} g \right)^{2/3} \left[\frac{d}{(\mu/\rho)^{1/3}} \right]$ <p style="text-align: center;">Allen</p>
Arena Fina	0.010 0.008 0.006 0.005 0.004 0.003 0.002 0.001	0.8 0.5 0.24 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	0.8 0.6 0.4 0.3 0.2 0.13 0.06 0.015	Laminar	$V_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_a - \rho}{\mu} \right) d^2$ <p style="text-align: center;">Stokes</p>

Fuente: G. Rivas Mijares; "Tratamiento de aguas residuales"; Segunda Edición; España; 1978.

1.6.2.1.3.9. Cálculo del porcentaje de remoción del desarenador

Mediante la caracterización realizada antes y después del desarenador que se cuenta nos permite determinar que se están removiendo 510408 mg/l, lo que nos permite determinar la eficiencia de la siguiente forma:

$$\%Ra = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100\% \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

% Ra = Porcentaje de remoción del desarenador (%)

C_i = Concentración del agua antes del ingreso al desarenador en mili gramos de arena (mg/l)

C_f = Caracterización del agua a la salida del desarenador (mg/l)

1.6.2.1.3.10. Características, Cantidades y Disposición.

Las arenas pueden contener cascaras de huevo, pedazos de huesos, semillas granos de café y partículas orgánicas de gran tamaño tales como lo residuos de comidas. A continuación se consideran las características y cantidades de arena que pueden ser removidas de aguas residuales municipales.

➤ Características de las arenas

En general la mayor parte de material removido como arena es en esencia inerte y relativamente seco: sin embargo, la composición de las arenas es muy variable, con contenidos de humedad que varía entre 13% y 65%, y contenido de material volátil entre 1% y 56%. La gravedad específica de las partículas de arena limpia alcanza valores de 2.7 si está compuesta principalmente por materia inerte, pero puede tener valores tan bajos con 1.3 si se encuentra abundante materia orgánica aglomerada con el material inerte.

Es común usar como densidad global de las arenas el valor de 100 lb/pe3 (1600 kg/m³). La mayoría de los problemas que se originan por causa de las arenas son atribuidos a tamaño de partículas iguales o superiores a 0.2 mm. La distribución real del tamaño de partículas para las arenas que son removidas varía ampliamente, debido a las diferentes características de los sistemas de recolección de agua residual, y a variaciones en la eficiencia de remoción de arenas.

En general, la mayor parte de las partículas de arenas se retienen sobre un tamiz de malla 100 (0.15mm), alcanzando incluso un porcentaje de remoción del 100% en algunos casos, siempre y cuando las condiciones de diseño hayan sido las apropiadas para el sistema a ser utilizado.

➤ *Cantidad de Arena*

La cantidad de arena varia ampliamente de una localidad a otra, dependiendo del tipo de sistemas de recolección, las características del área de drenaje, el estado de la red de alcantarillado, la frecuencia con que se esparce arena en las calles para combatir las heladas, las clases de vertimientos industriales, el número de trituradores domésticos de basura y el contenido de arena en el suelo de la región.

La cantidad de arena puede variar de 0.5 a más de 30 pie³/Mgal (0.0037 a 0.22 m³/10³m³), en vista de los serios problemas relacionados con las arenas se deben realizar estudios especiales orientados a definir la cantidad de arena esperada en los sistemas de tratamiento.

➤ *Separación y Lavado de Arenas:*

La arena sin lavar puede contener 50% o más de materia orgánica; una inapropiada disposición de este material ocasionaría la proliferación de insectos y roedores tanto en clima caliente como frio, si la arena no lavada no es dispuesta con prontitud su descomposición será rápida, liberando malos olores y trayendo insectos, principalmente moscas como consecuencia de la formación de ácidos orgánicos volátiles, varias unidades de separación y lavado se han diseñado con el fin de obtener arena libre de material orgánico. (TCHOBANOGLIOUS, 2010)

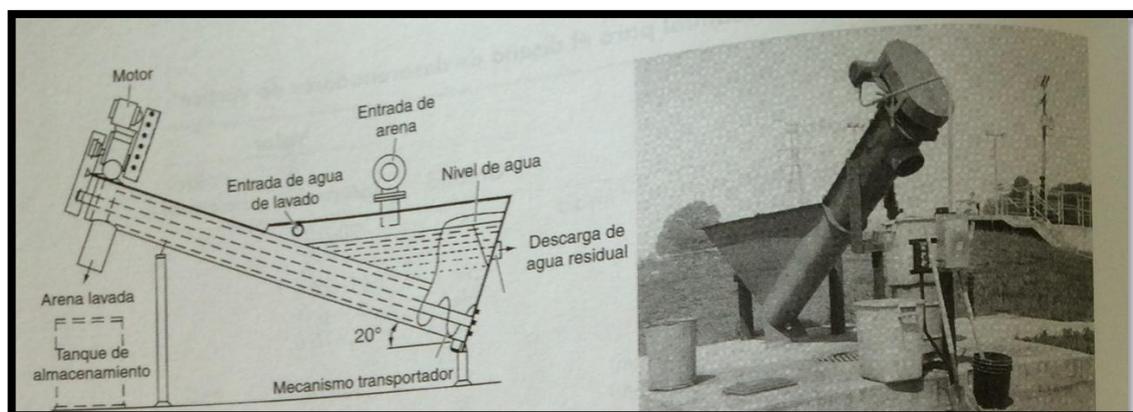


Figura 11 – 1: Equipo para remover material orgánico de las arenas

Fuente: (TCHOBANOGLIOUS, 2010, pág. 300)

➤ *Disposición de Arenas*

La forma más común de disponer arenas provenientes de pequeñas plantas de tratamiento es el relleno sanitario. Las arenas y los residuos del tamizado deben ser estabilizados con cal antes de su disposición en rellenos sanitarios.

1.6.2.2. Tratamiento Primario

1.6.2.2.1. Laguna de desaceitado

La recuperación del aceite ácido se lo realiza por decantación hacia la superficie y retiro posterior, manualmente el aceite es almacenado en un tanque, en donde posteriormente es recirculado hacia el proceso. El enfriamiento es importante para garantizar un trabajo óptimo de la población de microorganismos que actuarán en la siguiente laguna aerobia, ya que estos requieren temperaturas menores a 37 °C.

Los aspectos que se consideran para el diseño del tamaño de la laguna de desaceitado y enfriamiento, se basa principalmente en el tiempo de retención hidráulica, la cual se usan valores entre 7 – 9 días. El sistema de barrido con el que se logra separar el aceite del agua es superficial y es monitoreado todos los días hasta que se logre tener una capa de aceite de aproximadamente 3 cm de alto, este método puede variar de acuerdo a la producción, pero por lo general es cada 15 días.

1.6.2.2.1.1. Cálculo del caudal de la Piscina

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

Q = Caudal de la Piscina (m³/h)

V = Volumen (m³)

t = Tiempo que tarde en llenarse la piscina (h)

1.6.2.2.1.2. Dimensiones de la Piscina

La piscina consta de dimensiones no simétricas, por esta razón fueron medidos la longitud máxima y lo mismo con su base, las mismas que se detallan a continuación:

Tabla 17 – 1: Dimensiones de la Piscina de Desaceitado

Largo (m)	Ancho (m)
46.80	25.40

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

1.6.2.2.1.3. *Cálculo del área de la piscina*

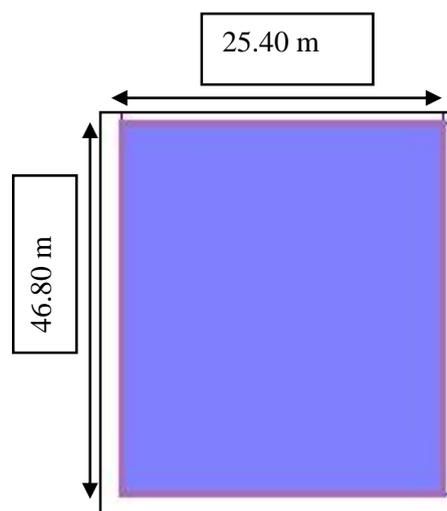


Gráfico: 1 – 1: Dimensiones largo, ancho de la piscina de desaceitado

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

$$A = l * a \quad \text{Ec. 25}$$

Donde:

A_m = Área máxima de la piscina (m²)

l = largo de la piscina (m)

a = ancho de la piscina (m)

1.6.2.2.1.4. *Cálculo de la altura*

Para poder establecer la altura de la piscina, se construyó un bote acompañado con una regleta, la cual se tomó medidas de diferentes zonas de la piscina.

Tabla 18 – 1: Altura en las diferentes zonas de la piscina de desaceitado

A1= 1.46 m	B1= 0.90 m
A2= 1.78 m	B2= 1.60 m

C1= 3.95 m C2= 3.50 m	D1= 3.15 m D2= 2.70 m
E1= 3.18 m E2= 4.00 m	F1= 2.67 m F2= 2.05 m
G1= 2.62 m G2= 2.65 m	H1= 2.52 m H2= 3.20 m

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

1.6.2.2.1.5. *Cálculo del volumen de la piscina de desaceitado*

$$V = A_T * h \quad \text{Ec. 26}$$

Donde:

V = Volumen de la piscina de desaceitado (m³)

A_T = Área total de la piscina de desaceitado (m²)

h = Altura promedio de la piscina (m)

1.6.2.2.1.6. *Cálculo del tiempo de retención hidráulico*

$$TRH = \frac{V}{Q} \quad \text{Ec. 27}$$

Donde:

TRH = Tiempo de retención hidráulico de la piscina (día)

V = Volumen máximo de la piscina (m³)

Q = Caudal de diseño (m³/día)

1.6.2.2.1.7. *Cálculo del porcentaje de remoción*

Para el cálculo del porcentaje de remoción se lo establece, a través del DBO, Sólidos Totales y los Aceites y Grasas que es la principal función de esta piscina.

$$\%R_X = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100\% \quad \text{Ec. 28}$$

Donde:

$\% R_X$ = Porcentaje de remoción de (%)

C_i = Caracterización del agua antes del ingreso al desarenador (mg/l)

C_f = Caracterización del agua a la salida del desarenador (mg/l)

1.6.2.2.1.8. *Dimensiones del tanque del aceite recuperado*

La extractora cuenta con un tanque de almacenamiento de aceite, el cual es considerado como aceite secundario, que será bombeado al proceso, para ser reprocesado y posteriormente vendido. Este tanque cuenta con las siguientes dimensiones:

Tabla 19 – 1: Dimensiones del Tanque de almacenamiento de Aceite recuperado

Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Área (m ²)
1.20	1.20	1.20	1.44

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

➤ *Cálculo del Volumen del tanque*

$$V = A * h \quad \text{Ec. 29}$$

Donde:

V = Volumen del tanque de almacenamiento de aceite (m³)

A = área del tanque (m²)

h = altura del tanque (m)

1.6.2.2.2. *Aireador en Cascada y Vertedero*

En este tipo de aireadores se deja caer el agua, en láminas o capas delgadas, sobre uno o más escalones. El aireador de cascada se diseña como una escalera; cuanto más grande sea el área horizontal, más completa es la aireación. Esto ocurre en las áreas de salpicamiento en forma similar a como sucede en un río turbulento; por ello se acostumbra a colocar salientes, bloques o vertederos en los extremos de los escalones. (Romero, 2004, pág. 39)

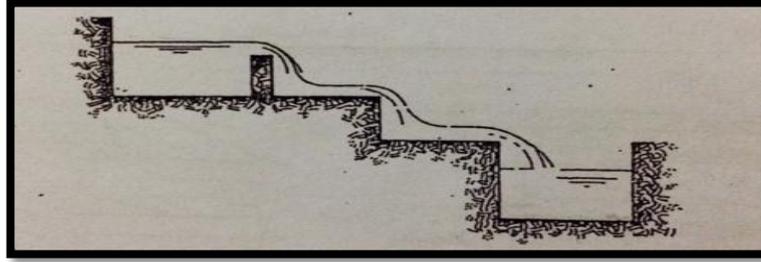


Figura 12 – 1: Aireador de Cascadas

Fuente: Romero Rojas 2da Edición pag. 41

Es posible mejorar la aireación creando turbulencia, es decir mayor relación área/volumen, cuando el agua cae libremente de un nivel superior a un nivel inferior que cuando se cae deslizándose sobre la cara del vertedero. (Romero, 2004, pág. 39)

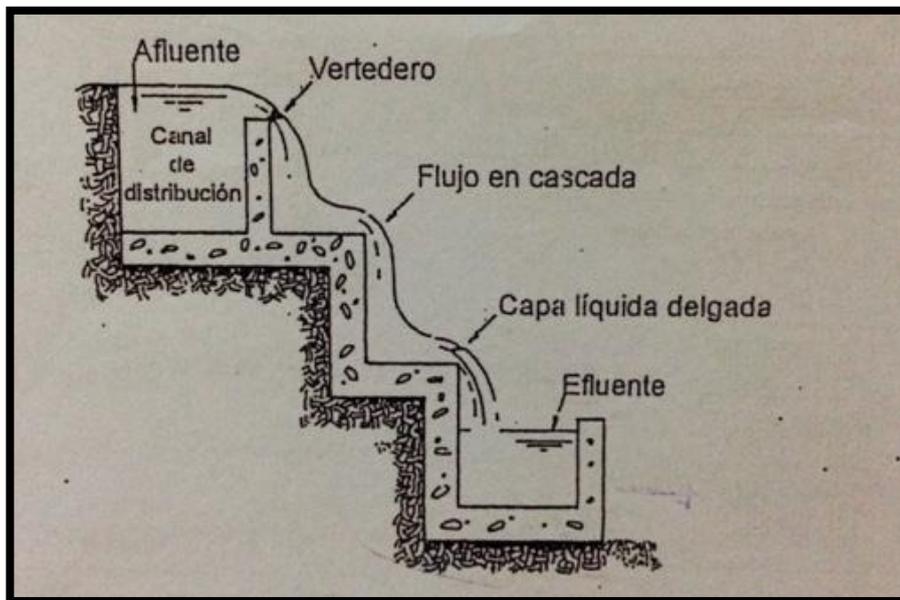


Figura 13 - 1: Aireador de Cascadas tipo Escalera

Fuente: Romero Rojas 2da Edición pag. 41

1.6.2.2.2.1. Relación deficitaria de oxígeno

$$R = \frac{C_s - C_o}{C_s - C} \quad \text{Ec. 30}$$

1.6.2.2.2. *Altura de la cascada de oxigenación*

Tabla 20 – 1: Dimensiones del Aireador en Cascada

Altura de la cascada (m)	Altura del escalón (m)	Longitud del escalón (m)	Área del escalón (m ²)
1.90	0.20	0.40	0.08

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

$$H = \frac{R - 1}{0.361ab(1 + 0.046T)} \quad \text{Ec. 31}$$

Donde:

R = Relación deficitaria de oxígeno

C_s = Concentración de saturación de oxígeno disuelto a la temperatura T, (mg/l)

C_o = Concentración de oxígeno disuelto en el agua, antes del vertedero, (mg/l)

C = Concentración de oxígeno disuelto en el agua, después del vertedero, (mg/l)

H = Altura de caída del agua, (m)

a = Efluente para agua residual 0.8

b = Vertedero escalonado 1.3

Algunos parámetros típicos, para diseño de cascadas de oxigenación, se incluyen en el siguiente cuadro:

Tabla 21 – 1: Parámetros típicos para diseño de cascadas de oxigenación

Parámetro	Valor
Carga hidráulica para caudal promedio	1.200 – 6.200 m ³ / m.d
Carga hidráulica típica para caudal promedio	3.000 m ³ / m.d
Altura de escalón	15 – 30 cm
Altura típica de escalón	20 cm
Longitud del escalón	30 – 60 cm
Longitud típica del escalón	45 cm
Altura de cascada	1.8 – 5 cm

Fuente: Romero Rojas 2da Edición pag 42

1.6.2.2.2.3. *Cálculo del Caudal de Descarga*

$$Q = C_d A \sqrt{2gh} \quad \text{Ec. 32}$$

Donde:

C_d = Coeficiente de descarga (0.95)

A = área del escalón (m²)

g = aceleración de la gravedad (9.8 m/s²)

h = energía total (1.9 m)

1.6.2.2.2.4. *Tiempo de caída*

La velocidad inicial en la cascada se considera cero, pero se considera la altura de cada escalón y se determina el tiempo de caída con la siguiente ecuación:

$$t_h = \sqrt{\frac{2h}{g}} \quad \text{Ec. 33}$$

Donde:

t_h = Tiempo de caída (s)

h = Altura de escalón (m)

g = gravedad específica 9.8 m/s²

1.6.2.2.2.5. *Tiempo de contacto con el aire*

$$t_c = \sqrt{\frac{2hn}{g}} \quad \text{Ec. 34}$$

Donde:

t_h = tiempo de caída entre escalón (s)

h = altura de caída del agua (m)

n = números de escalones individuales

g = gravedad específica (9.8m/s²)

1.6.2.3. *Tratamiento Secundario*

1.6.2.3.1. *Laguna Facultativa*

La laguna facultativa, debe contener dos procesos de bacterias como lo son los aerobios y los anaerobios, ya que posee una profundidad máxima de 5 m, pero en la caracterización microbiología realizada solo registran los aerobios. Dicha laguna presenta las siguientes dimensiones.

Tabla 22 – 1: Dimensiones de la Piscina Facultativa

Largo (m)	Ancho (m)
73.30	50.60

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

1.6.2.3.1.1. *Cálculo del caudal*

$$Q_1 = \frac{V}{t} \quad \text{Ec. 35}$$

Donde:

Q_1 = Caudal de la piscina facultativa (m³/h)

V = Volumen (m³)

t = Tiempo que tarde en llenarse un volumen dado (h)

1.6.2.3.1.2. *Cálculo del área de la piscina*

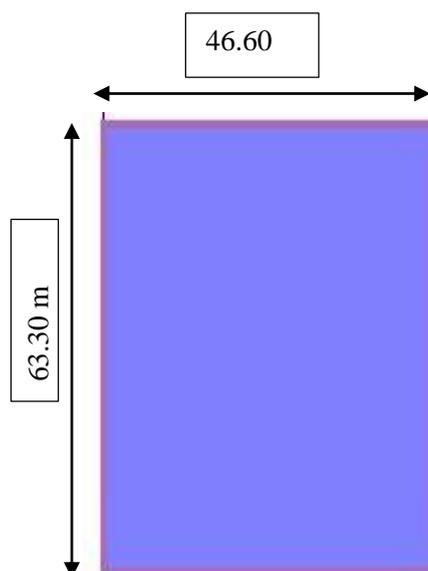


Grafico 2 – 1: Dimensiones de la Piscina Facultativa

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

Las dimensiones de la piscina facultativa se describen en la **Tabla 22 – 1**; con la cual nos ayudamos para poder realizar los siguientes cálculos:

$$A_{1m} = l * a \quad \text{Ec. 36}$$

Donde:

A_{1m} = área máxima de la piscina (m²)

l = largo de la piscina (m)

a = ancho de la piscina (m)

1.6.2.3.1.3. Cálculo de la altura

Para la determinación de la altura, se estableció un muestreo, en cual la piscina fue dividida por diferentes áreas, estableciendo altura máxima y mínima, para poder determinar la altura promedio y la acumulación de lodos que existe.

Tabla 23 – 1: Valor de la altura en diferentes zonas de la piscina facultativa

A1=2.30 m	B1= 3.20 m	C1= 3.61 m
A2=2.10 m	B2= 2.90 m	C2= 3.40 m
A3= 0.50 m	B3= 2.05 m	C3= 1.42 m
D1= 1.20 m	E1= 4.90 m	F1= 5.50 m
D2= 4.60 m	E2= 5.00 m	F2= 3.00 m
D3= 4.70 m	E3= 4.80 m	F3= 1.45 m
G1= 4.85 m	H1= 4.50 m	I1= 1.20 m
G2= 4.10 m	H2= 4.90 m	I2= 2.70 m
G3= 1.50 m	H3= 4.45 m	I3= 3.80 m
J1= 0.70 m	K1= 4.10 m	L1= 3.90 m
J2= 1.55 m	K2= 4.15 m	L2= 4.10 m
J3= 4.50 m	K3= 3.80 m	L3= 2.00 m
M1= 1.75 m	N1= 2.05 m	O1= 1.2 m
M2= 0.82 m	N2= 0.75 m	O2= 2.75 m
M3= 0.40 m	N3=2.30 m	O3= 2.20 m

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

1.6.2.3.1.4. Cálculo del volumen de la Piscina Facultativa

$$V_1 = A_{1T} * h \quad \text{Ec. 37}$$

Donde:

V_1 = Volumen de la piscina de oxidación (m³)

A_{1T} = Área total de la piscina de oxidación (m²)

h = Altura promedio de la oxidación (m)

1.6.2.3.1.5. *Cálculo del tiempo de retención hidráulico*

$$TRH_1 = \frac{V_1}{Q_1} \quad Ec. 38$$

Donde:

TRH_1 = Tiempo de retención hidráulico de la piscina (día)

V_1 = Volumen máximo de la piscina (m³)

Q_1 = Caudal de diseño (m³/día)

1.6.2.3.1.6. *Cálculo de la evacuación de lodos*

$$n_l = \frac{1000 * FVL * V}{TAL * Q_{dis} * 365} \quad Ec. 39$$

Donde:

n_l = frecuencia de limpieza (día)

FVL = Fracción de volumen de lodo en la laguna (0.4)

V = Volumen de la laguna de oxidación (m³)

TAL = Tasa de acumulación de lodos (0.65)

Q_{dis} = Caudal de diseño (m³/día)

1.6.2.3.1.7. *Cálculo del Volumen de Lodos*

$$V_L = 0.000156 * Q_{Dis} * ST_R \quad Ec. 40$$

Donde:

V_L = Volumen de lodos producidos anualmente (m³/año)

Q_{Dis} = Caudal de Diseño (m³/día)

ST_R = Cantidad de sólidos removidos en la piscina (mg/l)

1.6.2.3.1.8. Cálculo de la eficiencia de la laguna de oxidación

Mediante la caracterización física – química, nos permite medir la cantidad de materia orgánica que está eliminando la piscina, y a su vez determinar la eficiencia con la cual está trabajando.

➤ *Remoción de DBO*

$$DBO_R = DBO_A - DBO_D \quad Ec. 41$$

Donde:

DBO_R = Carga orgánica removida por microorganismos (mg/l)

DBO_A = Carga orgánica al ingreso de la piscina de oxidación (mg/l)

DBO_D = Carga orgánica después del proceso biológico (mg/l)

➤ *Eficiencia de Remoción*

$$\% E_{DBO} = \frac{DBO_R}{DBO_A} * 100 \% \quad Ec. 42$$

Datos:

$\% E_{DBO}$ = Eficiencia de remoción de carga orgánica de la piscina de oxidación (%)

➤ *Remoción de Sólidos Totales*

$$ST_R = ST_A - ST_D \quad Ec. 43$$

Donde:

ST_R = Sólidos removidos por microorganismos (mg/l)

ST_A = Sólidos al ingreso de la piscina de oxidación (mg/l)

ST_D = Sólidos después del proceso biológico (mg/l)

➤ *Eficiencia de Remoción*

$$\% E_{ST} = \frac{ST_R}{ST_A} * 100 \% \quad Ec. 44$$

Datos:

$\% E_{ST}$ = Eficiencia de remoción de sólidos en la piscina de oxidación (%)

1.6.2.3.2. Laguna de Estabilización

Este tipo de lagunas es necesaria, como complemento de un tratamiento biológico, para garantizar la remoción de los agentes patógenos. Dicha laguna cuenta con las siguientes medidas, descritas en la siguiente tabla:

Tabla 24 – 1: Dimensiones de la piscina

Largo (m)	Ancho (m)
76.6	22.30

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

1.6.2.3.2.1. Cálculo del caudal

$$Q_2 = \frac{V}{t} \quad \text{Ec. 45}$$

Donde:

Q_1 = Caudal de la piscina de estabilización (m³/h)

V = Volumen (m³)

t = Tiempo que tarde en llenarse un volumen dado (h)

1.6.2.3.2.2. Cálculo del área de la piscina

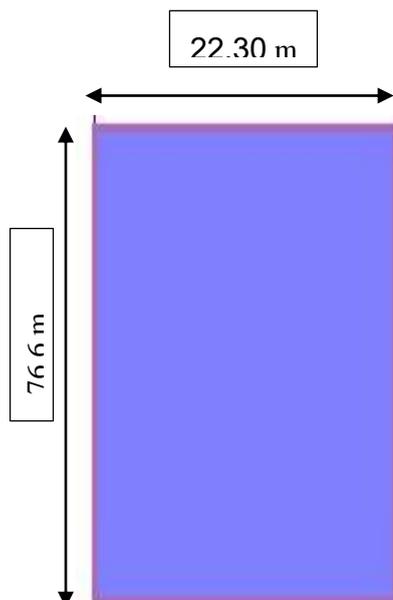


Grafico 3 – 1: Dimensiones de la Piscina de Estabilización

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

Las dimensiones de la piscina de estabilización se describen en la **Tabla 1 – 23**; con la cual nos ayudamos para poder realizar los siguientes cálculos:

$$A_{2m} = l * a \quad \text{Ec. 46}$$

Donde:

A_{2m} = área máxima de la piscina (m²)

l = largo de la piscina (m)

a = ancho de la piscina (m)

1.6.2.3.2.3. Cálculo de la Altura

Para la determinación de la altura, se estableció un muestreo, en cual la piscina fue dividida por diferentes áreas, estableciendo altura máxima y mínima, para poder determinar la altura promedio y la acumulación de lodos que existe.

Tabla 25 –1: Valor de la altura en diferentes zonas de la piscina de estabilización

A1= 0.97 m	B1= 1.50 m	C1= 2.20 m
A2= 0.65 m	B2= 1.55 m	C2= 1.78 m
A3= 1.18 m	B3= 0.70 m	C3= 1.40 m
D1= 0.80 m	E1= 1.95 m	F1= 1.45 m
D2= 1.40 m	E2= 2.00 m	F2= 0.97 m
D3= 1.45 m	E3= 1.94 m	F3= 1.75 m
G1= 1.55 m	H1= 2.05 m	I1= 2.00 m
G2= 1.00 m	H2= 2.05 m	I2= 2.10 m
G3= 1.60 m	H3= 1.80 m	I3= 1.97 m
J1= 1.90 m	K1= 2.07 m	L1= 1.89 m
J2= 1.70 m	K2= 2.06 m	L2= 1.91 m
J3= 1.46 m	K3= 2.07 m	L3= 1.25 m
M1= 1.00 m	N1= 1.50 m	O1= 0.90 m
M2= 0.48 m	N2= 0.45 m	O2= 1.80 m
M3= 0.98 m	N3= 1.48 m	O3= 1.90 m

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

1.6.2.3.2.4. *Cálculo del volumen de la Piscina Facultativa*

$$V_2 = A_{2T} * h \quad \text{Ec. 47}$$

Donde:

V_2 = Volumen de la piscina de estabilización (m³)

A_{2T} = Área total de la piscina de estabilización (m²)

h = Altura promedio de la estabilización (m)

1.6.2.3.2.5. *Cálculo del tiempo de retención hidráulico*

$$TRH_2 = \frac{V_2}{Q_2} \quad \text{Ec. 48}$$

Donde:

TRH_2 = Tiempo de retención hidráulico de la piscina (día)

V_2 = Volumen máximo de la piscina (m³)

Q_2 = Caudal de diseño (m³/día)

1.6.2.3.2.6. *Cálculo del número de dispersión*

El número de dispersión se estima adoptando una relación que existe entre el largo y el ancho de la piscina de estabilización. (Yanez, 1991, pág. 141)

$$d = \frac{\frac{l}{a}}{-0.26118 + 0.25392 * \frac{l}{a} + 1.01368 * \left(\frac{l}{a}\right)^2} \quad \text{Ec. 50}$$

Donde

d = Número de dispersión (adimensional)

1.6.2.3.2.7. *Coefficiente de reducción bacteriana*

$$K_b = 1.1 * 1.07^{(T-20)} \quad \text{Ec. 51}$$

Donde:

K_b = Coeficiente de reducción bacteriana (adimensional)

T = Temperatura de la Laguna ($^{\circ}\text{C}$)

1.6.2.3.2.8. *Cálculo del Coeficiente a*

$$a = \sqrt{1 + 4K_b * TRH * d} \quad \text{Ec. 52}$$

Donde:

a = Coeficiente (adimensional)

K_b = Coeficiente de reducción bacteriana (adimensional)

TRH_2 = Tiempo de retención hidráulico de la piscina (día)

d = Número de dispersión (adimensional)

1.6.2.3.3. *Diseño del Sedimentador de Flujo Horizontal*

Existen consideraciones geométricas que se deben evaluar en los sedimentadores de flujo horizontal en las cuales deben ser consideradas las siguientes zonas para su correcto diseño y funcionamiento, las mismas son las siguientes:

- Zona de entrada: Distribuye a los sedimentadores el flujo proveniente de los floculadores de forma que la velocidad sea uniforme en toda la sección transversal. Además minimiza las corrientes (la turbulencia).
- Zona de sedimentación: Zona cuyo régimen de flujo y área superficial permite la sedimentación de la partícula de diseño y las de velocidades iguales o mayores que ésta.
- Zona de Lodos: Zona adicional utilizada para almacenar los lodos hasta el momento que se retiren del sedimentador.
- Zona de salida: Recoge uniformemente el flujo de salida de forma que la velocidad no varíe a 10 anchos del sedimentador.

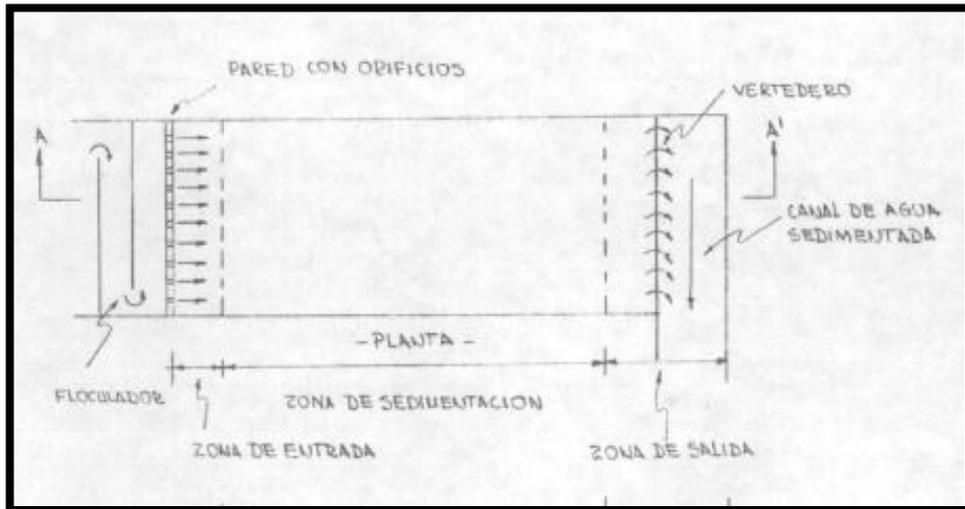


Figura 14 – 1: Sedimentador de Flujo Horizontal

Fuente: (Tratamiento de Agua, pág. 101)

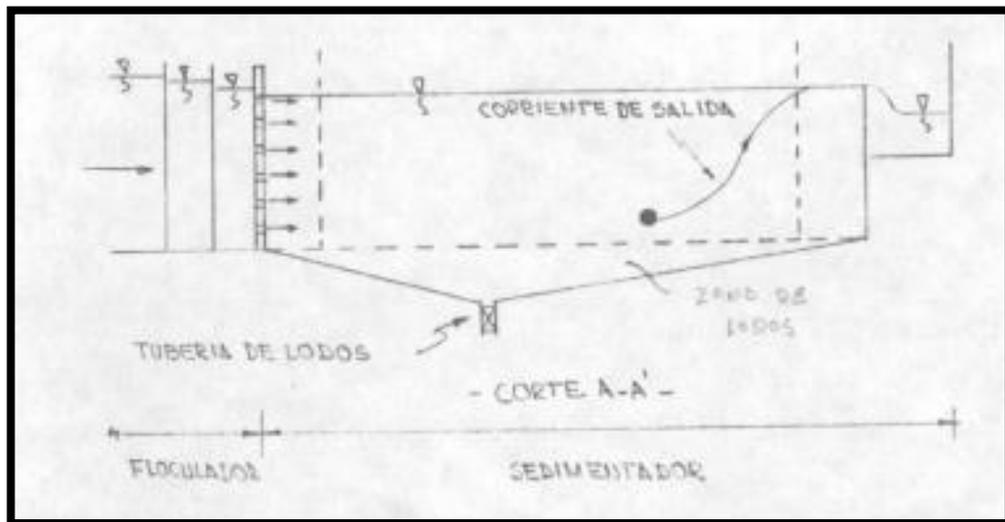


Figura 15 – 1: Corte de la zona de sedimentación

Fuente: (Tratamiento de Agua, pág. 101)

1.6.2.3.3.1. Zona de sedimentación.

➤ *Sedimentación de partículas discretas.*

La teoría del funcionamiento de la zona de sedimentación se basa en las siguientes suposiciones simplificadas:

- El asentamiento
- La concentración de las partículas
- Velocidad del fluido

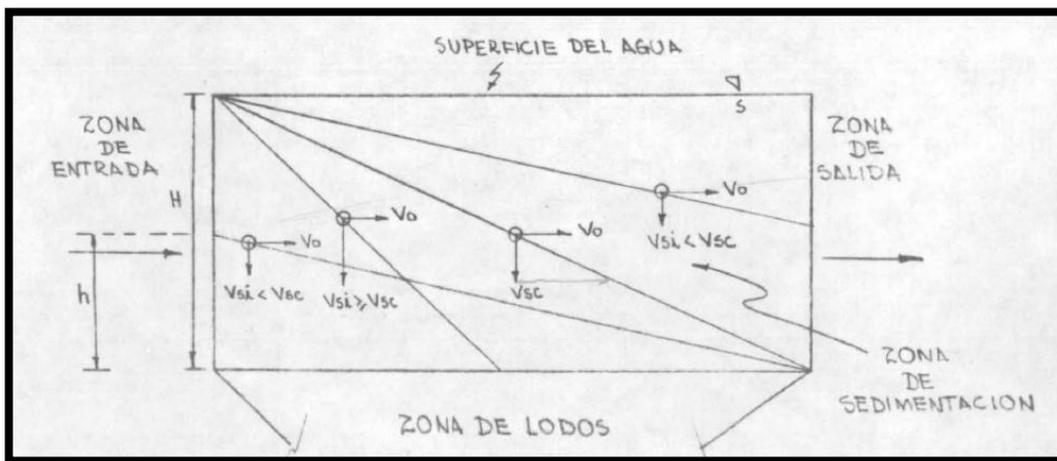


Figura 16 – 1: Vista aérea de la zona de sedimentación

Fuente: (Tratamiento de Agua, pág. 102)

1.6.2.3.3.2. Cálculo del Área del Sedimentador

Para determinar el área ideal del sedimentador, SHIELDS y CAMP nos recomiendan valores usuales de largo, ancho y profundidad del sedimentador, el cual se detalla en la siguiente tabla;

Tabla 26 – 1: Información usual para diseño de sedimentadores rectangulares y circulares empleados para el tratamiento primario y secundario de aguas residuales

		Valor según tipo de tratamiento			
		Primario		Secundario	
Parámetro	Unidad	Intervalo	Valor usual	Intervalo	Valor usual
Rectangular					
Profundidad		3,05 - 4,88	4,27	3,05 - 6,71	5,49
Longitud	m	15,24 - 91,44	24,38 - 39,62	15,24 - 91,44	24,38 - 39,62
Ancho	m	3,05 - 24,38	4,877 - 9,754	3,05 - 24,38	4,88 - 9,75
Velocidad del Barredor	m /s	0.010 – 0.020	0.015	0.010 – 0.020	0.015

Fuente: SHIELDS y CAMP (1946)

$$A_s = l * a \quad \text{Ec. 53}$$

Donde:

A_s = área del sedimentador rectangular (m^2)

l = Longitud del sedimentador (m)

a = ancho del sedimentador (m)

1.6.2.3.3.3. Cálculo del volumen del sedimentador

$$V_s = TR_s * Q_{dis} \quad \text{Ec. 54}$$

Donde:

TR_s = Tiempo de retención (día)

V = Volumen máximo del sedimentador rectangular (m^3)

Q_{dis} = Caudal de diseño ($m^3 / \text{día}$)

1.6.2.3.3.4. Cálculo de la altura del tanque sedimentador

$$\frac{V_s}{A_s} = h \quad \text{Ec. 56}$$

Donde:

V_s = Volumen máximo del sedimentador rectangular (m^3)

A_s = área del sedimentador rectangular (m^2)

h = altura del sedimentador (m)

1.6.2.3.3.5. Cálculo de la velocidad de arrastre

Para poder calcular la velocidad de arrastre, se involucran valores que son propuestos por Darcy Weisbach, el cual detalla a continuación:

Tabla 27 – 1: Valores para el cálculo de la velocidad de arrastre del sedimentador

Parámetro	Símbolo	Valor Común	Unidades
Constante que depende del material arrastrado	K	0.04	Adimensional
Gravedad específica de las partículas	S	1.25	Adimensional
Aceleración debida a la fuerza de la gravedad	G	9.8	m/s^2
Factor de fricción de Darcy Weisbach	F	0.025	Adimensional

Fuente: Darcy Weisbach

$$V_A = \left[\frac{8K(s-1)gd}{f} \right]^{0.5} \quad \text{Ec. 57}$$

Donde:

V_A = velocidad de arrastre de la partícula (m/s)

K = Constante que depende del material arrastrado (0.04)

S = Gravedad específica de las partículas (1.25)

G = Aceleración debida a la fuerza de la gravedad (9.8 m/s²)

D = Diámetro de las partículas (0.0002 m)

f = Factor de fricción de Darcy Weisbach (0.025)

1.6.2.3.3.6. *Carga de sólidos que ingresa al sedimentador*

$$C = Q * SS * 0.0864 \quad \text{Ec. 58}$$

Donde:

C = Carga de sólidos que ingresan al sedimentador (Kg/día)

Q = Caudal de diseño (302.2 m³/día)

SS = Concentración de Sólidos Suspendidos totales (Kg/ m³)

1.6.2.3.3.7. *Cálculo de la velocidad terminal de sedimentación*

$$v_h = \frac{Q_{Dis}}{A_s} \quad \text{Ec. 59}$$

Donde:

v_h = Velocidad terminal (m/h)

A_s = área del sedimentador rectangular (m²)

Q_{Dis} = Caudal de diseño (m³/día)

1.6.2.3.3.8. *Eficiencia de Remoción de los contaminantes*

Para determinar la eficiencia de remoción del sedimentador, debe estar en función a la remoción de SST y DBO, la cual se debe considerar la concentración del afluente, el tiempo de retención y los valores de las constantes empíricas, las mismas que se detallan continuación:

Tabla 28 – 1: Valores de las constantes empíricas

Variable	A	B
DBO	0.018	0.020
SST	0.0075	0.014

Fuente: (TCHOBANOGLOUS, 2010)

➤ *Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)*

$$\%R_{DBO} = \frac{t}{a + bt} \quad \text{Ec. 60}$$

Donde:

$\%R_{DBO}$ = Porcentaje de remoción esperado (%)

t = Tiempo nominal de retención (h)

a = Constantes empíricas (0.018)

b = Constantes empíricas (0.020)

➤ *Remoción de Sólidos sedimentables totales (SST)*

$$\%R_{SST} = \frac{t}{a + bt} \quad \text{Ec. 61}$$

Donde:

$\%R_{SST}$ = Porcentaje de remoción esperado (%)

t = Tiempo nominal de retención (h)

a = Constantes empíricas (0.0075)

b = Constantes empíricas (0.014)

1.6.2.3.3.9. *Cálculo de la altura máxima, considerando una caída del 10% en el fondo.*

$$H' = H + 0.1 * H \quad \text{Ec. 62}$$

Donde:

H' = Altura máxima del sedimentador (m)

H = Altura del sedimentador (m)

1.6.2.3.4. Diseño del Tanque de Aireación

1.6.2.3.4.1. Cálculo de la concentración de sólidos suspendidos volátiles (SSV)

$$X_{v,a} = \frac{Y (S_0 - S_e)}{1 + K_d * \theta_t} \quad \text{Ec. 63}$$

Donde:

$X_{v,a}$ = concentración de SSV en la masa líquida de la laguna y en el efluente (mg/l)

S_0 = concentración de DBO₅, del afluente (mg/l)

S_e = concentración de DBO₅, del efluente (mg/l)

θ_t = tiempo de retención (día)

Y = coeficiente de producción, varía entre 0.03 – 0.10 mg de SSV/mg de DBO₅

K_d = tasa constante relativa a la respiración endógena, varía entre (0.05 – 0.25 día⁻¹)

1.6.2.3.4.2. Relación alimentación / microorganismos

Esta relación nos indica la masa de sustrato aplicada diariamente al tanque de aireación, contra la masa de sólidos suspendidos (microorganismos) en el tanque de aireación, la cual se la define con la siguiente formula:

$$F/M = \frac{S_0}{\theta_t * X_{v,a}} \quad \text{Ec. 64}$$

Donde:

F/M = Relación alimentación – microorganismos (día⁻¹)

S_0 = concentración de DBO₅, del afluente (mg/l)

$X_{v,a}$ = concentración de SSV en la masa líquida de la laguna y en el efluente (mg/l)

1.6.2.3.4.3. Cálculo de la concentración real del DBO₅ en el Efluente

$$S'_e = S_e + (0.54 * X_{v,a}) \quad \text{Ec. 65}$$

Donde:

S'_e = concentración real del DBO₅ en el Efluente (mg/l)

$X_{v,a}$ = concentración de SSV en la masa líquida de la laguna y en el efluente

S_e = concentración de DBO₅, del efluente (mg/l)

1.6.2.3.4.4. *Cálculo de la eficiencia*

$$\%E_a = \frac{S_0 - S_e}{S_0} * 100\% \quad \text{Ec. 66}$$

Donde:

$\%E_a$ = Porcentaje de eliminación del DBO₅, en el proceso de aireación (%)

S_e = concentración real del DBO₅ en el Efluente (mg/l)

S_0 = concentración de DBO₅, del efluente (mg/l)

1.6.2.3.4.5. *Cálculo del volumen del tanque de aireación*

$$V_A = Q_{dis} * \theta_t \quad \text{Ec. 67}$$

Donde:

V_A = Volumen del tanque (m³)

Q_{dis} = Caudal de diseño (m³/día)

θ_t = tiempo de retención (día)

1.6.2.3.4.6. *Ancho del tanque*

$$a_a = \sqrt{\frac{V_A}{2}} \quad \text{Ec. 68}$$

Donde:

a_a = Ancho del tanque de aireación (m)

V_A = Volumen del tanque (m³)

1.6.2.3.4.7. *Longitud del tanque*

$$L_a = 2a_a \quad \text{Ec. 69}$$

Donde:

L_a = Largo del tanque de aireación (m)

a_a = Ancho del tanque de aireación (m)

1.6.2.3.4.8. *Cálculo de la Concentración de saturación de oxígeno disuelto*

$$C_{sw} = C_{sw} \left(\frac{P_A - P}{760 - P} \right) \quad \text{Ec. 70}$$

Donde:

C_{sw} = Concentración media de saturación de oxígeno disuelto en el agua pura en un tanque de aireación a una temperatura y altura h (mg/l)

C_{sw} = Concentración de saturación de oxígeno disuelto en el agua, en el tanque de aireación (mg/l)

P_A = Presión barométrica (mm Hg)

P = Presión de vapor de agua saturada a temperaturas de aguas residuales (mm Hg)

1.6.2.3.4.9. *Cálculo del Requerimiento de Oxígeno*

De manera general el valor utilizado de $F = 1.25 - 1.5$ en aguas residuales, el cual dependerá de la cantidad de DBO y SST que contenga.

$$WO_2 = F * \%E_a * S_o * 10^{-3} \quad \text{Ec. 71}$$

Donde:

WO_2 = Requerimiento de Oxígeno (KgO₂/h)

F = Relación de DBO₅ y SST (adimensional)

S_o = concentración de DBO₅, del efluente (mg/l)

$\%E_a$ = Porcentaje de eliminación del DBO₅, en el proceso de aireación (%)

1.6.2.3.4.10. *Tasa de transferencia total de oxígeno en el campo*

$$N = N_0 \left[\alpha \left(\frac{\beta C_{sw} - C_L}{C_{st}} \right) * 1.024^{(T-20)} \right] \quad \text{Ec. 72}$$

Donde:

N = Tasa de transferencia total de oxígeno en el campo (KgO₂/KW.h)

N_0 = Tasa de transferencia total de oxígeno mediante pruebas de condiciones estándares, a 20 °C y oxígeno disuelto igual a cero (1.5 – 2.0 KgO₂/KW.h)

α = Factor de corrección para la transferencia de oxígeno en la purga (0.4 – 0.8)

β = Factor de corrección para la salinidad y tensión superficial (0.90 – 0.98)

C_{sw} = Concentración media de saturación de oxígeno disuelto en el agua pura en un tanque de aireación a una temperatura y altura h (5.997mg/l)

C_L = Concentración de oxígeno en el tanque (0.5 – 2.0 mg/l)

C_{st} = Valor de saturación de oxígeno en el agua (9.17 mg/l)

T = Temperatura en funcionamiento (°C)

1.6.2.3.4.11. *Potencia Total Necesaria*

$$P_T = \frac{WO_2}{24 * N} \quad \text{Ec. 73}$$

Donde:

P_T = Potencia total necesaria (KW)

WO_2 = Requerimiento de Oxígeno (KgO₂/h)

N = Tasa de transferencia total de oxígeno en el campo (KgO₂/KW.h)

1.6.2.3.4.12. *Potencia unitaria de aireación*

$$P_u = \frac{P_T}{V_A} \quad \text{Ec. 74}$$

Donde:

P_u = Potencia unitaria de aireación (W/m³)

P_T = Potencia total necesaria (KW)

V_A = Volumen del tanque (m³)

1.6.2.3.5. *Diseño del Tanque Floclador*

1.6.2.3.5.1. *Área del Tanque de Floclación*

Tabla 29 – 1: Carga superficial para diferentes floclantes

Suspensión	Intervalo (m ³ /m ² .día)	Caudal (m ³ /día)
Flóculo de alúmina	14 – 24	24

Floculo de hierro	21 – 32	32
Floculo de cal	21 – 48	32
Agua residual cruda	24- 48	48

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales. (2006)

Para el cálculo del Área del tanque de Floculación será mediante la

$$A_F = \frac{Q}{Cs} \quad \text{Ec. 75}$$

Dónde:

A_F = Área del tanque (m²)

Q = Caudal (m³/h)

Cs =Carga superficial (m³/m²*día)

1.6.2.3.5.2. Cálculo del diámetro del Floculador.

Luego se calcula el diámetro del tanque, con la siguiente ecuación:

$$\varphi = \sqrt{\frac{4A_F}{\pi}} \quad \text{Ec 76}$$

Dónde:

φ = Diámetro del tanque (m)

A_F = Área del tanque (m²)

1.6.2.3.5.3. Radio del Floculador

Para encontrar el radio partimos de la siguiente expresión:

$$r = \frac{\varphi}{2} \quad \text{Ec 77}$$

Dónde:

r = Radio del tanque de floculación (m)

φ = Diámetro del tanque (m)

1.6.2.3.5.4. *Cálculo del volumen de un tanque de forma circular*

$$V_s = \pi r^2 h_s$$

Donde:

V_s = Volumen del tanque homogeizador (m^3).

r = Radio del tanque (m).

h_s = Altura del tanque (m) (La altura estimada será considerada en base a la piscina existente y a la profundidad que tienen)

1.6.2.3.5.5. *Cálculo del Área de la Sección Transversal.*

Se puede determinar usando la siguiente ecuación:

$$A_{st} = \frac{V_f}{l_s} \quad \text{Ec. 78}$$

Dónde:

A_{st} = Área de la sección transversal del floculador, (m^2)

l_s = largo del Floculador, (m).

V_f = volumen del floculador, (m)

1.6.2.3.5.6. *Tiempo de Retención Hidráulica.*

En base al caudal a tratar y volumen del tanque se determina el tiempo de retención hidráulico.

$$T_r = \frac{V_F}{Q_{dis}} \quad \text{Ec 79}$$

Donde:

T_r = Tiempo de retención hidráulico (h)

V_F = Volumen del Tanque de floculación (m^3)

Q_{dis} = Caudal de diseño (m^3 /día)

1.6.2.3.5.7. Dimensionamiento de la Paleta de agitación

Tabla 30 - 1: Parámetros de Diseño de paletas en un tanque Floculador

Características	Valor Intervalo	Típico
Tiempo de retención (min)	20 – 60	30
Floculación inducida por paletas, máxima velocidad periférica de la paleta, con reductor de velocidad de hasta el 30 % de la velocidad máxima (m/s)	0,45 - 1,00	0,6
Agitación de paletas (rpm)	50 – 80	60
Ancho de la paleta	0,50 – 2	0,80

Fuente: METCALF – EDDY., Tratamiento y depuración de aguas residuales.

➤ *Gradiente de velocidad de un fluido*

$$G = 0,25 * n^{1,25} \quad \text{Ec. 80}$$

Dónde:

G = Gradiente de velocidad medio, (1/s).

n = Velocidad de rotacion (rpm).

➤ *Energía Disipada en el Mezclador*

Se debe considerar que mientras mayor sea la energía transferida desde una fuente hacia el mezclador se generará mayor turbulencia en un fluido, consiguiéndose de esta manera una mezcla completa y homogénea en todos los puntos del tanque diseñado.

Para la determinación de los gradientes de velocidad o de potencia si se quiere se emplea la siguiente expresión:

$$P = G^2 \times \mu \times V \quad \text{Ec. 81}$$

Dónde:

G = gradiente de velocidad medio, (1/s).

P = potencia necesaria, (W).

μ = viscosidad dinámica, (N. s/m²)(1.102× 10⁻³) A una temperatura de 20°C

V_F = volumen del floculador, (m³)

➤ *Área de la Palas*

Tabla 31 - 1: Valores de C_D para Secciones rectangulares

l/b	C_D
1	1.16
5	1.20
20	1.50
∞	1.95

Fuente: ROUSE, 2003

Con la finalidad de una agitación adecuada el área requerida de las paletas se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{C_D * A * \rho * v^3}{2}$$

Despejando el área, la expresión queda de la siguiente manera:

$$A = \frac{2 * P}{C_D * \rho * v^3} \quad \text{Ec. 82}$$

Dónde:

A = Área de la sección transversal de las paletas (m²)

P = Potencia necesaria (Kw)

C_D = Coeficiente de resistencia al avance de las paletas.

ρ = Densidad del Fluido (Kg/m³) (1000 Kg/m³) a una temperatura de 20°C

v = Velocidad relativa de las paletas con respecto al fluido (m/s), en general se asumen valores entre 0,6 y 0,75 veces la velocidad tangencial de las paletas. (ROUSE, 2003)

➤ *Longitud de la Pala*

El cálculo de la longitud de la paleta representa el área transversal de la misma, sobre el ancho.

$$l = \frac{A}{b} \quad \text{Ec. 83}$$

Donde:

l = Longitud de la paleta (m)

b = Ancho de la paleta (m)

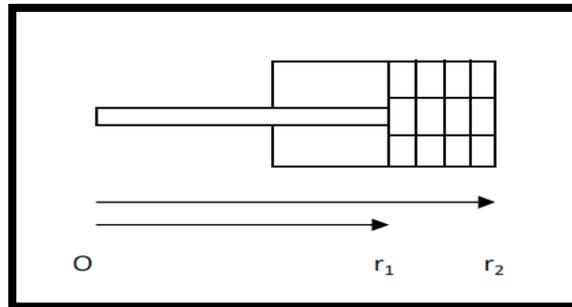


Figura 17 - 1: Agitador de paletas planas

Fuente: ERAZO, P., Diseño y construcción de mezcladora industrial

1.6.2.4. Tratamiento Terciario

1.6.2.4.1. Dimensionamiento del Filtro

Es necesario la implementación de un filtro, para eliminar las partículas en suspensión. Al utilizar como proceso previo la floculación el filtro nos ayudará a la retención del material floculado.

Tabla 32 – 1: Tipos de Filtros Utilizados en Aguas Residuales

Velocidad de filtración	Medio filtrante	Sentido de flujo	Carga sobre el lecho
Rápidos 120-360 m ³ /m ² día	Arena H= 60-75 cm	Ascendente	Por gravedad
	Antracita H= 60-75 cm	Descendente	
	Mixto Arena H= 20-35 cm Antracita H= 35-50 cm	Flujo mixto	Por presión
Lentos 7-14 m ³ /m ² día	Arena H= 60-100 cm	Descendente	Por gravedad
		Ascendente	
		Horizontal	

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración

1.6.2.4.1.1. Cálculo del número de filtro

$$n_f = 0.044 \sqrt{Q_{dis}} \quad \text{Ec. 84}$$

Donde:

n_f = Número de filtro a ser diseñados

Q_{dis} = Caudal de Diseño (m³/día)

1.6.2.4.1.2. Cálculo del Área del Filtro

El tipo de filtro que se necesita diseñar es de velocidad rápida, en el que el valor de la tasa de filtración es mayor a 120 m³/m².dia

$$A_f = \frac{Q_{dis}}{T_f} \quad \text{Ec. 85}$$

Donde:

A_f = área del Filtro (m²)

Q_{dis} = Caudal de Diseño (m³/día)

T_f = Tasa de filtración (m³/m².dia)

1.6.2.4.1.3. Cálculo del coeficiente mínimo de costo

$$K_c = \frac{2n_f}{n_f + 1} \quad \text{Ec. 86}$$

Donde:

K_c = Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

n_f = Número de filtro a ser diseñados

1.6.2.4.1.4. Cálculo de la longitud del filtro

$$L_f = \sqrt{K_c * A_f} \quad \text{Ec. 87}$$

Donde:

L_f = Longitud del filtro (m)

K_c = Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

A_f = área del Filtro (m²)

1.6.2.4.1.5. *Ancho del filtro*

$$a_f = \sqrt{\frac{A_f}{K_c}} \quad \text{Ec. 88}$$

Donde:

a_f = Ancho del filtro (m)

K_c = Coeficiente mínimo de costo (adimensional)

A_f = área del Filtro (m²)

1.6.2.4.1.6. *Diseño del lecho filtrante*

Par poder establecer la composición del lecho filtrante de un filtro se deben considerar los parámetros que se describen en la siguiente tabla:

Tabla 33 - 1. Parámetros de Diseño de Filtro rápidos de Arena

Parámetro	Valor
Tasa de filtración (tf)	120 - 300 m ³ /m ² .día
Medio	Arena
Altura del agua sobre el lecho (CA)	1 - 1,5 m
Profundidad del medio o altura del lecho filtrante (La)	0,60 - 0,80 m
Profundidad de grava o altura de la capa de soporte, grava (Cs)	0,30 - 0,45
Tamaño efectivo del medio (TE)	0,35 - 0,70 mm (valor típico 0,5)
Coeficiente de uniformidad (CU)	1,3 - 1,7 mm (valor típico 1,5)
Drenaje	Tubería perforada
Altura del drenaje (FC)	0,10 - 0,25 m
Tiempo optimo del lavado del filtro	10 min
Factor de seguridad	10%

Fuente: (Romero, 2004)

➤ *Altura del filtro*

$$z_f = f_s(C_a + L_a + C_s + F_c) \quad \text{Ec. 89}$$

Donde:

z_f = Altura del filtro (m)

f_s = Factor de seguridad (%)

C_a = Altura del agua sobre el lecho (m)

L_a = Altura del lecho filtrante (m)

C_s = Altura de capa de soporte de grava (m)

F_c = altura de drenaje (m)

1.6.2.4.1.7. *Cálculo del sistema de drenaje*

Tabla 34 - 1. Parámetros de Diseño Laterales

Parámetro	Valor
Separación de los laterales	1 – 2,0 m
Diámetro de los orificios laterales	6,5 – 15,8 mm
Espaciamiento de los orificios de los laterales	7,5 – 25 cm
Altura entre tubo y fondo del filtro	3,5 cm
Velocidad en cada orificio	3 – 5 m/s

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Filtración

➤ *Área de los orificios naturales*

$$A_o = \frac{\pi\phi^2}{4} \quad \text{Ec. 90}$$

Donde:

A_o = Área del orificio (m²)

ϕ = Diámetro del orificio (m)

➤ *Caudal de ingreso a cada orificio*

$$Q_o = A_o * v_o \quad \text{Ec. 91}$$

Donde:

Q_o = Caudal con el que ingresa a cada orificio (m^3/s)

A_o = Área del orificio (m^2)

v_o = velocidad de cada orificio (m/s)

➤ *Número de laterales*

$$N_l = 2 \frac{a_f}{e_l} \quad \text{Ec. 92}$$

Donde:

N_l = Numero de laterales (adimensional)

a_f = Ancho del filtro (m)

e_l = Separación entre laterales (1.5m)

1.6.2.4.1.8. *Diámetro de la tubería del filtro*

➤ *Cálculo del diámetro a la entrada del filtro*

$$\phi_e = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}} \quad \text{Ec. 93}$$

Donde:

ϕ_e = Diámetro de la tubería en la salida del agua al filtro (m)

Q_{dis} = Caudal de diseño (m^3/s)

v_e = Velocidad de agua a través de la tubería de salida (m/s)

➤ *Cálculo del diámetro a la salida del filtro*

$$\phi_e = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}} \quad \text{Ec. 94}$$

Donde:

ϕ_e = Diámetro de la tubería en la salida del agua al filtro (m)

Q_{dis} = Caudal de diseño (m^3/s)

v_e = Velocidad de agua a través de la tubería de salida (m/s)

1.6.2.4.1.9. Limpieza del Filtro

La limpieza en los equipos se la realiza para evitar acumulación de material eliminado, en el caso de los filtros mediante la limpieza se logra restablecer su capacidad y mejora su eficiencia.

➤ *Cálculo de la velocidad óptima del lavado del filtro*

$$v_{la} = D_{60} = CU * TE \quad \text{Ec. 95}$$

Donde:

v_{la} = Velocidad de lavado (m/s)

D_{60} = Producto del tamaño efectivo por el coeficiente de uniformidad, o percentil 60 del análisis granulométrico (1/s)

CU = Coeficiente de la uniformidad de la arena

TE = Tamaño efectivo de la arena (m)

➤ *Cálculo del volumen de agua requerida para el lavado del filtro*

$$V_{lf} = v_{la} * A_f * t_l$$

Donde:

V_{lf} = Volumen del agua requerida (m³)

v_{la} = Velocidad de lavado (m/s)

A_f = área del Filtro (m²)

t_l = Tiempo óptimo de lavado (10 min)

CAPITULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Área de desarrollo de estudio

El presente trabajo se desarrolla en la Extractora de Palma Aceitera “La Sexta”, en el sistema de tratamiento de agua residual.

Tabla 35 – 2: Información General de la Empresa

Datos Generales	
País	Ecuador
Región	Costa
Provincia	Esmeraldas
Lugar de estudio	Km 8 vía las Golondrina
Cantón	Quinindé
Parroquia	Rosa Zárate

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

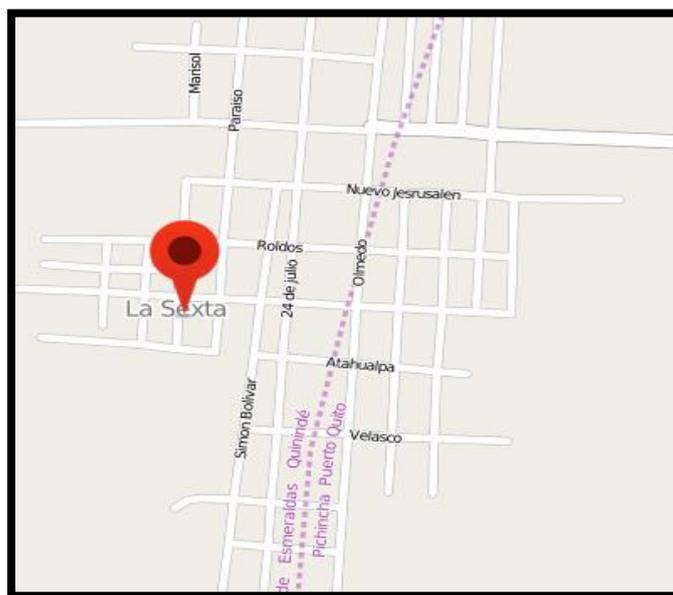


Figura 18 - 2: Ubicación geográfica

Fuente: <https://www.google.com.ec/maps/place/Extractora+La+Sexta>

2.1.1. Localización del Cantón Quinindé

El cantón Quinindé se encuentra localizado a 100 Km de la ciudad de Esmeraldas, capital de la provincia homónima, y al Sur-Este del territorio provincial; sus coordenadas geográficas son: Latitud: 00°13'33" N y Longitud: 73° 26'00" W.

La Sexta, ROSA ZARATE (QUININDE), QUININDE, ESMERALDAS se encuentra ubicado en la parroquia ROSA ZARATE (QUININDE) del cantón QUININDE perteneciente a la provincia ESMERALDAS, Ecuador

2.2. Métodos y Técnicas

2.2.1. Métodos

Los métodos a ser utilizados en el presente proyecto son el inductivo, deductivo y el experimental, los mismos que al ser aplicados nos permite obtener resultados reales y fáciles de interpretar, facilitando el estudio y mejoramiento de todo el sistema de tratamiento de agua residual del cual dispone la empresa.

2.2.1.1. Inductivo

La aplicación de este método, tiene como referencia el caudal medido mediante el método volumétrico, el cual nos permitió determinar la cantidad de agua residual que fluye a lo largo de cada una de las piscinas que conforman el tratamiento. Una vez medido los caudales se procedió a realizar una caracterización inicial al agua, tomando diferentes muestras en recipientes plásticos oscuros de polietileno, llevando a cabo los métodos de transportes de muestras apropiados como la esterilización de los frascos, el cerrado de las botellas y la conservación de la cadena de temperatura, para lo cual se utilizó un cooler.

Una vez almacenados y transportados correctamente las muestras, fueron caracterizadas en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias. Los resultados obtenidos antes, durante y al final del tratamiento fueron interpretados y tabulados para consideraciones del rediseño de todo el sistema de tratamiento de agua residual.

2.2.1.2. *Deductivo*

Una vez realizado todos los estudios y el adecuado rediseño del sistema, el cual se incorporará un sedimentador, aireación inducida, floculación - coagulación, y filtración, acondicionando con las normativas vigentes que indica el TULAS, libro VI, anexo I y tabla 12, disminuyendo la contaminación hacia el medio ambiente y el agua residual tratada pueda ser utilizada para un fin establecido.

2.2.1.3. *Experimental*

Los métodos experimentales utilizados para la caracterización fueron a nivel de laboratorio, el cual nos permite realizar la lectura de ph, temperatura, DBO, DQO, sólidos totales, solidos suspendidos, sólidos volátiles, nitrógenos amoniacal, turbiedad y microbiológicos, que nos ayuda a realizar la propuesta de las condiciones adecuadas para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales que cuenta la Extractora de Palma Aceitera “La Sexta”

2.2.2. *Técnicas*

Los análisis realizados al agua residual siguiendo los ensayos y protocolos basados en normas y técnicas de agua residual son: APHA / AWWA / WEF, ASTM, EPA, DIN, INEN, HACH, métodos Analíticos para aguas residuales y APHA-AWWA-WEF (2005) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, 2-55 y 2-56, método 2540.

Tabla 36 – 2: Técnicas y parámetros determinados en laboratorio

Parámetro	Expresado como	Unidad	Método	Límites
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	5500 - D	0.3
Coliformes Fecales	CF	Nmp/100 ml	Filtración por Membrana	Remoción > al 99,9 %
Coliformes Totales	CT	Nmp/100 ml	Filtración por Membrana	Remoción > al 99,9 %
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l		0.2

Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	5210 – B	250
Hierro total	Fe	mg/l		10
N. Amoniacal	N	mg/l	5500 - D	15
Sólidos Sedimentables		ml/l	2540 - B	1.0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	2540 – C	100
Sólidos totales		mg/l		1600

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

2.3. Muestreo

Este tipo de actividad se lo realiza con la intención de poder identificar o caracterizar todos los componentes que intervienen en nuestra agua a tratar, tomando en cuenta que la recolección sea establecida de acuerdo a la producción, factores climáticos y antecedentes, para obtener datos reales, los cuales puedan ser interpretados correctamente.

2.3.1. Plan de muestreo

Las muestras fueron tomadas tres días en la semana (Miércoles, Jueves y Viernes), ya que en estos días es donde la producción se encuentra en su punto más alto, de cada día se procedió a tomar tres muestras, estableciendo un promedio del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de un volumen establecido.

2.3.1.1. *Medición de volumen, tiempo, caudal, ph y temperatura.*

La medición de estos parámetros se los realizo a lo largo de una semana tomando el caudal tres veces durante cada día, a las 3 piscinas, utilizando el método volumétrico, los datos adicionales como temperatura y pH fueron tomados in situ. Los datos de cada piscina se detallan a continuación:

2.3.1.1.1. *Plan de muestreo en la Piscina N° 1 de “Desaceitado”*

Tabla 37 - 2: Valores de Caudal, pH y temperatura en la Piscina de Desaceitado

	Día	Hora	Nº de Piscina	V (l)	t (s)	Q (l/s)	Q (m³/h)	T° (C°)	pH
	Miércoles	09:00	1	25	53.19	0.47	1.69	40	4.5
	Miércoles	12:00	1	25	50.00	0.5	1.80	40	4.5
	Miércoles	15:00	1	25	51.02	0.49	1.76	39	4
	Jueves	09:00	1	25	52.08	0.48	1.73	43	4
	Jueves	12:00	1	25	49.02	0.51	1.84	40	4.5
	Jueves	15:00	1	25	54.35	0.46	1.66	42	4
	Viernes	09:00	1	25	53.19	0.47	1.69	39	4.5
	Viernes	12:00	1	25	52.08	0.48	1.73	40	4.5
	Viernes	15:00	1	25	53.19	0.47	1.69	42	4.5
Promedio				25	52.01	0.48	1.73	40.56	4.33

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

El siguiente muestreo nos permite determinar que la Temperatura de salida de la piscina es de 40.56 C°, el ph es de 4.33 y el caudal promedio que se mantiene la piscina de desaceitado es de 1.73 m³/h, estos valores antes mencionados serán considerado, para poder realizar las condiciones de diseño.

2.3.1.1.2. *Plan de muestreo en la Piscina N° 2 Aerobia*

Tabla 38 - 2: Valores de Caudal, pH y temperatura en la Piscina Facultativa

	Día	Hora	Nº de Piscina	V (l)	t (s)	Q (l/s)	Q (m³/h)	T° (C°)	pH
	Miércoles	09:00	2	25	13.16	1.9	6.84	30	7
	Miércoles	12:00	2	25	12.50	2	7.20	31	6
	Miércoles	15:00	2	25	12.50	2	7.20	31	6
	Jueves	09:00	2	25	12.63	1.98	7.13	31	5
	Jueves	12:00	2	25	11.90	2.1	7.56	30	6
	Jueves	15:00	2	25	11.36	2.2	7.92	30	5
	Viernes	09:00	2	25	11.36	2.2	7.92	30	6
	Viernes	12:00	2	25	12.50	2	7.20	31	5
	Viernes	15:00	2	25	12.50	2	7.20	31	5
	Promedio			25	12.27	2.04	7.35	30.56	5.67

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

El siguiente muestreo nos permite determinar que la Temperatura de salida de la piscina es de 30.56 C°, el pH es de 5.67 y el caudal promedio que se mantiene la piscina de desaceitado es de 7.35 m³/h, este valor será considerado, para poder realizar las condiciones de diseño

2.3.1.1.3. *Plan de muestreo en la Piscina N° 3 de estabilización*

Tabla 39 - 2: Valores de Caudal, pH y temperatura en la Piscina de Estabilización

	Día	Hora	Nº de Piscina	V (l)	t (s)	Q (l/s)	Q (m³/h)	T° (C°)	pH
	Miércoles	09:00	3	25	31.25	0.8	2.88	29	7.5
	Miércoles	12:00	3	25	30.12	0.83	2.99	30	7.6
	Miércoles	15:00	3	25	27.78	0.9	3.24	29	7.5
	Jueves	09:00	3	25	28.09	0.89	3.20	31	7.5
	Jueves	12:00	3	25	30.86	0.81	2.92	30	7.5
	Jueves	15:00	3	25	29.76	0.84	3.02	29	7.6
	Viernes	09:00	3	25	31.25	0.8	2.88	29	7.5
	Viernes	12:00	3	25	30.86	0.81	2.92	29	7.6

	Viernes	15:00	3	25	31.25	0.8	2.88	30	7.6
Promedio				25	30.14	0.83	2.99	29.56	7.54

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

El siguiente muestreo nos permite determinar que la Temperatura de salida de la piscina es de 29.56 C°, el pH es de 7.54 y el caudal promedio que se mantiene la piscina de desaceitado es de 2.99 m³/h, este valor será considerado, para poder realizar las condiciones de diseño.

2.4. Datos Experimentales

2.4.1. Pruebas de laboratorio

Las pruebas realizadas al agua residual fueron realizadas en cuatro secciones, la primera antes de ingresar al sistema de tratamiento, la segunda al salir de primera piscina, la tercera prueba fue al salir de la piscina de tratamiento con bacterias y la final al salir de la piscina tres que se considera como de estabilización, a partir de los datos obtenidos de la tercera piscina empieza a ser planteado el rediseño.

2.4.1.1. Caracterización inicial del agua a ser tratada

La primera caracterización realizada, fue realizada antes del ingreso a los tanques florentinos, la cual se detallan en la siguiente tabla

Tabla 40 - 2: Caracterización previo al ingreso del sistema de Tratamiento

Parámetro	Unidades	Entrada
Ph	Directo	4.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/Lit	74167
Demando Química de Oxígeno (DQO)	mg/Lit	95800
Sólidos Totales	mg/Lit	920000
Sólidos Suspendidos (SS)	mg/Lit	44000
Sólidos Volátiles (SV)	mg/Lit	17600

Nitrógeno Amoniaco	mg/Lit	412
Aceites y Grasas	mg/Lit	571
Temperatura	°C	56
Turbiedad		70000
Coliformes Totales	UFC / 100 ml	
Escherichia Coli	UFC / 100 ml	

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

Tabla 41 - 2: Caracterización físico – químicas y microbiológica del sistema de tratamiento actual

Parámetros	Unidad	Resultados			
		Piscina # 1 “Desaceitado”	Piscina # 2 “Laguna Aerobia ”	Piscina # 3 “Laguna de estabilización ”	Limites normativa
pH	Unid	4.5	7.0	7.6	5-9
Temperatura	°C	43	31	29	< 35
Turbiedad	UNT	50000	5900	775	
Amonios	mg/lit	9.00	8.00	3.60	
Manganeso	mg/lit	0.70	0.33	0.89	2
Hierro	mg/lit	4.40	2.80	5.70	10
Sólidos Sedimentables	ml/l	430	140	1.0	1.0

Sólidos Volátiles	mg/l	5650	3590	1125	
Sólidos Suspendidos	mg/l	23770	11130	1900	100
Sólidos Totales	mg/l	69320	12260	6920	1600
Grasas y Aceites	mg/l	1.57	0.03	0.019	0.3
DQO	mg/L	95700	34900	20800	250
DBO5	mg/L	41600	5900	4000	100
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	88	28	14	
Coliformes Totales	UFC/ml	-----	286×10^7	-----	Remoción > 99.9%
Eschericha Coli	UFC/ml	-----	124×10^7	-----	Remoción > 99.9%

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

2.4.1.2. Análisis de resultados de las piscinas

La caracterización inicial realizada, corresponde a las tres primeras piscinas del sistema actual con el que cuenta la Empresa, estos parámetros fueron comparados con los límites establecidos con la tabla del TULAS Libro VI, ANEXO 1, tabla 12, con esta normativa nos permite evidenciar que los parámetros analizados no se encuentran dentro de la norma establecida.

La piscina # 3 de “Estabilización” es nuestra referencia y nuestro punto de partida para el planteamiento del rediseño, en la tabla anterior mostrada podemos evidenciar que el sistema de tratamiento de agua residual no se encuentra cumpliendo con las metas aspiradas de la empresa ni con los límites permisibles que establece la norma.

Tabla 42 - 2: Parámetros fuera de Norma

Determinación	Resultados	Límite	Condición
DBO5	4000	100	No Cumple
DQO	20800	250	No Cumple
Sólidos Volátiles	1125		No Cumple
Sólidos Suspendidos	1900	100	No Cumple
Sólidos Totales	6920	1600	No Cumple
Coliformes Fecales	286×10^7	Remoción > 99.9%	No Cumple
Eschericha Coli	124×10^7	Remoción > 99.9%	No Cumple

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

2.5. Eficiencia Actual del Sistema de tratamiento de aguas residuales

Estos valores mostrados en la tabla nos permite indicar que actualmente la eficiencia del sistema de tratamiento de agua residual que consta la empresa es del 75.28%, se debe considerar esta eficiencia con la alta carga contaminante que ingresa al sistema, siendo aparentemente aceptable, pero no es suficiente para complacer los límites establecidos por la normativa ambiental, la cual con la propuesta de rediseño será aumentar dicha eficiencia con técnicas adecuadas para mejoramiento del sistema.

2.5.1. Diagrama de Bloques de la Planta Actual

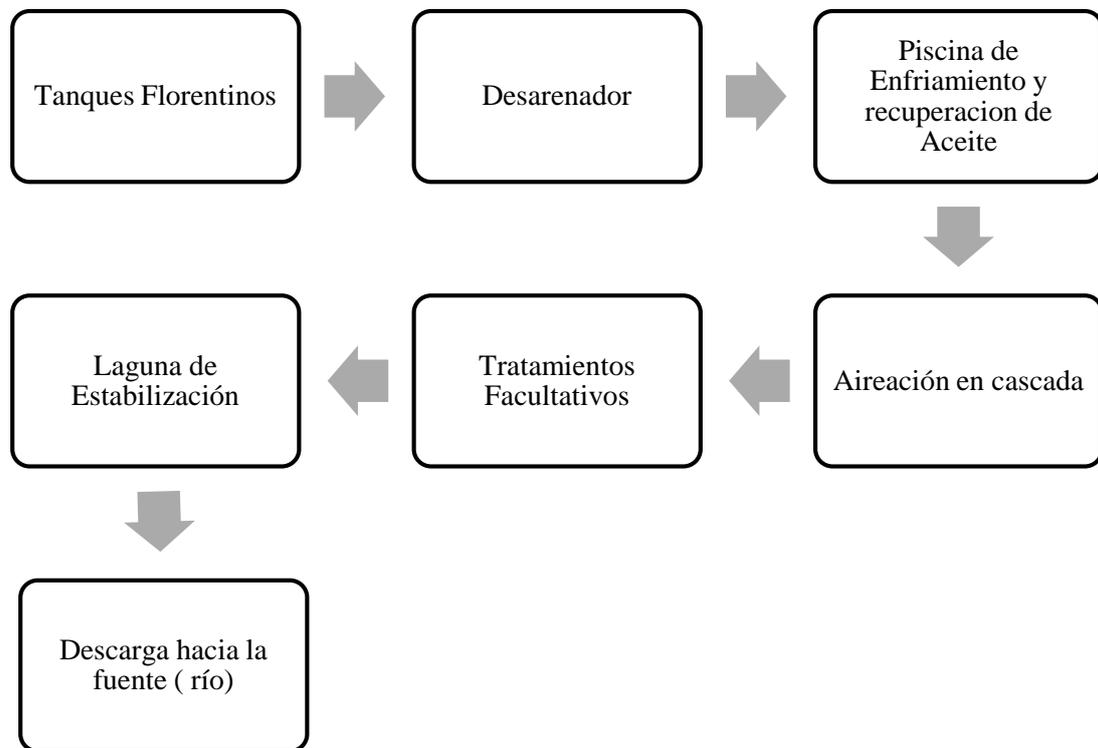


Figura 19 - 2: Esquema del sistema de tratamiento de agua residual Extractora “La Sexta”

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

2.5.1.1. Descripción del Sistema de Tratamiento Actual de la Empresa

El sistema empieza con los tanques florentinos los cuales permiten que el aceite (menos denso que el agua) se ubique en la parte superior de los tanques. Los tanques florentinos no logran realizar el total de sus funciones, debido gran cantidad de efluente que el proceso genera, las condiciones climáticas, la producción con la cual se encuentre trabajando la empresa y el tiempo de retención que no supera las 10 horas.

Antes de llegar a las piscinas el fluido pasa por un sistema de desarenadores que regula el caudal y retiene la mayor cantidad de arena y otro material visible que exista. El sistema continúa con seis piscinas conectadas en serie que funcionan con procesos aerobios, anaerobios y facultativos, en donde cada una de ellas realiza su propia función, como la recuperación del aceite que no puede ser recuperado por parte de los florentinos.

La regulación de la temperatura, es importante para garantizar un trabajo óptimo de la población de microorganismos que actuará en las lagunas, ya que estos requieren temperaturas menores de 37 °C, la recuperación del aceite se la realiza por decantación hacia la superficie y retiro posterior, se lo efectúa manualmente.

La disminución de la carga orgánica se consigue con el paso del fluido de una piscina a la otra, actualmente el caudal de agua promedio es de 302.2 m³/día, lo que permite la acumulación de lodos, los cuales son periódicamente evacuados a una laguna alterna conocida como lecho de secado, este mismo lodo posteriormente es utilizado como abono para las plantaciones de palma o en algunos casos son vendidos a las haciendas ganaderas.

En el caso de la piscina de desaceitado el objetivo principal es la recuperación de aceite y bajar la temperatura, el método actualmente utilizado es por devaste, en donde cada determinado tiempo según la producción (15 días aproximados), el aceite alcanza una altura de 3 cm, y por acción de la densidad se queda en la parte superficial de la piscina, se logra recuperar cerca del 85% de aceite, el cual es desviado hacia un tanque de almacenamiento que posteriormente es bombeado hacia el proceso, el mismo que será vendido como producto secundario para la elaboración de balanceado.

Antes de pasar el fluido hacia la segunda piscina aerobia, es aireada en el cual se deja caer el agua, sobre uno o más escalones, este tipo de aireador de cascada fue diseñado como una escalera; con una altura de 1.90 m. Esto origina el salpicamiento en forma similar a como sucede en un río turbulento creando mayor oxigenación al agua y permitiendo que las bacterias puedan ser activadas y realicen su función.

Los microorganismos que efectúan la oxidación biológica, trabajan a un intervalo óptimo de pH entre 7 y 8.5 y con los nutrientes adecuados para efectuar la digestión de los compuestos orgánicos, las bacterias usadas en este sistema se encuentran en pH y temperatura idónea, realizar una caracterización microbiológica es muy complicada porque pueden existir muchas familias que estén actuando, por esta razón se realizó una caracterización general identificando a grupos como son los aerobios Mesófilos, los mohos y levaduras.

El tiempo de retención en la piscina bordea los 20 días, durante este tiempo las bacterias logran digerir la carga orgánica que es producida por la planta, logrando eliminar sólidos, nitrógeno amoniacal y reducir DQO y DBO, si bien los parámetros se encuentran lejos de cumplir la normativa del TULAS, debemos considerar las características iniciales del agua podemos evidenciar que se alcanza un porcentaje de remoción cerca del 70%.

En la piscina de estabilización logra sedimentar los lodos formados, disminuyendo su carga orgánica, el nitrógeno amoniacal logra disminuir, al igual que la DBO y DQO, las características finales del agua de salida de esta piscina nos permitirán establecer mi punto de partida del rediseño en el cual se tendrá que ajustar parámetros tales como: DQO, DBO, Sólidos Volátiles, Sólidos Suspendidos, Sólidos Totales, Turbiedad y presencia de microorganismos

CAPITULO III

3. REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE LA EXTRACTORA DE PALMA ACEITERA “LA SEXTA”.

3.1. Condiciones del Diseño y Rediseño

En la implementación del rediseño planteado para el sistema de tratamiento de aguas residuales de la Extractora de palma aceitera “La Sexta”, fueron considerados procesos preliminar, primario, secundario y terciario, adecuados que permitan la eliminación de los contaminantes establecidos en la caracterización inicial (previo al ingreso a la primera piscina) y la caracterización final (salida de la tercera piscina). Con estos datos nos permiten el desarrollo de los cálculos pertinentes.

La propuesta empieza desde la implementación del sedimentador, los procesos que son mencionados anteriormente así como sus características, eficiencia, y los cálculos de ingeniería son los que la empresa cuenta actualmente sin realizar ninguna modificación en los mismos.

3.1.1. Cálculo del caudal de diseño

Para establecer el caudal de rediseño, se debe considerar dos aspectos; el primero es la capacidad máxima que la empresa tiene para procesar fruta y la segunda es la cantidad de agua consumida para procesar la cantidad requerida de la empresa, los cuales están detallados en la **Tabla 6 - 1**.

$$Q_{Dis} = Td * Et * Tt$$

$$Q_{Dis} = \frac{21 \text{ Ton} * 0.6 \text{ m}^3 * 24 \text{ h}}{h * \text{Ton} * \text{día}}$$

$$Q_{Dis} = 302.4 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

Este valor será considerado para establecer las condiciones de rediseño de todo el sistema de tratamiento de agua residual.

3.1.2. Tratamiento del Sistema

3.1.2.1. Pretratamiento

3.1.2.1.1. *Tanques Florentinos*

3.1.2.1.1.1. *Cálculo del área del tanque*

Utilizando los datos de dimensionamiento del tanque en la **Tabla 7 – 1**, calculamos el área con la siguiente ecuación:

$$A_f = b * h$$

$$A_f = 3.5 \text{ m} * 1.23 \text{ m}$$

$$A_f = 4.30 \text{ m}^2$$

3.1.2.1.1.2. *Cálculo del Volumen del Tanque*

$$V = A_f * l$$

$$V = 4.30 \text{ m}^2 * 28 \text{ m}$$

$$V = 120.54 \text{ m}^3$$

3.1.2.1.1.3. *Cálculo del tiempo de retención en el tanque florentino*

$$t_R = \frac{V}{Q_{Dis}}$$

$$t_R = \frac{120.54 \text{ m}^3 * \text{día} * 24 \text{ h}}{302.4 \text{ m}^3 * \text{día}}$$

$$t = 9.57 \text{ h}$$

3.1.2.1.1.4. *Cálculo del Caudal del tanque florentino*

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{120.54 \text{ m}^3}{9.57 \text{ h}}$$

$$Q = 12.6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

3.1.2.1.1.5. Aceite recuperado por el tanque Florentino

Para realizar el cálculo del aceite recuperado, se debe considerar la densidad del aceite y la temperatura a la cual sale del tanque florentino.

➤ Cálculo de la densidad

Basándonos en la **Ec. 8** y considerando el valor del aceite es 56°C, utilizamos el **Figura 1-1**, que indica las densidades del Aceite de Palma en función de la temperatura, se establece lo siguiente:

$$D_a = D - 0.000675 (T - 30 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$D_a = 0.887250 \frac{\text{kg}}{\text{l}} - 0.000675 (56 \text{ } ^\circ\text{C} - 30 \text{ } ^\circ\text{C}) * \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3}$$

$$D_a = 869.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

➤ Cálculo del volumen de aceite recuperado

Tomamos en cuenta que la empresa semanalmente (5 días) recupera 500 kg de aceite.

$$D_a = \frac{m}{V}$$

$$V = \frac{m}{D_a}$$

$$V = \frac{100 \text{ kg}}{869.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V = 0.115 \text{ m}^3$$

3.1.2.1.1.6. Eficiencia de recuperación de aceite

Para poder determinar la eficiencia con la trabaja el tanque florentino, se realizó una caracterización previa al ingreso del tanque para cuantificar la cantidad de aceite y grasas que contiene el agua y a la salida del tanque, para establecer la cantidad que fue eliminada, esta eficiencia está determinada por la **Ec. 10**.

$$\% A_R = \frac{A_i - A_f}{A_I} * 100\%$$

$$\% A_R = \frac{571 \frac{mg}{l} - 165 \frac{mg}{l}}{571 \frac{mg}{l}} * 100\%$$

$$\% A_R = 71 \%$$

3.1.2.1.2. Canal de Unión del Florentino con el Desarenador

3.1.2.1.2.1. Cálculo del área del canal

Utilizando los valores de las dimensiones del canal de la **Tabla 8 - 1**, procedemos a realizar los siguientes cálculos:

$$A = b * y$$

$$A = 0.40 \text{ m} * 0.28 \text{ m}$$

$$A = 0.112 \text{ m}^2$$

3.1.2.1.2.2. Cálculo del Perímetro Mojado

$$P_m = b + 2y$$

$$P_m = 0.40\text{m} + 2(0.28\text{m})$$

$$P_m = 0.96 \text{ m}$$

3.1.2.1.2.3. Cálculo del Radio Hidráulico del Canal

La sección utilizada por la Extractora es de tipo rectangular, realizamos el cálculo del radio hidráulico con la **Ec. 13**

$$Rh = \frac{A}{P_m}$$

$$Rh = \frac{0.40 \text{ m} * 0.28 \text{ m}}{0.40 \text{ m} + (2 * 0.28 \text{ m})}$$

$$Rh = 0.117 \text{ m}$$

3.1.2.1.2.4. Cálculo de la velocidad del flujo previo al ingreso del desarenador

$$v = \frac{1}{n} * Rh^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

n = Coeficiente de Manning 0.014

S = gradiente hidráulico 0.0005 m/m

$$v = \frac{1}{0.014} * 0.117^{\frac{2}{3}} * 0.0005^{\frac{1}{2}}$$

$$v = 0.38 \frac{m}{s}$$

3.1.2.1.3. Dimensiones del Desarenador

En la **Tablas 9, 10, 11,12 - 1** se describe las dimensiones del desarenador. En el caso del área y el volumen total del desarenador se lo establece a través de la sumatoria de las cuatro secciones que consta el mismo (Zona # 1 – 2 de sedimentación, zona frontal y zona posterior). Siendo el área total 1.47m² y 5.73m³.

3.1.2.1.3.1. Cálculo de la Transición de entrada del desarenador

$$Lt = \frac{Bdes - Bcan}{2 \tan 12.5^\circ}$$

$$Lt = \frac{3.3 \text{ m} - 0.40 \text{ m}}{2 \tan 12.5^\circ}$$

$$Lt = 6.5 \text{ m}$$

3.1.2.1.3.2. Cálculo de la velocidad de flujo en el desarenador

Para poder determinar el diámetro que posee la partícula a ser sedimentada, nos basamos en los procesos que cuenta la empresa, ya que dentro del mismo, la empresa cuenta que dos procesos de desarenación, un tamiz, un proceso de clarificación y finalmente un tricante, lo que nos significa que la descarga del agua no va a existir presencia de arenas con diámetro grandes, por lo que será tomado el menor valor al diámetro de la arena que es de 0.00005 m. (**Tabla 13 – 1**)

$$v = a\sqrt{d}$$

Donde:

$$a = 51$$

$$d = 0.00005 \text{ m}$$

$$v = \sqrt{0.00005}$$

$$v = 0.36 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.1.2.1.3.3. *Cálculo del Caudal del desarenador*

$$Q = A * v$$

$$Q = 1.47 \text{ m}^2 * 0.62 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q = 0.91 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

3.1.2.1.3.4. *Cálculo de la velocidad de sedimentación en el desarenador*

Tomaremos el valor sugerido por Arkangelski, en la **Tabla 15 – 1**, en el que nos indica el valor directo de la velocidad de sedimentación para partículas de 0.05 mm de diámetro.

$$w_o = 0.178 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

3.1.2.1.3.5. *Cámara de sedimentación*

➤ *Cálculo del Volumen*

Utilizando los valores de dimensionamiento con los que cuenta la cámara de sedimentación del desarenador descritos en la **Tabla 14 – 1**, calculamos el volumen máximo con la **Ec. 19**

$$Va = l * b * h$$

$$Va = 3.10 \text{ m} * 0.40 \text{ m} * 0.28 \text{ m}$$

$$Va = 0.35 \text{ m}^3$$

3.1.2.1.3.6. *Cálculo del porcentaje de remoción del desarenador*

Mediante la caracterización realizada antes y después del desarenador que se cuenta nos permite determinar que se están removiendo 709408 mg/l, lo que nos permite determinar la eficiencia de la siguiente forma:

$$\%Ra = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100\%$$

$$\%Ra = \frac{920000 \frac{mg}{l} - 210592 \frac{mg}{l}}{920000 \frac{mg}{l}} * 100\%$$

$$\% Ra = 77 \%$$

3.1.2.2. *Tratamientos Primarios*

3.1.2.2.1. *Piscina de Desaceitado*

3.1.2.2.1.1. *Cálculo del caudal*

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$Q = \frac{0.025m^3}{0.014 h}$$

$$Q = 1.73 \frac{m^3}{h}$$

3.1.2.2.1.2. *Cálculo del área de la piscina*

Mediante la **Tabla 17 – 1**, en la cual describe las dimensiones de la piscina, realizamos los siguientes cálculos:

$$A = l * a$$

$$A_m = (25.40m) * (46.80m)$$

$$A_m = 1188.72 m^2$$

Se debe considerar que las piscinas no son totalmente simétricas, por esta razón es necesario determinar las pérdidas con el método del área bajo la curva, en la que se obtuvo lo siguiente:

Tabla 43 - 3: Pérdida total del área de la piscina

Total perdidas (m ²)	Área máxima
53.96	1188.72

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

$$A_T = A_m - T_p$$

$$A_T = 1188.72 \text{ m}^2 - 53.96 \text{ m}^2$$

$$A_T = 1134.76 \text{ m}^2$$

3.1.2.2.1.3. Cálculo de la altura de la Piscina de Desaceitado

Para la determinación de la altura, se estableció un muestreo, en cual la piscina fue dividida por diferentes áreas, estableciendo altura máxima y mínima, para poder determinar la altura promedio y la acumulación de lodos que existe.

En la **Tabla 18 – 1**, se establecen las medidas de altura que presenta la piscina, la cual fue marcada por 8 zonas, en la cual se fue midiendo su altura teniendo una variación de una altura máxima de 4 m y una altura mínima de 0.90 m, esto nos indica que la acumulación de lodos es muy alta, tomando en cuenta que esta piscina no se realizan evacuaciones. El promedio general de la altura de la piscina es de 2.62 m, siendo este valor a ser considerado para el cálculo del volumen.

$$h = 2.62 \text{ m}$$

3.1.2.2.1.4. Cálculo del volumen de la piscina de desaceitado

$$V = A_T * h$$

$$V = 1134.76 \text{ m}^2 * 2.62 \text{ m}$$

$$V = 2973.07 \text{ m}^3$$

3.1.2.2.1.5. Cálculo del tiempo de retención hidráulico

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

$$TRH = \frac{2973,07 \text{ m}^3}{302.2 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$TRH = 9 \text{ día}$$

3.1.2.2.1.6. Cálculo del porcentaje de remoción

➤ Remoción de DBO

La caracterización inicial nos indica que la piscina remueve 32567 mg/l.

$$\%R_{DBO} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100\%$$

$$\%R_{DBO} = \frac{74167 \frac{mg}{l} - 41600 \frac{mg}{l}}{74167 \frac{mg}{l}} * 100\%$$

$$\%R_{DBO} = 43.9 \%$$

➤ *Remoción de Sólidos Totales*

Mediante la caracterización realizada antes y después del desarenador nos permite determinar que se están removiendo 141272 mg/l.

$$\%Rsst = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100\%$$

$$\%Rsst = \frac{210592 \frac{mg}{l} - 69320 \frac{mg}{l}}{210592 \frac{mg}{l}} * 100\%$$

$$\% Rsst = 67 \%$$

➤ *Remoción de Aceites y Grasas*

Por acción del sistema de barrido que cuenta la piscina de desaceitado y comprando la caracterización inicial y final, se elimina 83.43 mg/l.

$$\%R_{Ace} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100\%$$

$$\%Ra = \frac{165 \frac{mg}{l} - 2.57 \frac{mg}{l}}{165 \frac{mg}{l}} * 100\%$$

$$\% Ra = 98 \%$$

3.1.2.2.2. *Dimensiones del tanque de aceite recuperado*

El tanque fue diseñado para tener un almacenamiento previo al aceite que es recuperado de la piscina de desaceitado, para no ser bombeado directamente al proceso, se debe tomar en cuenta que este producto es considerado como secundario, el cual es vendido para elaborar balanceado. Las condiciones del tanque están descritos en la **Tabla 19 – 1**.

3.1.2.2.1. Cálculo del Volumen del tanque

$$V = A * h$$

$$V = (1.44m^2) * (1.20m)$$

$$V = 1.73m^3$$

Esta acción se la realiza cinco veces por acción de aceite recuperado, el cual será bombeado a medida que el tanque alcance su capacidad máxima.

$$V = 1.73m^3 * 5$$

$$V = 8.64m^3$$

El volumen recuperado es de 8.64 m³, pero debemos considerar que esta cantidad es posible de recuperar solo cada 15 días, por esta razón la cantidad de aceite recuperado cada día será la siguiente

$$V = \frac{1.73m^3}{15 \text{ día}}$$

$$V = 0.574 \frac{m^3}{\text{día}}$$

3.1.2.2.3. Aireador en Cascada

Con las dimensiones descrita en la **Tabla 20 – 1**; procedemos a realizar los cálculos que permite tener una apreciación de cuáles son las condiciones de funcionamiento que tiene nuestro aireador. Las formulas descritas a continuación son planteadas por Romero Rojas, de igual manera los valores de las constantes utilizadas para el cálculo del caudal y de la relación deficitaria de oxígeno.

3.1.2.2.3.1. Caudal de descarga del aireador

$$Q = C_d A \sqrt{2gh}$$

Donde

C_d = Coeficiente de descarga (0.95)

A = área del escalón (m²)

g = aceleración de la gravedad (9.8 m/s²)

h = energía total (1.9 m)

$$Q = 0.95 * 0.08 \text{ m}^2 \sqrt{2 * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} * 1.9 \text{ m}$$

$$Q = 0.46 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

3.1.2.2.3.2. *Cálculo de la relación deficitaria de oxígeno*

$$H = \frac{R - 1}{0.361ab (1 + 0.046T)}$$

$$R = (H ((0.361ab)(1 + 0.046T))) + 1$$

Donde

R = Relación deficitaria de oxígeno

H = Altura de caída del agua, (m)

a = Efluente para agua residual 0.8

b = Vertedero escalonado 1.3

$$R = (1.9 \text{ m} ((0.361 * 0.8 * 1.3)(1 + 0.046 * 43^\circ\text{C}))) + 1$$

$$R = 3.12$$

3.1.2.2.3.3. *Cálculo del tiempo de caída en la cascada*

$$t_h = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$t_h = \sqrt{\frac{2 * 1.9\text{m}}{9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

$$t_h = 0.6 \text{ s}$$

3.1.2.2.3.4. *Tiempo de contacto con el aire*

$$t_c = \sqrt{\frac{2hn}{g}}$$

$$t_c = \sqrt{\frac{2 * 1.9\text{m} * 5}{9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

$$t_c = 1.4 \text{ s}$$

3.1.2.3. Tratamiento Secundario

3.1.2.3.1. Tratamiento Biológico – Laguna Facultativa

3.1.2.3.1.1. Cálculo del caudal de la Laguna

$$Q_1 = \frac{V}{t}$$

$$Q_1 = \frac{0.025m^3}{0.0034 h}$$

$$Q_1 = 7.33 \frac{m^3}{h}$$

3.1.2.3.1.2. Cálculo del área de la Laguna Facultativa

Las dimensiones de la piscina facultativa se describen en la **Tabla 22 – 1**; con el cual nos ayudamos para poder realizar los siguientes cálculos:

$$A_{1m} = l * a$$

$$A_{1m} = (63.30 m) * (46.60 m)$$

$$A_{1m} = 2949.78 m^2$$

Se debe considerar que las piscinas no son totalmente simétricas, por esta razón es necesario determinar las pérdidas con el método del área bajo la curva, en la que se obtuvo lo siguiente:

Tabla 44 – 3: Pérdida total del área de la Laguna Facultativa

Total perdidas (m ²)	Área máxima
139.54	2810.24

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

$$A_{1T} = A_{1m} - T_p$$

$$A_{1T} = 2949.78 m^2 - 139.54 m^2$$

$$A_{1T} = 2810.24 m^2$$

3.1.2.3.1.3. Cálculo de la altura de la Laguna Facultativa

La piscina fue marcada por 8 zonas, en la cual se fue midiendo su altura teniendo una variación de una altura máxima de 5.5 m y una altura mínima de 0.40 m, esto nos indica que la acumulación de lodos es muy alta, tomando en cuenta que esta piscina no se realizan evacuaciones. El promedio general de la altura de la piscina es de 2.3 m, siendo este valor a ser considerado para el cálculo del volumen.

$$h = 2.3 \text{ m}$$

3.1.2.3.1.4. Cálculo del volumen de la Laguna Facultativa

$$V_1 = A_{1T} * h$$

$$V_1 = 2810.24 \text{ m}^2 * 2.3 \text{ m}$$

$$V_1 = 6463.5 \text{ m}^3$$

3.1.2.3.1.5. Cálculo del tiempo de retención hidráulico

$$TRH_1 = \frac{V_1}{Q_1}$$

$$TRH_1 = \frac{6463.5 \text{ m}^3}{302.2 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$TRH_1 = 21 \text{ día}$$

3.1.2.3.1.6. Cálculo de la evacuación de lodos

Se debe calcular en que tiempo es necesaria la evacuación de los lodos producidos por la piscinas, para evitar saturaciones, mediante la **Ec. 39**

$$n_l = \frac{1000 * FVL * V}{TAL * Q_{dis} * 365}$$

Donde

FVL = Fracción de volumen de lodo en la laguna (0.4)

TAL = Tasa de acumulación de lodos (0.65)

$$n_l = \frac{1000 * 0.40 * 4271.5 \text{ m}^3}{0.65 * 302.2 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 365}$$

$$n_l = 23 \text{ día}$$

3.1.2.3.1.7. *Cálculo del Volumen de Lodos*

$$V_L = 0.000156 * Q_{Dis} * ST_R$$

ST_R = Cantidad de sólidos removidos en la piscina (57060 mg/l)

$$V_L = 0.000156 * 302.2 \frac{m^3}{día} * 57060 \frac{mg}{l}$$

$$V_L = 2690 \frac{m^3}{año}$$

Cálculo para un periodo de producción de 5 años

$$V_{L5} = 2690 \frac{m^3}{año} * 5 \text{ año}$$

$$V_{L5} = 13450 m^3$$

3.1.2.3.1.8. *Cálculo de la eficiencia de la laguna de oxidación*

➤ *Remoción de DBO*

$$DBO_R = DBO_A - DBO_D$$

$$DBO_R = 41600 \frac{mg}{l} - 5900 \frac{mg}{l}$$

$$DBO_R = 35700 \frac{mg}{l}$$

Eficiencia de Remoción

$$\% E_{DBO} = \frac{DBO_R}{DBO_A} * 100 \%$$

$$\% E_{DBO} = \frac{35700 \frac{mg}{l}}{41600 \frac{mg}{l}} * 100 \%$$

$$\% E_{DBO} = 85 \%$$

➤ *Remoción de Sólidos Totales*

$$ST_R = ST_A - ST_D$$

$$ST_R = 69320 \frac{mg}{l} - 12260 \frac{mg}{l}$$

$$ST_R = 57060 \frac{mg}{l}$$

Eficiencia de Remoción

$$\% E_{ST} = \frac{ST_R}{ST_A} * 100 \%$$

$$\% E_{ST} = \frac{57060 \frac{mg}{l}}{69320 \frac{mg}{l}} * 100 \%$$

$$\% E_{ST} = 82 \%$$

3.1.2.3.2. *Laguna de Estabilización*

3.1.2.3.2.1. *Cálculo del caudal en la Laguna*

$$Q_2 = \frac{V}{t}$$

$$Q_2 = \frac{0.025m^3}{0.0083 h}$$

$$Q_2 = 2.99 \frac{m^3}{h}$$

3.1.2.3.2.2. *Cálculo del área de la piscina*

En la **Tabla 24 – 1**; se describen las dimensiones de la piscina, para poder realizar los cálculos correspondientes:

$$A = l * a$$

$$A_m = (76.6 m) * (22.30 m)$$

$$A_m = 1708.18 m^2$$

Se debe considerar que las piscinas no son totalmente simétricas, por esta razón es necesario determinar las pérdidas con el método del área bajo la curva, en la que se obtuvo lo siguiente:

Tabla 45 - 3: Pérdida total del área de la piscina de Estabilización

Total perdidas (m ²)	Área máxima
617.02	1708.18

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

$$A_T = A_{2m} - T_p$$

$$A_T = 1708.18 \text{ m}^2 - 617.02 \text{ m}^2$$

$$A_T = 1091.16 \text{ m}^2$$

3.1.2.3.2.3. Cálculo de la altura

La piscina fue marcada por 8 zonas, en la cual se fue midiendo su altura teniendo una variación de una altura máxima de 2.2 m y una altura mínima de 0.45 m, esto nos indica que la acumulación de lodos es muy alta, tomando en cuenta que esta piscina no se realizan evacuaciones. El promedio general de la altura de la piscina es de 1.52 m, siendo este valor a ser considerado para el cálculo del volumen.

$$h = 1.52 \text{ m}$$

3.1.2.3.2.4. Cálculo del volumen de la piscina de oxidación

$$V = A_T * h$$

$$V = 1091.16 \text{ m}^2 * 1.52 \text{ m}$$

$$V = 1658.6 \text{ m}^3$$

3.1.2.3.2.5. Cálculo del tiempo de retención hidráulico

$$TRH = \frac{V}{Q_2}$$

$$TRH = 5 \text{ día}$$

3.1.2.3.2.6. Cálculo del número de dispersión

El número de dispersión se estima adoptando una relación que existe entre el largo y el ancho de la piscina de estabilización, utilizando la **Ec. 50**.

$$d = \frac{\frac{l}{a}}{-0.26118 + 0.25392 * \frac{l}{a} + 1.01368 * \left(\frac{l}{a}\right)^2}$$

$$d = \frac{\frac{76.6 \text{ m}}{22.30 \text{ m}}}{-0.26118 + 0.25392 * \frac{76.6 \text{ m}}{22.30 \text{ m}} + 1.01368 * \left(\frac{76.6 \text{ m}}{22.30 \text{ m}}\right)^2}$$

$$d = 0.27$$

3.1.2.3.2.7. Coeficiente de reducción bacteriana

A la temperatura que trabaja la piscina es de 29 °C

$$K_b = 1.1 * 1.07^{(T-20)}$$

Donde

T = Temperatura de la Laguna (29°C)

$$K_b = 1.1 * 1.07^{(29-20)}$$

$$K_b = 2.02$$

3.1.2.3.2.8. Cálculo del Coeficiente a

$$a = \sqrt{1 + 4K_b * TRH * d}$$

$$a = \sqrt{1 + 4(2.02) * 5 * 0.27}$$

$$a = 3.5$$

3.1.2.3.3. Diseño del Sedimentador Rectangular

El rediseño empieza con la implementación del sedimentador hasta el diseño del filtro

3.1.2.3.3.1. Cálculo del área del sedimentador

SHIELDS y CAMP (1946), nos recomiendan valores para determinar el área, en la **Tabla 26 – 1**.

$$A_s = l * a$$

$$A_s = 31.5 \text{ m} * 8 \text{ m}$$

$$A_s = 252 \text{ m}^2$$

3.1.2.3.3.2. Cálculo del volumen del sedimentador

El tiempo de retención utilizado para calcular el volumen es de 3 días, se utiliza cuyo valor porque fue determinado experimentalmente, consiguiendo en el lapso de tiempo la cantidad máxima de lodo a ser sedimentado.

$$V_s = TR_s * Q_{dis}$$

$$V_s = 3 \text{ día} * 302.2 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

$$V_s = 907 \text{ m}^3$$

3.1.2.3.3.3. Cálculo de la altura del tanque sedimentador

$$\frac{V_s}{A_s} = h$$

$$\frac{907 \text{ m}^3}{252 \text{ m}^2} = h$$

$$3.6 \text{ m} = h$$

3.1.2.3.3.4. Cálculo de la velocidad de arrastre

Los valores usuales para cada parámetro se detallan en la **Tabla 27 – 1**, y utilizando la **Ec. 57**, calculamos la velocidad de arrastre de la siguiente manera:

$$V_A = \left[\frac{8K (s - 1)gd}{f} \right]^{0.5}$$

Donde

K = Constante que depende del material arrastrado (0.04)

S = Gravedad específica de las partículas (1.25)

G = Aceleración debida a la fuerza de la gravedad (9.8 m/s²)

D = Diámetro de las partículas (0.0002 m)

f = Factor de fricción de Darcy Weisbach (0.025)

$$V_A = \left[\frac{8 * 0.04 (1.25 - 1) * 9.8 \frac{m}{s^2} * 0.0002 m}{0.025} \right]^{0.5}$$

$$V_A = 0.08 \frac{m}{s}$$

3.1.2.3.3.5. *Carga de sólidos que ingresa al sedimentador*

$$C = Q * SS * 0.0864$$

Donde

SS = Concentración de Sólidos Suspendedos totales (1.9 Kg/ m³)

$$C = 302.2 \frac{m^3}{día} * 1.9 \frac{Kg}{m^3} * 0.0864$$

$$C = 49.61 \frac{Kg}{día}$$

3.1.2.3.3.6. *Cálculo de la velocidad terminal de sedimentación*

$$v_h = \frac{Q_{Dis}}{A_s}$$

$$v_h = \frac{302.2 \frac{m^3}{día}}{252 m^2} * \frac{día}{24 h}$$

$$v_h = 0.05 \frac{m}{h}$$

3.1.2.3.3.7. *Eficiencia de Remoción de los contaminantes*

Los valores de las constantes empíricas se explican en la **Tabla 28 – 1**, en la que se utilizan diferentes valores para la DBO y SST. El valor del tiempo nominal es igual a 72 h, dicho valor se estableció en el laboratorio, ya que este tiempo fue necesario, para poder sedimentar los lodos.

➤ *Remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)*

$$\%R_{DBO} = \frac{t}{a + bt}$$

Donde

t = Tiempo nominal de retención (72 h)

a = Constantes empíricas (0.018)

b = Constantes empíricas (0.020)

$$\%R_{DBO} = \frac{72 h}{0.018 + (0.020 * 72 h)}$$

$$\%R_{DBO} = 49.4 \%$$

➤ *Remoción de Sólidos sedimentables totales (SST)*

$$\%R_{SST} = \frac{t}{a + bt}$$

Donde

t = Tiempo nominal de retención (72 h)

a = Constantes empíricas (0.0075)

b = Constantes empíricas (0.014)

$$\%R_{SST} = \frac{72 h}{0.0075 + (0.014 * 72 h)}$$

$$\%R_{SST} = 70.9 \%$$

3.1.2.3.3.8. *Cálculo de la altura máxima, considerando una caída del 10% en el fondo.*

$$H' = H + 0.1 * H$$

$$H' = 3.6 m + 0.1 * 3.6 m$$

$$H' = 3.96 m$$

3.1.2.3.4. *Diseño del Tanque de Aireación*

3.1.2.3.4.1. *Cálculo de la concentración de sólidos suspendidos volátiles (SSV)*

Para poder calcular la concentración de sólidos, se deben considerar el tiempo de retención el cual es el valor utilizado en el método experimental (9 días) y la concentración antes y después de la DBO.

$$X_{v,a} = \frac{Y (S_0 - S_e)}{1 + K_d * \theta_t}$$

Donde

$X_{v,a}$ = concentración de SSV en la masa líquida de la laguna y en el efluente (mg/l)

S_0 = concentración de DBO₅, del afluente (2500 mg/l)

S_e = concentración de DBO₅, del efluente (202 mg/l)

θ_t = tiempo de retención (9 día)

Y = coeficiente de producción, 0.06 mg de SSV/mg de DBO₅

K_d = tasa constante relativa a la respiración endógena, varía entre (0.20 día⁻¹)

$$X_{v,a} = \frac{0.06 \left(2500 \frac{mg}{l} - 720 \frac{mg}{l} \right)}{1 + 0.20 \text{ día}^{-1} * 9 \text{ día}}$$
$$X_{v,a} = 38.14 \frac{mg}{l}$$

3.1.2.3.4.2. *Relación alimentación / microorganismos*

$$F/M = \frac{S_0}{\theta_t * X_{v,a}}$$
$$F/M = \frac{2500 \frac{mg}{l}}{9 \text{ día} * 38.14 \frac{mg}{l}}$$
$$F/M = 7.28 \text{ día}^{-1}$$

3.1.2.3.4.3. *Cálculo de la concentración real del DBO₅ en el Efluente*

$$S'_e = S_e + (0.54 * X_{v,a})$$
$$S'_e = 720 \frac{mg}{l} + (0.54 * 38.14 \frac{mg}{l})$$
$$S'_e = 740.6 \frac{mg}{l}$$

3.1.2.3.4.4. *Cálculo de la eficiencia del Aireador*

$$\%E_a = \frac{S_0 - S'_e}{S_0} * 100\%$$

Donde

$\%E_a$ = Porcentaje de eliminación del DBO₅, en el proceso de aireación (%)

S'_e = concentración real del DBO₅ en el afluente (mg/l)

S_0 = concentración de DBO₅, del efluente (mg/l)

$$\%E_a = \frac{2500 \frac{mg}{l} - 740.6 \frac{mg}{l}}{2500 \frac{mg}{l}} * 100\%$$

$$\%E_a = 70 \%$$

3.1.2.3.4.5. *Cálculo del volumen del tanque*

$$V_A = Q_{dis} * \theta_t$$

$$V_A = 302.2 \frac{m^3}{día} * 9 \text{ día}$$

$$V_A = 2719.8 \text{ m}^3$$

3.1.2.3.4.6. *Ancho del tanque*

$$a_a = \sqrt{\frac{V_A}{2}}$$

$$a_a = \sqrt{\frac{2719.8 \text{ m}^3}{2}}$$

$$a_a = 36.9 \text{ m}$$

3.1.2.3.4.7. *Longitud del tanque*

$$L_a = 2a_a$$

$$L_a = 2 * (36.9 \text{ m})$$

$$L_a = 73.8 \text{ m}$$

3.1.2.3.4.8. *Cálculo de la Concentración de saturación de oxígeno disuelto*

Para el cálculo de la concentración de saturación de oxígeno Ramalho propone el valor de $C_{sw} = 8.4 \text{ mg/l}$

$$C \cdot_{sw} = C_{sw} \left(\frac{P_A - P}{760 - P} \right)$$

Donde

C_{sw} = Concentración de saturación de oxígeno disuelto en el agua, en el tanque de aireación (8.4 mg/l)

P_A = Presión barométrica (546 mmHg)

P = Presión de vapor de agua saturada a temperaturas de aguas residuales (18mmHg a 20 °C)

$$C_{sw} = 8.4 \frac{mg}{l} \left(\frac{546 \text{ mmHg} - 18 \text{ mmHg}}{760 - 18 \text{ mmHg}} \right)$$

$$C_{sw} = 5.97 \frac{mg}{l}$$

3.1.2.3.4.9. Cálculo del Requerimiento de Oxígeno

$$WO_2 = F * \%E_a * S_o * 10^{-3}$$

Donde

F = Relación de DBO₅ y SST (1.5)

$$WO_2 = 1.5 * 0.90 * 2500 \frac{mg}{l} * 10^{-3}$$

$$WO_2 = 33.8 \frac{KgO_2}{h}$$

3.1.2.3.4.10. Tasa de transferencia total de oxígeno en el campo

Los valores para los parámetros en el cálculo de la tasa de transferencia total de oxígeno son propuestos por (Mara, 1973 - 1976).

$$N = N_0 \left[\alpha \left(\frac{\beta C_{sw} - C_L}{C_{st}} \right) * 1.024^{(T-20)} \right]$$

Donde

N_0 = Tasa de transferencia total de oxígeno mediante pruebas de condiciones estándares, a 20 °C y oxígeno disuelto igual a cero (1.5 – 2.0 KgO₂/KW.h)

α = Factor de corrección para la transferencia de oxígeno en la purga (0.4 – 0.8)

β = Factor de corrección para la salinidad y tensión superficial (0.90 – 0.98)

C_{sw} = Concentración media de saturación de oxígeno disuelto en el agua pura en un tanque de aireación a una temperatura y altura h (5.997mg/l)

C_L = Concentración de oxígeno en el tanque (0.5 – 2.0 mg/l)

C_{st} = Valor de saturación de oxígeno en el agua (9.17 mg/l)

T = Temperatura en funcionamiento (°C)

$$N = 1.75 \frac{KgO_2}{KWh} \left[0.8 \left(\frac{0.90 * (5.997 \frac{mg}{l} - 2 \frac{mg}{l})}{9.17 \frac{mg}{l}} \right) * 1.024^{(20-20)} \right]$$

$$N = 0.55 \frac{KgO_2}{KWh}$$

3.1.2.3.4.11. Potencia Total Necesaria

$$P_T = \frac{WO_2}{24 * N}$$

Donde

P_T = Potencia total necesaria (KW)

WO_2 = Requerimiento de Oxígeno (KgO₂/h)

N = Tasa de transferencia total de oxígeno en el campo (KgO₂/KW.h)

$$P_T = \frac{33.8 \frac{KgO_2}{h}}{24 * 0.55 \frac{KgO_2}{KWh}}$$

$$P_T = 2.6 KW$$

3.1.2.3.4.12. Potencia unitaria de aireación

$$P_u = \frac{P_T}{V_A}$$

$$P_u = \frac{2.6 KW}{2719.8m^3} * \frac{1000 W}{1 KW}$$

$$P_u = 0.94 W$$

3.1.2.3.5. Diseño del Tanque Floclador

3.1.2.3.5.1. Área del Tanque de Floclación

Para el cálculo del Área del tanque de Floclación será mediante la **Ec. 75**, para el caso de la Carga superficial será considerado el valor de 32 m³/m².día, tomado de la **Tabla 29 – 1**.

$$A_F = \frac{Q}{C_s}$$

$$A_F = \frac{302.2 \frac{m^3}{día}}{32 \frac{m^3}{m^2 * día}}$$

$$A_F = 9.44 m^2$$

3.1.2.3.5.2. Diámetro del Floculador

Se lo calcula con la expresión siguiente **Ec 76**

$$\phi = \sqrt{4 * \frac{A_F}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt{4 * \frac{9.44 m^2}{\pi}}$$

$$\phi = 3.46 m$$

3.1.2.3.5.3. Radio del Floculador

Con el valor del diámetro, mediante la (**Ec 77**)

$$r = \frac{\phi}{2}$$

$$r = \frac{3.46}{2}$$

$$r = 1.73 m$$

3.1.2.3.5.4. Cálculo del volumen de la parte cilíndrica del Floculador

$$V_F = A_F \times h_f$$

$$V_F = 9.44 m^2 \times 2.8 m$$

$$V_F = 26.43 m^3$$

3.1.2.3.5.5. Cálculo de la parte cónica del Floculador

Para los siguientes datos $\alpha = 20^\circ$ con un radio de 1.73

$$V_c = \frac{\pi \times r^2 \times h_c}{3}$$

$$V_c = \frac{\pi \times (1.73 \text{ m})^2 \times 0.40 \text{ m}}{3}$$

$$V_c = 1.25 \text{ m}^3$$

3.1.2.3.5.6. *Volumen total del Floculador.*

$$V_T = V + V_c$$

$$V_T = 26.43 \text{ m}^3 + 1.25 \text{ m}^3$$

$$V_T = 27.68 \text{ m}^3$$

3.1.2.3.5.7. *Cálculo del Tiempo de Retención Hidráulica.*

El tiempo de retención se lo calcula a través de la siguiente (**Ec 79**)

$$T_r = \frac{V_F}{Q}$$

$$T_r = \frac{27.68 \text{ m}^3}{302.2 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}} * \frac{24 \text{ h}}{\text{día}}$$

$$T_r = 2.2 \text{ h}$$

3.1.2.3.5.8. *Dimensionamiento de la Paleta de agitación*

➤ *Gradiente de velocidad de un fluido*

$n = 60 \text{ rpm}$ Lo encontramos en la **Tabla 30 – 1** y determinamos el valor del gradiente con la

Ec. 80:

$$G = 0,25 * n^{1,25}$$

$$G = 0,25 * 60^{1,25}$$

$$G = 41.75 \text{ s}^{-1}$$

➤ *Potencia disipada en la Mezcla.*

$$P = G^2 * \mu * V$$

$$P = (41.75 \frac{1}{s})^2 * (1.009 \times 10^{-3} \frac{Ns}{m^2}) * 27.68 m^3$$

$$P = 48.68 W$$

➤ *Área Requerida de las Paletas.*

El valor de $C_D = 1.2$ (ver **Tabla 31 – 1**) y de se estima $v = 0.6$, porque se ha encontrado que con una velocidad tangencial de paletas de 0.6 a 0.9 m/s, se alcanza suficiente turbulencia sin romper el Flóculo según Rouse.

$$A = \frac{2 * P}{C_D * \rho * v^3}$$

$$A = \frac{2 * 48.68 W}{1.2 * 1000 \frac{Kg}{m^3} * (0.6 \frac{m}{s})^3}$$

$$A = 0.38 m^2$$

➤ *Longitud de la Pala.*

La **Ec. 83** explica la relación entre el área de la paleta y su ancho para determinar la longitud de la misma, para ello se tiene:

$$A = l \times b$$

$$l = \frac{A}{b}$$

$$l = \frac{0.38 m^2}{0.8 m}$$

$$l = 0.48 m$$

3.1.2.3.6. Pruebas del Floculante

3.1.2.3.6.1. Elección del Floculante Eficaz

Para poder seleccionar el coagulante con mayor efectividad, se realizaron pruebas en las cuales se consideraron parámetros como turbiedad, conductividad y pH, este último es el ideal para un proceso de coagulación y es una variable constante por lo que no se necesita ser modificada, entre los coagulantes que se probaron fueron los que se detallan a continuación:

a) Prueba con Policloruro de Aluminio

Utilizando el método del Test de Jarras se procedió a preparar el coagulante al 1%, en un vaso que contenía 1000 ml de agua cruda.

$$\frac{1 \text{ gr de Policloruro de Aluminio}}{100 \text{ ml de Agua}}$$

Se realizaron 4 pruebas con diferente concentración

Tabla 46 - 3: Pruebas con Policloruro de Aluminio a diferentes concentraciones

Prueba # 1	Prueba # 2	Prueba # 3	Prueba # 4
<i>1 ml de Policloruro al 1%</i> <i>1000 ml de Agua Residual</i>	<i>3 ml de Policloruro al 1%</i> <i>1000 ml de Agua Residual</i>	<i>5 ml de Policloruro al 1%</i> <i>1000 ml de Agua Residual</i>	<i>7 ml de Policloruro al 1%</i> <i>1000 ml de Agua Residual</i>
Observado: No hubo precipitación, el agua presenta niveles altos de turbiedad	Observado: No hubo precipitación, el agua presenta niveles altos de turbiedad	Observado: No hubo precipitación, el agua presenta niveles altos de turbiedad	Observado: No hubo precipitación, el agua presenta niveles altos de turbiedad

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

Como muestran los resultados detallados, en el cuadro anterior el floculante no permitió la floculación del agua residual a ser tratada

b) Prueba con Sulfato de Aluminio

Utilizando el método del Test de Jarras se procedió a preparar el coagulante al 1%, en un vaso que contenía 100 ml de agua cruda.

$$\frac{1 \text{ gr de Sulfato de Aluminio}}{100 \text{ ml de Agua}}$$

Se realizaron 4 pruebas con diferente concentración

Tabla 47 - 3: Pruebas con Sulfato de Aluminio a diferentes concentraciones

Prueba # 1	Prueba # 2	Prueba # 3	Prueba # 4
$\frac{1 \text{ ml de } Al_2(SO)_3 \text{ 1\%}}{1000 \text{ ml de Agua Residual}}$	$\frac{3 \text{ ml de } Al_2(SO)_3 \text{ 1\%}}{1000 \text{ ml de Agua Residual}}$	$\frac{5 \text{ ml de } Al_2(SO)_3 \text{ 1\%}}{1000 \text{ ml de Agua Residual}}$	$\frac{7 \text{ ml de } Al_2(SO)_3 \text{ 1\%}}{1000 \text{ ml de Agua Residual}}$
Observado: No hubo precipitación, el agua presenta niveles altos de turbiedad	Observado: No hubo precipitación, el agua presenta niveles altos de turbiedad	Observado: No hubo precipitación, el agua presenta niveles altos de turbiedad	Observado: No hubo precipitación, el agua presenta niveles altos de turbiedad

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

Como muestran los resultados detallados, en el cuadro anterior el floculante no permitió la floculación del agua residual a ser tratada, al parecer las concentraciones utilizadas son muy bajas

c) Prueba con Cloruro Férrico

Utilizando el método del Test de Jarras se procedió a preparar el coagulante al 1%, en un vaso que contenía 100 ml de agua cruda.

$$\frac{1 \text{ gr de Cloruro Férrico}}{100 \text{ ml de Agua}}$$

Se realizaron 4 pruebas con diferente concentración

Tabla 48 - 3: Pruebas con Cloruro Férrico a diferentes concentraciones

Prueba # 1	Prueba # 2	Prueba # 3	Prueba # 4
<i>1 ml de FeCl₃ 1%</i> <hr/> <i>1000 ml de Agua Residual</i>	<i>3 ml de FeCl₃ 1%</i> <hr/> <i>1000 ml de Agua Residual</i>	<i>5 ml de FeCl₃ 1%</i> <hr/> <i>1000 ml de Agua Residual</i>	<i>7 ml de FeCl₃ 1%</i> <hr/> <i>1000 ml de Agua Residual</i>
Observado: No hubo precipitación, el agua presenta niveles altos de turbiedad	Observado: No hubo precipitación, el agua presenta niveles altos de turbiedad	Observado: No hubo precipitación, el agua presenta niveles altos de turbiedad	Observado: No hubo precipitación, el agua presenta niveles altos de turbiedad

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

Como muestran los resultados detallados, en el cuadro anterior el floculante no permitió la floculación del agua residual a ser tratada, se empezó a formar dos capas de flóculos.

En Conclusión, las pruebas antes realizadas no fueron medidas parámetros como la turbiedad, ya que salvo con el Cloruro Férrico que se formó dos capas de sedimentos, con los otros dos floculantes no se observó ningún resultado. Por esta razón el floculante a ser probado será el Cloruro férrico en el que se realizaran pruebas a mayores concentraciones.

3.1.2.3.6.2. *Ensayo del Floculante de Cloruro Férrico*

Tabla 49 - 3: Pruebas con el floculantes eficaz (2.0%)

Prueba con Cloruro Férrico 2.0 %		
Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3
$\frac{10 \text{ ml de FeCl}_3 \text{ 2.0\%}}{1000 \text{ ml de Agua Residual}}$	$\frac{20 \text{ ml de FeCl}_3 \text{ 2.0\%}}{1000 \text{ ml de Agua Residual}}$	$\frac{30 \text{ ml de FeCl}_3 \text{ 2.0\%}}{1000 \text{ ml de Agua Residual}}$
ph = 7.8 Turbidez = 90 NTU Tiempo = 30 minutos	ph = 7.83 Turbidez = 84 NTU Tiempo = 30 minutos	ph = 7.98 Turbidez = 84 NTU Tiempo = 30 minutos
Observación: Se formó dos precipitados, uno en la parte superior y otra en la parte inferior, dejando al agua suspendido en la parte media	Observación: Se formó dos precipitados, y en la mitad se encuentra el agua. La precipitación se separó con mayor facilidad	Observación: Los dos capas de precipitado se siguen formando, al aumentar la concentración solo se logró acelerar la precipitación.

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

Tabla 50 - 3: Pruebas con el floculante eficaz (25%)

Prueba con Cloruro Férrico 2.5 %		
Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3
$\frac{15 \text{ ml de FeCl}_3 \text{ 2.5\%}}{1000 \text{ ml de Agua Residual}}$	$\frac{25 \text{ ml de FeCl}_3 \text{ 2.5\%}}{1000 \text{ ml de Agua Residual}}$	$\frac{30 \text{ ml de FeCl}_3 \text{ 2.5\%}}{1000 \text{ ml de Agua Residual}}$

ph = 7.86 Turbidez = 61 NTU Tiempo = 30 minutos	ph = 7.90 Turbidez = 51 NTU Tiempo = 30 minutos	ph = 8.1 Turbidez = 50 NTU Tiempo = 30 minutos
Observación: El doble precipitado se sigue formando, la mayor parte del mismo se va hacia el fondo del vaso	Observación: Se formó dos precipitados, y en la mitad se encuentra el agua. La precipitación se separó con mayor facilidad, siendo esta la concentración adecuada para ser utilizada.	Observación: Los dos capas de precipitado se siguen formando, al aumentar la concentración solo se logró acelerar la precipitación. El ph se incremento

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

Las pruebas realizadas con el floculante, nos muestran que el doble precipitado va hacer visible, lo que se puede observar que no depende de la concentración del floculante es decir, no es necesario aumentar la cantidad de floculante, porque lo único que se logra es aumentar la precipitación. Por esta razón es necesario utilizar un coagulante que ayude con el proceso de precipitación.

3.1.2.3.6.3. Pruebas con Coagulante Anionico (Poliacrilamida)

A la misma muestra de agua residual tratada con el floculante (Cloruro de Hierro al 2.5% y 25 ml de Cloruro de Hierro en 1000 ml de agua residual). Se procedió a realizar pruebas con el Coagulante Anionico, encontrando que la concentración adecuada es al 0.25%.

Tabla 51 - 3: Prueba con el Coagulante Aniónico (0.25%)

Prueba con Cloruro Férrico 0.25 %		
Prueba #1	Prueba #2	Prueba #3
<i>0.5 ml de Coagulante Anionico 1000 ml de Agua Residual</i>	<i>1 ml de Coagulante Anionico 1000 ml de Agua Residual</i>	<i>2 ml de Coagulante Anionico 1000 ml de Agua Residual</i>
ph = 7.80 Turbidez = 35 NTU Tiempo = 30 minutos	ph = 7.81 Turbidez = 39 NTU Tiempo = 30 minutos	ph = 7.89 Turbidez = 25 NTU Tiempo = 30 minutos
Observación: La reacción fue instantánea, la separación de la	Observación: La reacción fue instantánea, la separación de la	Observación: La reacción fue instantánea, la separación de la

segunda capa de precipitado fue rápida y compacta.	segunda capa de precipitado fue rápida y compacta.	segunda capa de precipitado fue rápida y compacta. El agua que se quedó en la parte intermedia, presenta mayor claridad, en comparación a las otras dos pruebas.
--	--	--

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.1.2.3.6.4. Cálculo del Químico utilizado por día

➤ Cantidad de Cloruro Férrico

a) Concentración del Floculante

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$\frac{C_1 * V_1}{V_2} = C_2$$

$$C_2 = \frac{25000_{ppm} * 25_{ml}}{1000_{ml}}$$

$$C_2 = 625 \text{ ppm}$$

b) Kilogramos de uso diario del Cloruro Férrico

$$C_{Fe(Cl)_3} = 625 \frac{gr}{m^3} * 302.4 \frac{m^3}{día} * \frac{Kg}{1000 \text{ gr}}$$

$$C_{Fe(Cl)_3} = 189 \frac{Kg}{día}$$

➤ Cantidad del Poliacrilamida

a) Concentración del Coagulante

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$\frac{C_1 * V_1}{V_2} = C_2$$

$$\frac{2500_{ppm} * 2_{ml}}{1000_{ml}} = C_2$$

$$C_2 = 5 \text{ ppm}$$

b) Kilogramos de uso diario del Poliacrilamida

$$C_{\text{Poliamida}} = 5 \frac{\text{gr}}{\text{m}^3} * 302.4 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \frac{\text{Kg}}{1000 \text{ gr}}$$

$$C_{\text{Poliamida}} = 1.51 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

3.1.2.4. Tratamiento Terciario

Este tipo de tratamiento es necesario, como complemento de la floculación, ya que con la precipitación de los flóculos, el filtro nos ayudará a atraparlos y obtener el agua con mayor clarificación.

3.1.2.4.1. Dimensionamiento del Filtro

3.1.2.4.1.1. Cálculo del número de filtro

$$n_f = 0.044 \sqrt{Q_{dis}}$$

$$n_f = 0.044 \sqrt{302.2 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}$$

$$n_f = 0.77 = 1$$

3.1.2.4.1.2. Cálculo del Área del Filtro

$T_f = 120 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{día}$ (**Tabla 33 – 1**)

$$A_f = \frac{Q_{dis}}{T_f}$$

$$A_f = \frac{302.2 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{120 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}}$$

$$A_f = 2.52 \text{ m}^2$$

3.1.2.4.1.3. Cálculo del coeficiente mínimo de costo

$$K_c = \frac{2n_f}{n_f + 1}$$

$$K_c = \frac{2(1)}{1 + 1}$$

$$K_c = 1$$

3.1.2.4.1.4. Cálculo de la longitud del filtro

$$L_f = \sqrt{K_c * A_f}$$

$$L_f = \sqrt{(1) * (2.52 \text{ m}^2)}$$

$$L_f = 1.59 \text{ m}$$

3.1.2.4.1.5. Ancho del filtro

$$a_f = \sqrt{\frac{A_f}{K_c}}$$

$$a_f = \sqrt{\frac{2.52 \text{ m}^2}{1}}$$

$$a_f = 1.59 \text{ m}$$

3.1.2.4.1.6. Diseño de Composición del lecho filtrante

➤ *Altura del filtro*

Los parámetros de diseño para determinar la altura del filtro se detallan en la **Tabla 33 – 1**.

$$z_f = f_s (C_a + L_a + C_s + F_c)$$

Donde

f_s = Factor de seguridad (10%)

C_a = Altura del agua sobre el lecho (1.5 m)

L_a = Altura del lecho filtrante (0.8 m)

C_s = Altura de capa de soporte de grava (0.40 m)

F_c = altura de drenaje (0.40 m)

$$z_f = 1.10(1.5m + 0.8m + 0.40m + 0.20m)$$

$$z_f = 3.20 \text{ m}$$

3.1.2.4.1.7. Cálculo del sistema de drenaje

El drenaje en un filtro nos garantiza una distribución adecuada y uniforme del agua de lavado y en determinadas ocasiones aprovechar el agua filtrada. Para realizar los cálculos pertinentes los parámetros de diseño se mencionan en la **Tabla 34 - 1**

➤ *Área de los orificios naturales*

$$A_o = \frac{\pi \phi^2}{4}$$

$$A_o = \frac{\pi(0.0158m)^2}{4}$$

$$A_o = 0.00020 \text{ m}^2$$

➤ *Caudal de ingreso a cada orificio*

$$Q_o = A_o * v_o$$

$$Q_o = 0.00020 \text{ m}^2 * 4.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_o = 0.0009 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

➤ *Número de laterales*

$$N_l = 2 \frac{a_f}{e_l}$$

Donde

e_l = Separación entre laterales (1.5m)

$$N_l = 2 \frac{1.59 \text{ m}}{1.5 \text{ m}}$$

$$N_l = 2.12$$

3.1.2.4.1.8. Dimensionamiento del diámetro de la tubería del filtro

➤ Cálculo del diámetro a la entrada del filtro

$$\phi_e = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}}$$

Donde

v_e = Velocidad de agua a través de la tubería de salida (7 m/s)

$$\phi_e = \sqrt{\frac{4(0.0035 \frac{m^3}{s})}{\pi(7 \frac{m}{s})}}$$

$$\phi_e = 0.025 \text{ m}$$

➤ Cálculo del diámetro a la salida del filtro

$$\phi_e = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}}$$

Donde

v_e = Velocidad de agua a través de la tubería de salida (1.5 m/s)

$$\phi_e = \sqrt{\frac{4(0.0035 \frac{m^3}{s})}{\pi(1.5 \frac{m}{s})}}$$

$$\phi_e = 0.055 \text{ m}$$

3.1.2.4.1.9. Limpieza del Filtro

➤ Cálculo de la velocidad óptima del lavado del filtro

$$v_{la} = D_{60} = CU * TE$$

Donde

D_{60} = Producto del tamaño efectivo por el coeficiente de uniformidad, o percentil 60 del análisis granulométrico (1/s)

CU = Coeficiente de la uniformidad de la arena (1.5)

TE = Tamaño efectivo de la arena (0.0005 m)

$$v_{la} = \frac{1}{s}(1.5 * 0.0005 m)$$

$$v_{la} = 0.045 \frac{m}{s}$$

➤ *Cálculo del volumen de agua requerida para el lavado del filtro*

$$V_{lf} = v_{la} * A_f * t_l$$

Donde

t_l = Tiempo óptimo de lavado (10 min)

$$V_{lf} = 0.045 \frac{m}{s} * 2.52 m^2 * 10 min \frac{60 s}{1 min}$$

$$V_{lf} = 68.04 m^3$$

3.1.2.5. *Laguna de Lechos de secado*

Los lodos generados por la piscina facultativa, el sedimentador y la floculación serán trasladados a los lechos de secado con el que cuenta la empresa, el mismo que cuenta con las siguientes características:

Tabla 52 - 3: Dimensiones de la Laguna de secado

Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Área (m ²)
36	45	2.0	1620

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.1.2.5.1. *Cálculo del Volumen máximo de la laguna de secado*

$$V_{LS} = A * h$$

Donde

V_{LS} = Volumen del lecho de secado (m³)

A = Área del lecho (m²)

h = Altura del lecho (m)

$$V_{LS} = 1620m^2 * 2.0 m$$

$$V_{LS} = 3440 \text{ m}^3$$

3.2. Análisis y Resultados Obtenidos

3.2.1. Análisis de las condiciones de Diseño

3.2.1.1. Variación del caudal

Mediante el método volumétrico se calculó el caudal de las tres piscinas, estableciendo tres medidas al día, de miércoles a viernes, dichos valores se detallan en las **Tablas 3, 4, 5 - 2**.

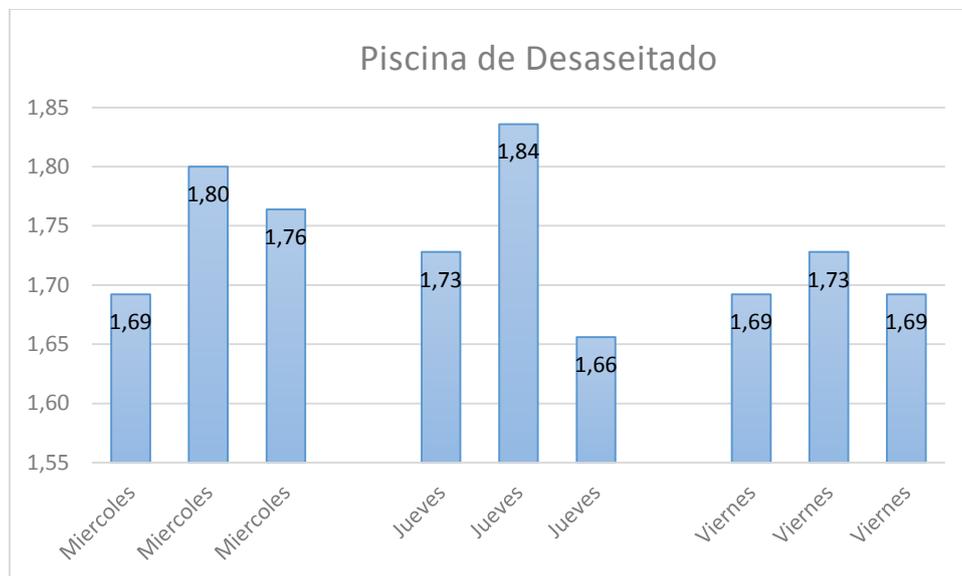


Gráfico 1 - 3: Variación del Caudal en la Piscina de Desaseitado

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

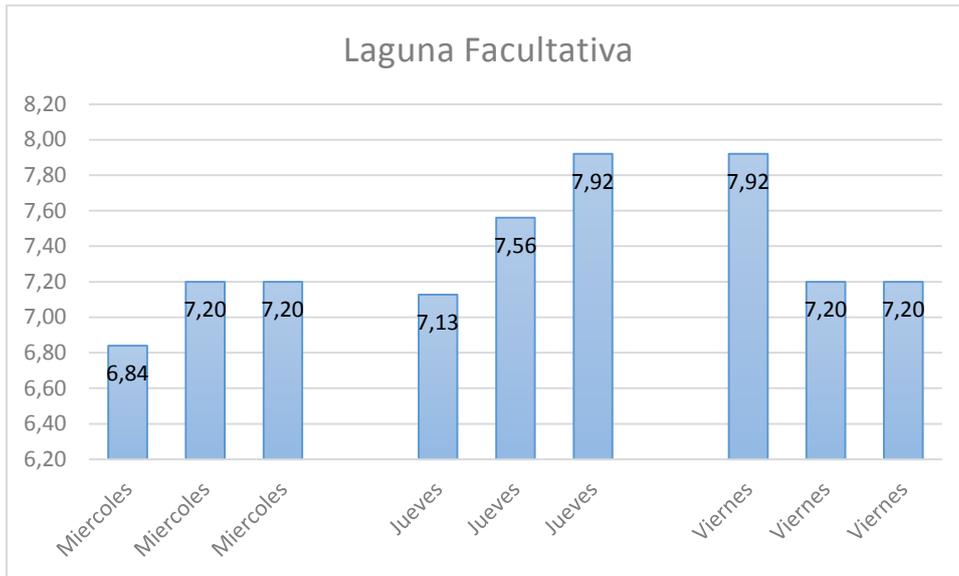


Gráfico 2 - 3: Variación del Caudal en la Laguna Facultativa

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

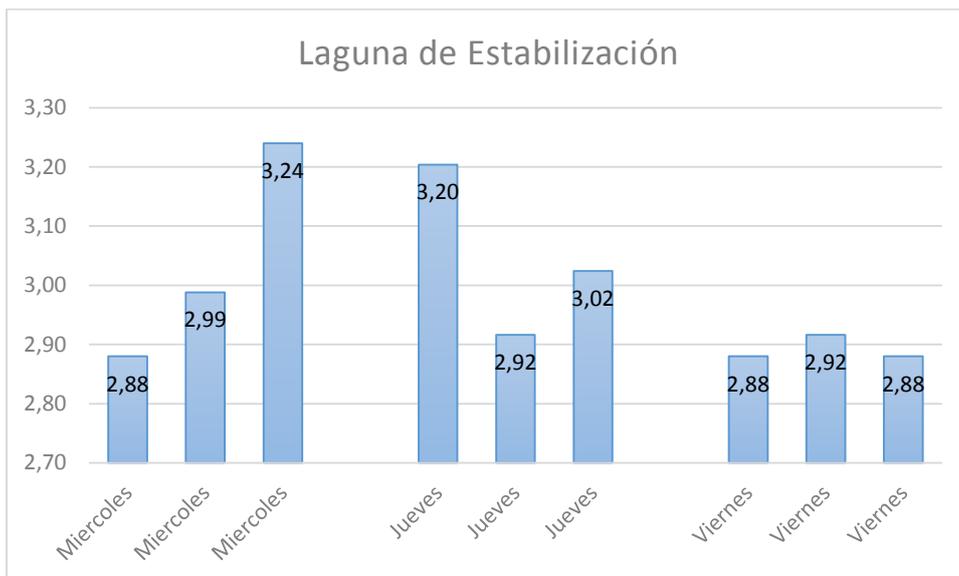


Gráfico 3 - 3: Variación del Caudal en la Laguna de Estabilización

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

El promedio establecido en las diferentes piscinas, puede ser variante por ejemplo en la piscina # 1, aumenta el caudal cuando se está realizando un sistema de barrido para recuperar aceite de la piscina, pero esta variación solo ocurre una vez cada 15 días, por lo que no se considera como constante, en el caso de la piscina # 2, en ocasiones hacen recircular el agua de salida al ingreso de la piscina #2 aumentado su caudal, esto tampoco se considera como significativo porque se lo realiza en temporadas de sequías.

El sistema no cuenta con algún método o dispositivo que de por aviso el aumento o disminución del caudal, por esta razón la medida del mismo se debe realizar constantemente y tomar todas las consideraciones que afecten la disminución o aumento del mismo

3.2.2. Análisis de las características del Agua Residual

Se procedió a realizar un análisis general al agua residual generada por la Extractora de Palma Aceitera “La Sexta”, en la que se realizaron dos caracterizaciones, la primera al ingreso del sistema que actualmente cuenta la empresa y la segunda al final previo a la descarga al río. Las características iniciales del agua nos indican una gran cantidad de contaminación siendo la presencia de sólidos totales disueltos en mayor proporción, color café, de olor desagradable y una turbiedad muy alta. En el caso de la segunda caracterización del agua que se la realizó previo a la descarga del río presentaba un aspecto poco agradable, ya que se apreciaban material suspendido, un color amarillento y olor desagradable.

Las dos caracterizaciones realizadas nos ayudan para evaluar el sistema antes de realizar la propuesta de rediseño, en el caso de la segunda caracterización nos representa una idea sobre el actual funcionamiento del sistema, al ser evaluado en términos de eficiencia se tiene un rendimiento del 75.28%, este valor aparentemente puede ser aceptable, pero debemos considerar que los valores de los contaminantes son elevados, por esta razón se aumentara su eficiencia en un 99%, disminuyendo al máximo los contaminantes, tales como químicos y microbiológicos.

Se debe mencionar que el actual sistema cuenta con 6 piscinas, de las cuales se fue evaluando cada una de ellas, dando como resultado que tan solo las tres primeras (Desaceitado, Facultativa y Estabilización) trabajan correctamente, y las otras tres piscinas solo mantienen los mismos parámetros de contaminación, por esta razón se decidió plantear el rediseño a partir de la piscina número 3 (estabilización). Los contaminantes presentes en dicha piscina son DBO, DQO, SST Coliformes Totales y Coliformes Fecales.

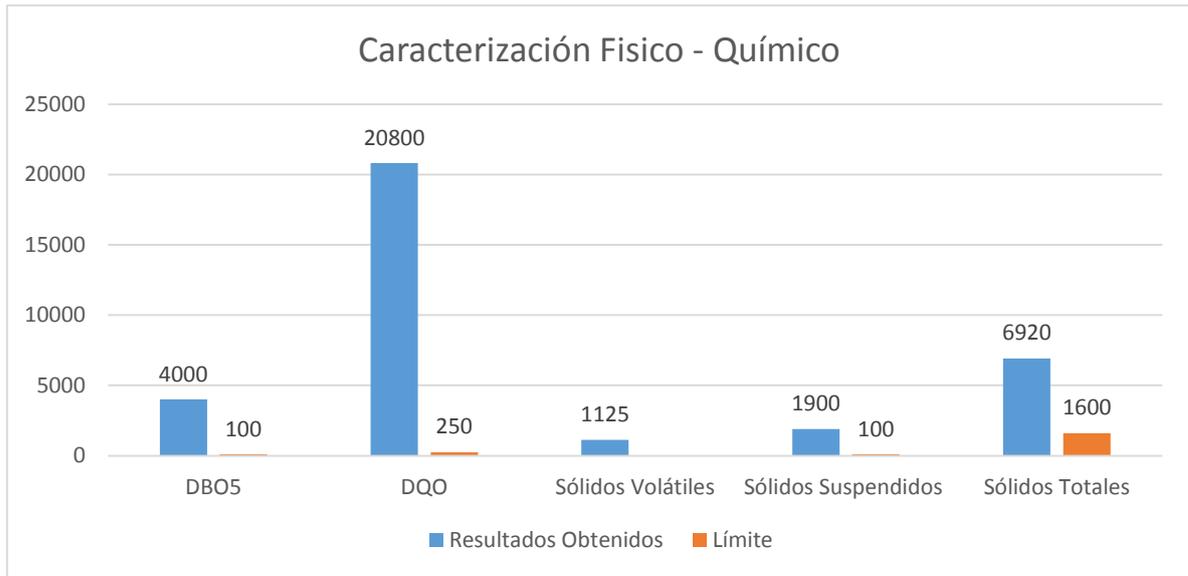


Gráfico 4 - 3: Parámetros Físico – Químicos en la piscina de Estabilización

Fuente: *Jhonathan Rivas 2016*

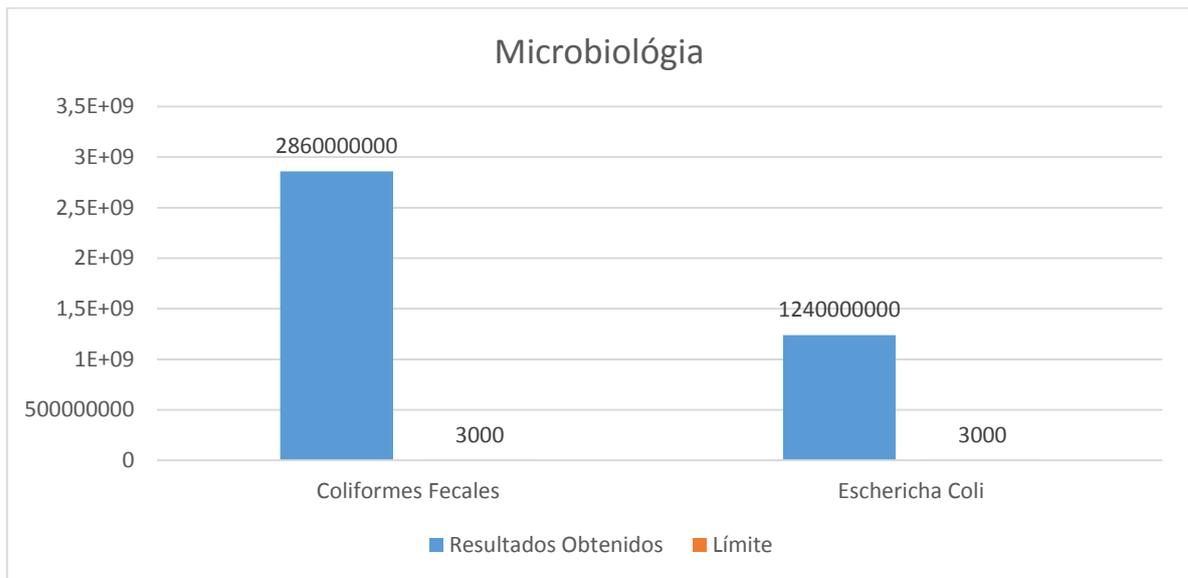


Gráfico 5 - 3: Rangos microbiológicos en la piscina de estabilización

Fuente: *Jhonathan Rivas 2016*

La oferta planteada con el rediseño propone implementar: Sedimentador, Aireación Inducida, Floculación – Coagulación y Filtración. Estos procesos ayudaran a mejorar la reducción de los contaminantes del agua residual generada por la extractora, cada uno de los tratamientos a ser implementados, fueron probados en el laboratorio, teniendo un tiempo de sedimentación de 3 días y un volumen de 907 m³, el aireador necesita una potencia de 2.6 KW y un tiempo de retención de 9 días, el floculador más eficaz para este tratamiento fue Cloruro Férrico a una concentración

del 2.5%, junto con un coagulante aniónico con concentración de 2%, después de la formación de flóculos es necesaria la implementación del filtro, para que todo material en suspensión quede retenido en el lecho filtrante el cual cuenta con una capa de soporte de grava de 0.40 m y una altura de lecho filtrante de 3.20 m

Con los tratamientos propuestos se logra mejorar al máximo la eficiencia del sistema (99%), se logró la remoción del 99,9% de Coliformes fecales y totales, en el caso del DQO y DBO, no se logró ajustar a la normativa del TULAS, por esta razón dicha agua tratada no podrá ser descargada a la fuente de agua dulce (río Sábalo), pero podrá ser utilizada para regadíos de las plantaciones de palma.

3.2.3. Resultados de la caracterización después del Tratamiento Propuesto

3.2.3.1. Resultados a la Salida del Sedimentador

El sedimentador de forma rectangular es el más ideal para este tipo de tratamientos, el sedimentador trabaja con el 49.9% en remoción de DBO, 70.9% en remoción de SST y el 62.5%, el porcentaje de remoción de la Demanda Química de Oxígeno se toma de referencia con la caracterización antes y después de pasar por el sedimentador.

Tabla 53 - 3: Caracterización a la Salida del sedimentador

Parámetros	Unidad	Resultado	Límite Máximo
Turbiedad	NTU	610	---
DBO	mg/L	2500	100
DQO	mg/L	7800	250
SST	mg/L	2013.72	1600

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

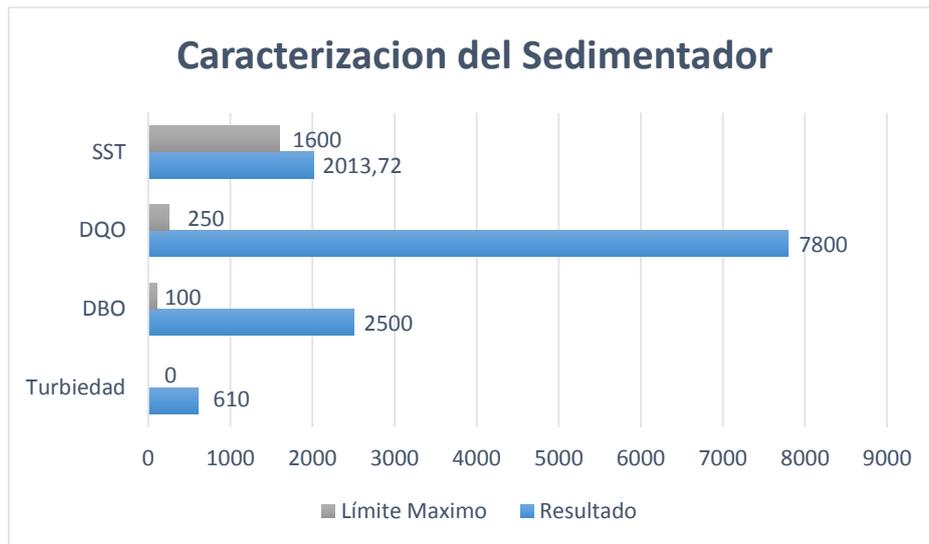


Gráfico 6 – 3: Caracterización a la Salida del sedimentador

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.2.3.2. *Resultados a la Salida del Aireador por difusión*

Tabla 54 – 3: Caracterización a la Salida del Aireador

Parámetros	Unidad	Resultado	Límite Máximo
Turbiedad	NTU	108	---
DBO	mg/L	720	100
DQO	mg/L	3540	250

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

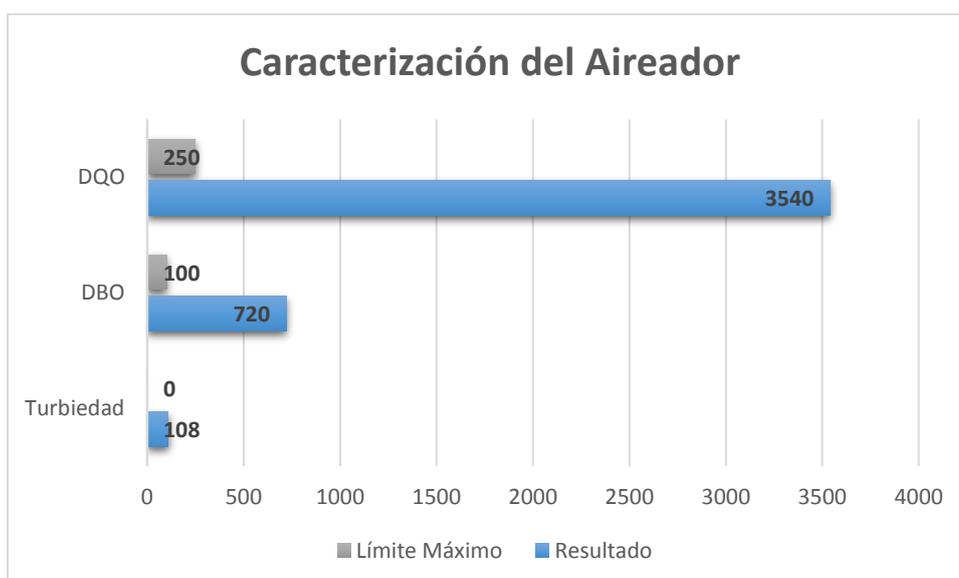


Gráfico 7 – 3: Caracterización a la Salida del sedimentador

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.2.3.3. *Resultados Final del Tratamiento*

3.2.3.3.1. *Caracterización Físico – Química*

Tabla 55 - 3: Caracterización Físico – Química Final

Parámetros	Unidad	Resultado	Límite Máximo
Ph		7.15	5 - 9
DBO	mg/l	520	100
DQO	mg/l	780	250
Sólidos Totales	mg/l	720	1600
Sólidos Suspendidos	mg/l	44	100
Sólidos Volátiles	mg/l	120	---
Nitrógeno	mg/l	0.20	---
Conductividad	us / cm	7.8	---
Turbiedad	NTU	8.12	---

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

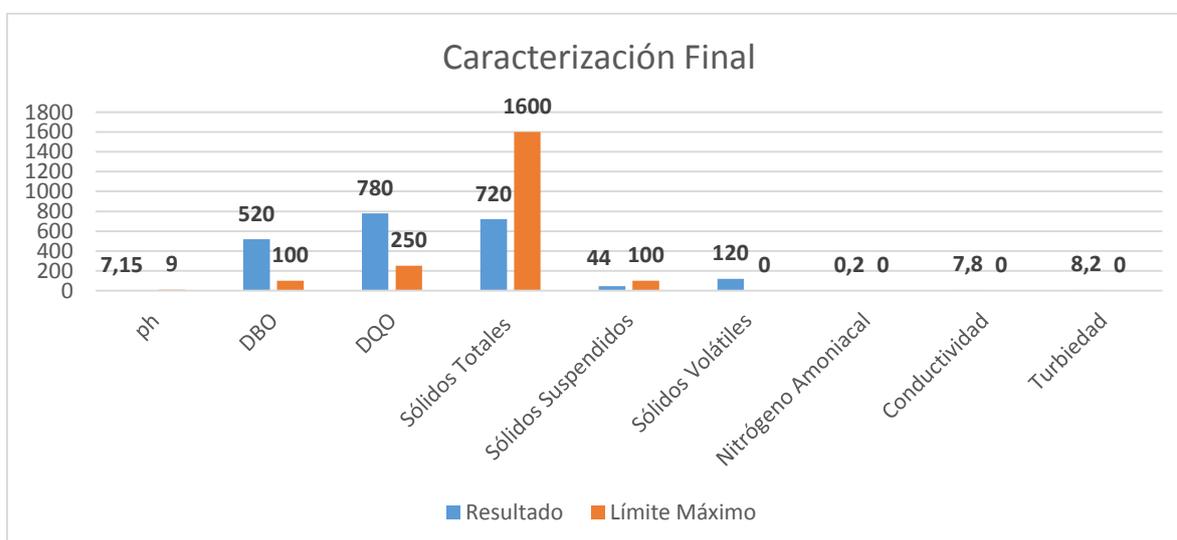


Gráfico 8 – 3: Caracterización Final del agua tratada en comparación con la norma

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

Tabla 56 - 3: Caracterización Físico – Química Final del agua

Parámetros	Unidad	Agua Inicial	Agua Tratada
ph		4.5	7.15
DBO	mg/l	74167	520
DQO	mg/l	95800	780
Sólidos Totales	mg/l	920000	720
Sólidos Suspendidos	mg/l	44000	44
Sólidos Volátiles	mg/l	17600	120
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	412	0.2
Aceite y Grasas	mg/l	571	0.03
Turbiedad	NTU	70000	8.2

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

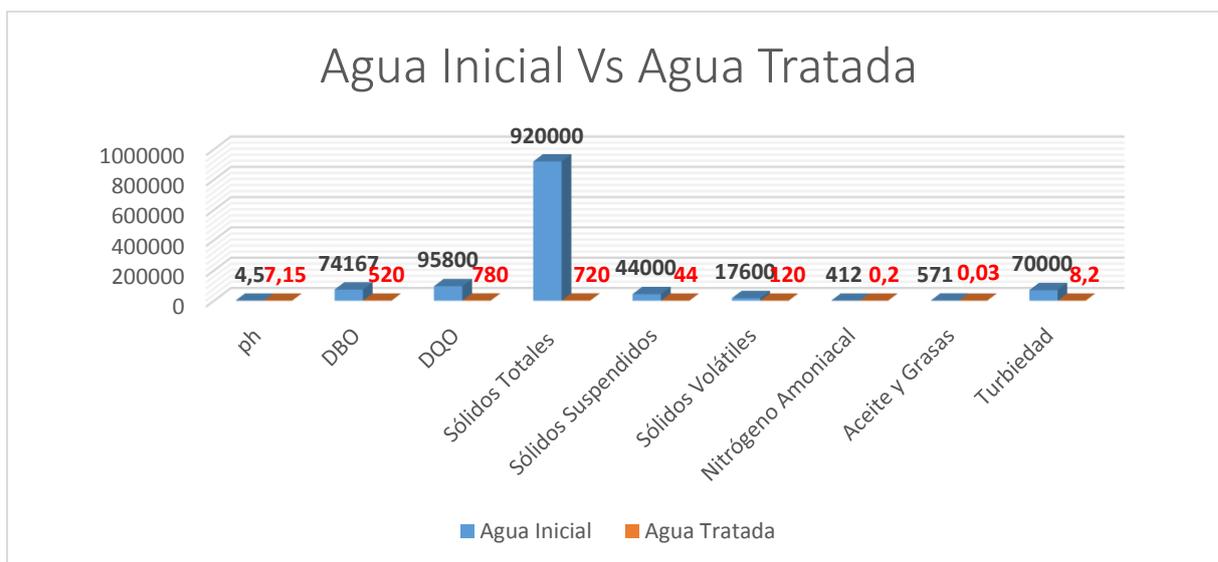


Gráfico 9 - 3: Agua Inicial en comparación al Agua Tratada

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.2.3.3.2. Caracterización Biológica

Tabla 57 - 3: Caracterización Biológica Final

Parámetros	Unidad	Resultado	Límite Máximo
Coliformes Totales	UFC / ml	161200	Remoción > 99.9
Coliformes Fecales	UFC / ml	7500	Remoción > 99.9

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

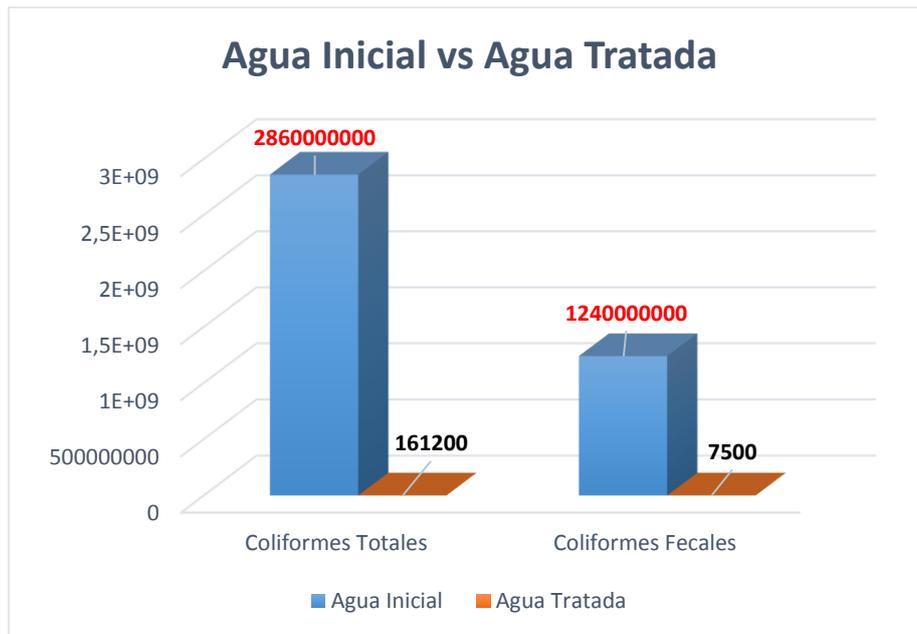


Gráfico 10 – 3: Comparación del Agua Inicial vs Agua Tratada

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.2.4. Tabla de resultados de los cálculos de ingeniería en el rediseño

El diseño de la empresa cuenta con un tanque florentino, un canal de unión entre el florentino y el desarenador, el desarenador, la piscina de desaceitado, aireación por cascada, laguna facultativa y la piscina de estabilización. La propuesta de rediseño empieza con la implementación de un sedimentador secundario rectangular, el aireador por difusión, floculación y coagulación y finalmente la filtración.

3.2.4.1. Implementación del Sedimentador

Tabla 58 - 3: Condiciones de diseño para la implementación del Sedimentador

PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA	UNIDAD	VALOR
Área del Sedimentador	A_s	m^2	252
Volumen del Sedimentador	V_s	m^3	907
Altura del Sedimentador	h	m	3.6
Velocidad de Arrastre	V_A	$\frac{m}{s}$	0.08

Carga de Sólidos que ingresa al Sedimentador	C	$\frac{Kg}{día}$	49.61
Velocidad Terminal de Sedimentación	v_h	$\frac{m}{h}$	0.05
Remoción del BDO	$\%R_{DBO}$	%	49.4
Remoción de SST	$\%R_{SST}$	%	70.9
Altura máxima del Sedimentador	H'	m	3.96
Tiempo de Retención Hidráulica	TRH	h	72

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.2.4.2. Implementación del Aireador por difusión

Tabla 59 - 3: Condiciones de diseño para la implementación del Aireador

PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA	UNIDAD	VALOR
Tiempo de Retención Hidráulica	TRH	día	9
Relación alimentación / microorganismos	F/M	$día^{-1}$	7.28
Concentración real del DBO ₅ en el Efluente	S'_e	$\frac{mg}{l}$	740.6
Eficiencia del Aireador	$\%E_a$	%	70
Volumen del Tanque de aireación	V_A	m^3	2719.8
Ancho del Tanque de Aireación	a_a	m	36.9
Longitud del Tanque de Aireación	L_a	m	73.8
Concentración de saturación de oxígeno disuelto	C'_{sw}	$\frac{mg}{l}$	5.97
Cálculo del Requerimiento de Oxígeno	WO_2	$\frac{KgO_2}{h}$	33.8

Tasa de transferencia total de oxígeno en el campo	N	$\frac{KgO_2}{KWh}$	0.55
Potencia Total	P_T	KW	2.6
Potencia unitaria de aireación	P_u	W	0.90

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.2.4.3. Implementación del Tanque Floculación – Coagulación

Tabla 60 - 3: Condiciones de diseño para la implementación del Tanque Floculación - Coagulación

PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA	UNIDAD	VALOR
Área del Tanque de Floculación	A_F	m^2	9.44
Diámetro del Floculador	\emptyset	m	3.46
Radio del Floculador	r	m	1.73
Volumen de la parte cilíndrica del Floculador	V_F	m^3	26.43
Volumen de la Parte cónica del Floculador	V_c	m^3	1.25
Volumen Total del Floculador	V_T	m^3	27.68
Tiempo de Retención	T_r	h	2.2
Gradiente de velocidad de un fluido	G	s^{-1}	41.75

Potencia disipada en la Mezcla.	P	W	48.68
Área Requerida de las Paletas.	A	m^2	0.38
Longitud de la Pala.	l	m	0.48

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.2.4.3.1. Cantidad de Floculante y Coagulante utilizado

Tabla 61 - 3: Cantidad de Floculante y Coagulante utilizado en el día

Detalle	Unidad	Valor
Caudal de diseño	m ³ / día	302.4
Coagulante (Cloruro Férrico)	Kg / día	189
Coagulante Aniónico (Poliacrilamida)	Kg / día	1.512

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.2.4.4. Implementación del Filtro

Tabla 62 - 3: Características de Diseño para la implementación del Filtro

PARÁMETRO	SIMBOLOGÍA	UNIDAD	VALOR
Numero de filtro	n_f	Adimensional	1
Área del filtro	A_f	m^2	2.52
Coefficiente mínimo de Costo	K_c	Adimensional	1
Longitud del Filtro	L_f	m	1.59
Ancho del Filtro	a_f	m	1.59
COMPOSICIÓN DEL LECHO FILTRANTE			
Factor de seguridad	Fs	%	10
Altura del agua sobre el lecho	Ca	Adimensional	1,5
Altura del lecho filtrante	La	m	0,8
Altura de capa de soporte de grava	Cs	m	0,40

Altura de drenaje	F_c	m	0,40
Altura del filtro	z_f	m	3.20
SISTEMA DE DRENAJE			
Área de los orificios laterales	A_o	m^2	0.00020
Caudal Inicio en orificio	Q_o	$\frac{m^3}{s}$	0.0009
Numero de laterales	N_l	Adimensional	2.12
DIÁMETROS DE LA TUBERÍA			
Diámetro a la entrada	ϕ_e	m	0.025
Diámetro a la salida	ϕ_s	m	0.055
SISTEMA DE LAVADO DEL FILTRO			
Velocidad de lavado	v_{la}	$\frac{m}{s}$	0.045
Cantidad de agua requerida para el lavado	V_{lf}	m^3	68.04

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.3. Propuesta de Rediseño

El tipo de agua generada por las extractoras aceiteras de palma Africana posee una elevada carga orgánica, la cual la hace perjudicial para el medio ambiente, y el bajo rendimiento del sistema debido a su gran generación de contaminantes, por tanto fue necesario realizar un estudio y mejorar la eficiencia de todo el sistema, realizando combinación de procesos a partir de la piscina de estabilización,

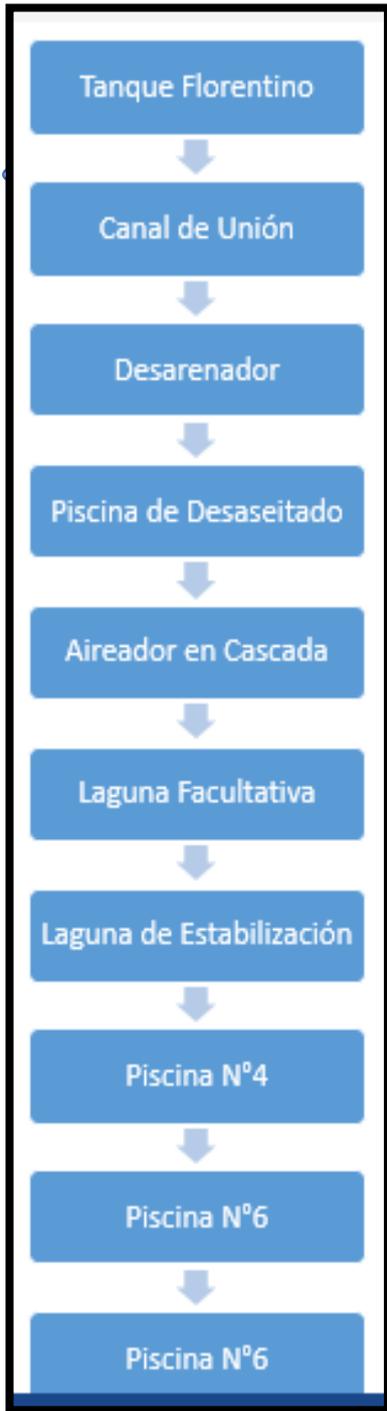
El rediseño empieza con la implementación de un sedimentador de forma rectangular, que durante un tiempo de retención de 3 días nos ayudara en la remoción del 62.5% de la Demanda Química de Oxígeno, en un 49.9 % la Demanda Bioquímica de Oxígeno y en un 70.9% la remoción de

Sólidos Totales, en el caso del aireador por difusión trabajara con un tiempo de retención de 9 días, en el cual eliminara malos olores, color, y la turbiedad.

El uso de agentes químicos como floculadores y coaguladores es de vital importancia para tratar aguas con elevada carga orgánica, considerando que se utilicen los las concentraciones idóneas en cantidad apropiadas, para que los costos de utilización no sean altos y como tratamiento terciario se debe incorporar la utilización de un filtro para retener todo material en suspensión generado por procesos anteriores.

Debido a sus niveles altos de contaminación, no se pudo adecuar a los contaminantes a la norma establecida que permiten descargar a una fuente de agua dulce, pero podrá ser utilizada para aguas de regadíos hacia las plantaciones de Palma que cuenta la empresa. Para evaluar el sistema actual de la empresa y la propuesta de rediseño, se lo describe en el siguiente diagrama de procesos:

Sistema Actual



Propuesta de Rediseño

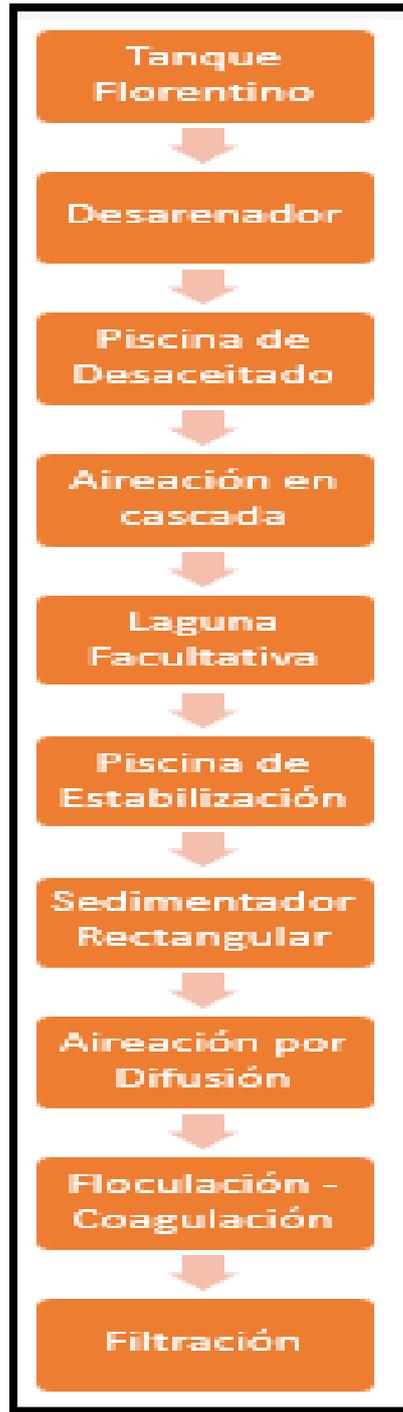


Gráfico 11 - 3: Comparación con el sistema actual y el sistema propuesto

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

Con el planteamiento de la propuesta de rediseño nos permite mejorar la eficiencia del sistema del 75.28%, que actualmente está trabajando el sistema, a un 99%, para la cual fueron consideradas todas las alternativas viables que se pueden realizar para aguas de esta naturaleza.

3.3.1. Análisis de Costos para la implementación de la Propuesta de Rediseño

3.3.1.1. Análisis de costos para la implementación del sedimentador

Tabla 63 - 3: Costos del diseño del sedimentador

Construcción	Dimensiones	Grosor de la capa (mm)	Altura (m)	Costo (\$)
Pared Costado Derecho	31.5 m	3.0	3.6	3150.63
Pared Costado Izquierdo	31.5 m	3.0	3.6	3150.63
Pared Frontal	8 m	3.0	3.6	925.97
Pared Posterior	8 m	3.0	3.6	925.97
Piso	252 m ²	50		1860.20
Total				10013.4

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.3.1.2. Análisis de costos para la implementación del aireador por difusión

Tabla 64 - 3: Costos de la implementación del aireador

Construcción	Dimensiones	Grosor de la capa (mm)	Costo (\$)
Paredes laterales	73.8 m	3.0	13000.76
Pared Frontal y Posterior	36.9 m	3.0	6511.38
Piso	252 m ²	50	3560.20
Bomba			368
Total			23439.58

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.3.1.3. Análisis de costos para la implementación del Tanque Floculador

Tabla 65 - 3: Costos del tanque Floculador

Construcción	Costo
Tanque Floculador	2862.74
Paleta de Agitación	517
Accesorios	440
Total	3819.74

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.3.1.4. *Análisis de costos para la implementación del filtro de arena rápida*

Tabla 66 - 3: Costos del filtro

Construcción	Costo
Filtro	4824
Accesorios	524.5
Total	5348.5

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.3.1.5. *Costos de Operación del Floculante – Coagulante*

Tabla 67 - 3: Costos de utilización del floculante

Cantidad (Kg/día)	Químico Utilizado	Costos (\$)
kg/día	Cloruro Férrico	170
Kg/día	Poliacrilamida	3.02
Total al día		173.02
Total al Mes		4152.48

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

3.3.1.6. *Análisis del Costo total*

Tabla 68 - 3: Análisis de costo Total

Construcción	Costo
Sedimentador	10013.4
Aireador	23439.58
Tanque Floculador	3819.74
Filtración	5348.5
Total	42621.2

Fuente: Jhonathan Rivas 2016

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- La caracterización físico – química y microbiológica, a la salida de la piscina de estabilización arrojaron los siguientes determinaron los siguientes parámetros fuera de norma: DBO = 4000 mg/l, DQO =20800 mg/l, Sólidos Volátiles 1125 mg/l, Sólidos Suspendidos 1900 mg/l, Sólidos Totales 6920 mg/l, Coliformes Totales 286×10^7 UFC / ml y Coliformes Totales 124×10^7 UFC / ml.

- El sistema de la empresa actualmente está comprendido con seis piscina conectadas en serie, cuenta con un pre tratamiento en los cuales incluye un tanque florentino que nos ayuda a la retención de aceites y grasas el cual es considerado como aceite primario, el desarenador que nos ayuda a l retención de sólidos de hasta 200 micras de diámetro, realizando el estudio se pudo identificar que hasta la piscina de desaceitado (piscina # 3), el sistema trabaja correctamente, pero los contaminantes a partir de la piscina 4 se mantienen y en algunos casos aumenta, por esta razón a partir de la piscina 3 empieza la propuesta de rediseño, se debe mencionar que la eficiencia con la está trabajando la empresa es del 75.28%.

- Las variables que intervienen en el proceso del sistema fueron el caudal de diseño, se debe considerar la capacidad de producción diría de la empresa y la cantidad de agua necesaria que necesita la palma para ser procesada, las dimensiones de cada piscina, el tiempo de retención hidráulico, la carga orgánica y variables de mayor importancia como el pH, temperatura, DBO, DQO, SST, SSV, Aceites y Grasas.

- Las pruebas de tratabilidad utilizando el método de jarras arrojaron la dosis óptima del coagulante al 2.5% de Cloruro Férrico y 0.25% del coagulante Anionico.

- Después de ser planteado la propuesta de rediseño los valores obtenidos fueron DBO = 520 mg/l, DQO =780 mg/l, Sólidos Volátiles 120 mg/l, Sólidos Suspendidos 44 mg/l, Sólidos Totales 720 mg/l, Coliformes Totales 161200 UFC / ml y Coliformes Fecales 7500 UFC / ml, aumentado su eficiencia de remoción mayor a 25%.

- Para aplicar los cálculos de ingeniería se utilizó el caudal de diseño del sistema que es de $302.4 \text{ m}^3/\text{día}$, el cual no es necesario ser modificado debido a que su tasa de consumo de agua para procesar fruta es de 0.6, la propuesta plantea el diseño de un sedimentador, aireación por difusión, tanque de floculación – coagulación y filtración, considerando las características de diseño para cada uno de los procesos a ser implementados, buscando disminuir el impacto generado al medio ambiente y aprovechando el agua tratada para sistemas de regadíos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de los procesos planteados en la propuesta para mejorar la eficiencia del sistema y disminuir el impacto generado al medio ambiente.
- Se deberían construir muros de contenciones en las piscinas, para evitar posibles desbordamientos o infiltraciones de una piscina a otra, por otra parte el recubrimientos con geomenbranas
- El mantenimiento debería ser periódicamente, en cada una de sus diferentes etapas del sistema, para garantizar la mayor eficiencia en remoción de materia orgánica y evitar saturación en las piscinas.
- El control a las bacterias utilizadas debe ser estrictamente monitoreado, ya que son susceptibles a cambios bruscos de temperatura y pH, la alimentación, la cantidad suministrada a la piscina y la frecuencia con la que deben ser usar, son aspectos que no están siendo considerados.
- Los lodos generados, los cuales son llevados a las eras de secado, pueden pasar por un proceso adecuado, para que se puedan convertir en insumos para la agricultura como son el compostaje o biol siendo estos abonos orgánicos para las plantaciones de palma.
- El monitoreo constante de los procesos que involucran al sistema de tratamiento por personal capacitado en el área, el cual aporte con ideas y conocimientos técnicos que ayuden a la constante mejora del sistema.

BIBLIOGRAFÍA

- **JOHAN ARUNDEL**, *Tratamientos de aguas negras y efluentes industriales*, Editorial Acribia, S.A. Zaragoza (España), 2002.
- **ADAMS C., FORD D., ECKENFELDER W.**, *Development of Design and Operational Criteria for Wastewater Treatment*, CBI Pub. Co., 1981.
- **APHA-AWWA-WEF**. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. método 2540 B. New York, 2005.
- **ARBOLEDA**. “*Filtración de aguas residuales para reutilización*” año de publicación 2002
- **FERNANDEZ J. y CURT M**. *Métodos analíticos para aguas residuales*
- **GUÍA AMBIENTAL**. *Desinfección del Agua*, Disponible en: <http://www.guiambiental.com.ar/conocimiento-calidad-de-agua-desinfeccion-aguas-residuales.html>. ©2010.
- **G. RIVAS MIJARES**; “*Tratamiento de aguas residuales*”; Segunda Edición; España; 1978.
- **LOZANO-RIVAS**, *Material de clase para las asignaturas de Tratamiento de Aguas Residuales*, 2012
- **MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR**. *TULAS: límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Libor VI, anexo I, tabla 12*.
- **METCALF & EDDY**, *Wastwater Engineering, Treatment, Disposal and Reuse*, 3a. ed. McGraw Hill, 1991
- **METCALF, Y EDDY**. *Tratamiento y depuración de las aguas residuales*. 3A ed . España, McGraw Hill, 1995. Pp. 237 – 387, 507-705

- **OAKLEY, S. M.** *Lagunas de Estabilización en Honduras. Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad*, 2005.
- **PÉREZ, JORGE ARTURO.** *Tratamiento de Agua*, MEXICO
- **ROMERO, J.** *Tratamientos de Aguas Residuales Teoría y Principio de Diseño*. Tercera Edición Colombia 2014
- **ROMERO ROJAS, JAIRO A.** *Lagunas de estabilización de aguas residuales*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1994 ISBN 958 8060 50 8
- **TCHOBANOGLIOUS, GEORGE.** *Sistema de Manejo de Aguas Residuales*, Tomo 1 E.E.U.U 2011

ANEXO A

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO DEL AGUA INICIAL DEL SISTEMA

ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
FACULTAD DE CIENCIAS

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS
Análisis solicitado por: Jhonathan Rivas Vélez
Fecha de Análisis: 16/03/15
Fecha de Entrega de Resultados: 22/02/16
Tipo de muestras: Agua Residual Inicial
Localidad: Extractora La Sexta

TRABAJO DE TESIS

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	4.5
Turbiedad	UNT	2130-B		50 200
Demanda Química de Oxígeno	g/L	5220-C	0.25	95.80
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L	5210-B	0.10	74.16
N Amoniacal	mg/L	4500-NH4-C	15	412
Aceites y grasas	mg/L	5500-D	0.3	571
Sólidos Suspendidos totales	g/L	2540-C	0.1	44.0
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1.0	
Sólidos Suspendidos Volátiles	g/L	2540-C		17.60
Sólidos Totales	g/L	2540-A	1.6	920

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.
**TULAS Libro VI Anexo 1, Tabla 12 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:
Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada. Los ensayos han sido realizados, por el estudiante bajo la dirección del técnico responsable.

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA Jhonathan Rivas Vélez	Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales		
Análisis Físicoquímico inicial del agua inicial del sistema	Certificado Por eliminar		FECHA	LÁMINA	ESCALA
	Por aprobar Para informar	Aprobado Por calificar		22/02/16	01

ANEXO B

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL AGUA INICIAL DEL SISTEMA



SAQMIC
Servicios Analíticos Químicos y Microbiológicos
en Aguas y Alimentos

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA **CÓDIGO 377-15**

CLIENTE: Extractora la Sexta		TELÉFONO:	
DIRECCIÓN: La Sexta			
TIPO DE MUESTRA: Agua residual extractora de palma			
FECHA DE RECEPCIÓN: 26 de junio de 2015			
FECHA DE MUESTREO: 26 de junio de 2015			
EXAMEN FÍSICO			
COLOR: Café -Amarillento			
OLOR: Desagradable			
ASPECTO: Presencia de sólidos			

PARÁMETROS	MÉTODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
Coliformes totales UFC/100ml	Filtración por membrana	2000	286 x 10 ⁷
Eschericha coli UFC/100ml	Filtración por membrana	---	124 x 10 ⁷
Aerobios mesófilos UFC/ml	Filtración por membrana	---	344 x 10 ⁶
Mohos y levaduras UFC/ml	Filtración por membrana	---	800

TULAS - libro VI del texto unificado 2014

OBSERVACIONES:

FECHA DE ANÁLISIS: 26 de junio de 2015
FECHA DE ENTREGA: 01 de julio del 2015

RESPONSABLES:


Dra. Gina Álvarez R.


Dra. Fabiola Villa

El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales			
Análisis microbiológico del agua inicial del sistema	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA Jhonathan Rivas Vélez	FECHA	LÁMINA	ESCALA
	Por aprobar	Para informar		26/06/15	02	1:1
	Aprobado	Por calificar				

ANEXO C

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO A LA SALIDA DE LA PISCINA DE ESTABILIZACIÓN

ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

FACULTAD DE CIENCIAS

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS
 Análisis solicitado por: Jhonathan Rivas Vélez
 Fecha de Análisis: 02/11/15
 Fecha de Entrega de Resultados: 22/02/16
 Tipo de muestras: Agua Residual "Salida Piscina de Estabilización"
 Localidad: Extractora La Sexta

TRABAJO DE TESIS

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	7.6
Turbiedad	UNT	2130-B		775
Demanda Química de Oxígeno	g/L	5220-C	0.25	20.8
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L	5210-B	0.10	4.0
N Amoniacal	mg/L	4500-NH4-C	15	14
Aceites y grasas	mg/L	5500-D	0.3	0.03
Sólidos Suspendedos totales	g/L	2540-C	0.1	1.9
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1.0	1.0
Sólidos Suspendedos Volátiles	g/L	2540-C		1.12
Sólidos Totales	g/L	2540-A	1.6	6.92

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.
 **TULAS Libro VI Anexo 1, Tabla 12 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.
 RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada. Los ensayos han sido realizados, por el estudiante bajo la dirección del técnico responsable.

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales		
Análisis físico – químico a la salida de la piscina de estabilización	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA Jhonathan Rivas Vélez		
	Por aprobar	Para informar			
	Aprobado	Por calificar		FECHA	LÁMINA
			22/02/16	03	1:1

ANEXO D

CARACTERIZACION MICROBIOLÓGICA DESPUES DEL REDISEÑO



EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA CÓDIGO 51-16

CLIENTE: Extractora la Sexta			
DIRECCIÓN: La Sexta		TELÉFONO:	
TIPO DE MUESTRA: Agua final tratada de extractora de palma			
FECHA DE RECEPCIÓN: 23 de febrero del 2016			
FECHA DE MUESTREO: 23 de febrero del 2016			
EXAMEN FISICO			
COLOR: Incoloro			
OLOR: Amarillenta			
ASPECTO: Presencia de sólidos			
PARÁMETROS	MÉTODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
Coliformes totales UFC/100mL	Filtración por membrana	---	161200
Coliformes fecales UFC/100mL	Filtración por membrana	2000	7500
Mohos y levaduras UFC/ml	NORMA INEN 1529-10	---	150
Aerobios mesofilos UFC/ml	NORMA INEN 1529-5	---	16640
**TULAS TABLA 12. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce 2014			
OBSERVACIONES:			
FECHA DE ANÁLISIS: 23 de febrero del 2016			
FECHA DE ENTREGA: 29 de febrero del 2016			
RESPONSABLES:			
 Dra. Gina Álvarez R.		 Dra. Fabiola Villa	
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.			

Dirección: Av. 11 de Noviembre y Milón Rojas (Cerca de la Nueva Puerta Escondi - Hode)
 Contactos: 0996580374 - 0984648617 - 032942322 - 032960293
 Piobambaj - Ecuador

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales			
Caracterización microbiológica después del rediseño	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA Jhonathan Rivas Vélez	FECHA	LÁMINA	ESCALA
	Por aprobar	Para informar		23/02/16	04	1:1
	Aprobado	Por calificar				

ANEXO E

ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICO A LA SALIDA DE LA PISCINA DE ESTABILIZACIÓN

ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL

FACULTAD DE CIENCIAS

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS
 Análisis solicitado por: Jhonathan Rivas Vélez
 Fecha de Análisis: 02/11/15
 Fecha de Entrega de Resultados: 22/02/16
 Tipo de muestras: Agua Residual "Salida Piscina de Estabilización"
 Localidad: Extractora La Sexta

TRABAJO DE TESIS

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	7.6
Turbiedad	UNT	2130-B		775
Demanda Química de Oxígeno	g/L	5220-C	0.25	20.8
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L	5210-B	0.10	4.0
N Amoniacal	mg/L	4500-NH4-C	15	14
Aceites y grasas	mg/L	5500-D	0.3	0.03
Sólidos Suspendedos totales	g/L	2540-C	0.1	1.9
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	1.0	1.0
Sólidos Suspendedos Volátiles	g/L	2540-C		1.12
Sólidos Totales	g/L	2540-A	1.6	6.92

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.
 **TULAS Libro VI Anexo 1, Tabla 12 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:
 Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
 RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada. Los ensayos han sido realizados, por el estudiante bajo la dirección del técnico responsable.

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales					
Análisis físico – químico a la salida de la piscina de estabilización	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA Jhonathan Rivas Vélez					
	Por aprobar	Para informar						
	Aprobado	Por calificar	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">FECHA</th> <th style="width: 20%;">LÁMINA</th> <th style="width: 20%;">ESCALA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">22/02/16</td> <td style="text-align: center;">05</td> <td style="text-align: center;">1:1</td> </tr> </tbody> </table>	FECHA	LÁMINA	ESCALA	22/02/16	05
FECHA	LÁMINA	ESCALA						
22/02/16	05	1:1						

ANEXO F

CARACTERIZACION FÍSICO – QUIMICA DESPUES DEL REDISEÑO

ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL
FACULTAD DE CIENCIAS

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS
Análisis solicitado por: Jhonathan Rivas Vélez
Fecha de Análisis: 11/01/16
Fecha de Entrega de Resultados: 22/02/16
Tipo de muestras: Agua Residual Final "Después del Rediseño"
Localidad: Extractora La Sexta

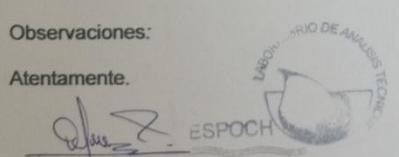
TRABAJO DE TESIS

Análisis Químico

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	Und.	4500-B	5-9	7.15
Turbiedad	UNT	2130-B		8.12
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	250	780
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	520
N Amoniacal	mg/L	4500-NH4-C	15	0.20
Sólidos Suspendidos totales	mg/L	2540-C	100	444
Sólidos Suspendidos Volátiles	mg/L	2540-C		120
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	720

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.
**TULAS Libro VI Anexo 1, Tabla 12 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:
Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada. Los ensayos han sido realizados, por el estudiante bajo la dirección del técnico responsable.

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales		
Caracterización microbiológica después del rediseño	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA Jhonathan Rivas Vélez		
	Por aprobar	Para informar			
	Aprobado	Por calificar			
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
			22/02/16	06	1:1

ANEXO G.

MUESTRA DEL AGUA EN DIFERENTES ETAPAS



a)



b)

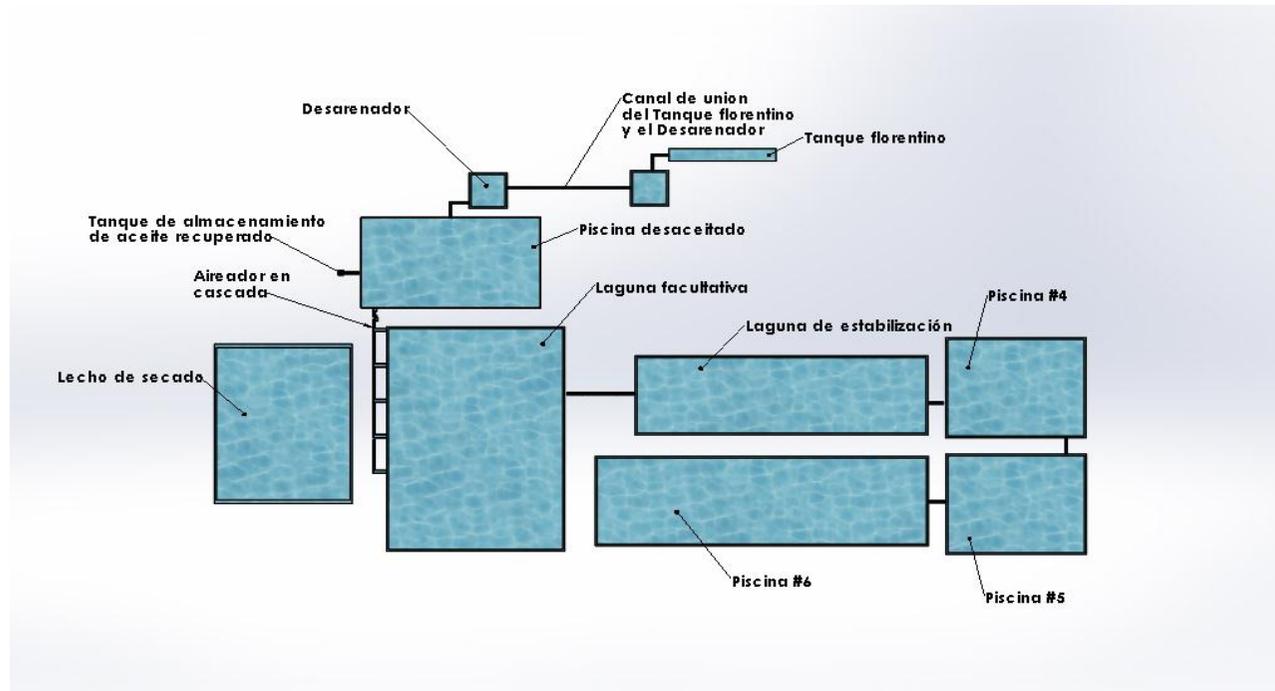


c)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Rediseño del sistema de tratamiento de agua residual		
a) Muestra de agua inicial b) Muestra de agua aireada c) Muestra de agua Final	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS		
	Por aprobar	Para informar	ESCUELA DE ING. QUÍMICA		
	Aprobado	Por calificar	Jhonathan Rivas Vélez		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
			25/03/16	07	1:100

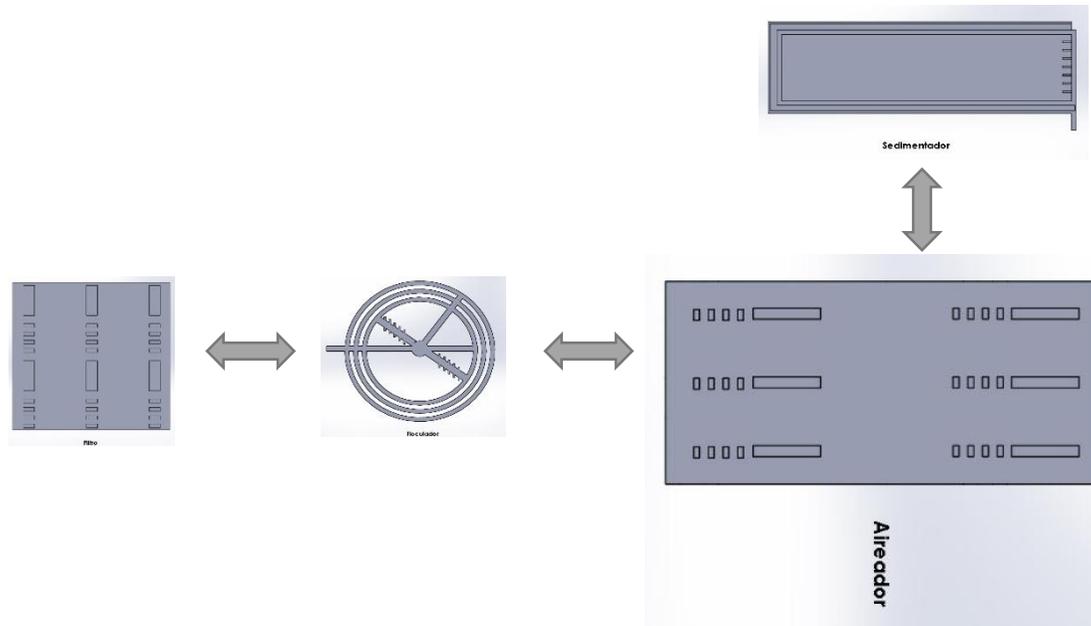
ANEXO H.

DISEÑO DEL SISTEMA DE AGUA RESIDUAL ACTUAL DE LA EMPRESA



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Rediseño del sistema de tratamiento de agua residual		
Diseño del sistema del agua residual actual de la empresa	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA		
	Por aprobar	Para informar			
	Aprobado	Por calificar	Jhonathan Rivas Vélez	FECHA	LÁMINA
			04/03/16	08	1:100

**ANEXO I.
PROPUESTA DE REDISEÑO**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Rediseño del sistema de tratamiento de agua residual		
Propuesta de Rediseño	Certificado	Por eliminar	FECHA		
	Por aprobar	Para informar	LÁMINA		
	Aprobado	Por calificar	04/03/16	09	1:100
		FACULTAD DE CIENCIAS			
		ESCUELA DE ING. QUÍMICA			
		Jhonathan Rivas Vélez			