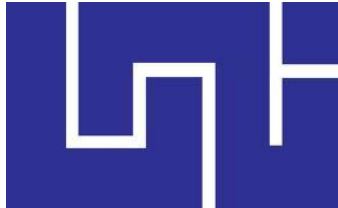


MON
628.3
M492
2013

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA



**PRE-DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS
RESIDUALES PROCEDENTES DE LA INDUSTRIA TEXTIL S.A.**

TRABAJO DE DIPLOMA PRESENTADO POR:

Br. Marianela Elieth Medrano Vargas

Br. Marcelo Eduardo Moncada Urbina

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

TUTOR

PhD. Indiana García

Managua, Nicaragua

Mayo, 2013

AGRADECIMIENTO

Dios. Nuestra gratitud, principalmente está dirigida al creador y sustentador de todas las cosas quien ha permitido llegar a este punto de nuestras vidas.

Dr. Indiana García. A quien no nos alcanzaran palabras para agradecer todo su apoyo incondicional en el desarrollo de esta tesis, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de este tiempo.

Industria Nicaragüense Textil S.A. Por permitir y confiar en nosotros el desarrollo de este estudio.

Colaboradores Al Programa PIENSA, SAREC-FIQ, a la profesora Martha Benavente y a todas aquellas personas que de forma directa o indirecta contribuyeron a la realización de esta tesis.

DEDICATORIA

A Dios por haber sido mi fuerza y mi sostén durante todo este tiempo, que con su luz divina me guió para no desmayar por este camino que hoy veo realizado.

A mi “profe”, Dr. Indiana García por sus consejos y apoyo a lo largo de este tiempo y por darme el orgullo de ser mi tutora y amiga.

A mis padres, Jaime Medrano y Manuela Vargas esos dos seres maravillosos que Dios ha puesto en mi vida por cada esfuerzo y sacrificio realizado por lo cual he logrado cerrar este capítulo de mi vida, y quienes han hecho cada uno de mis sueños los suyos, y por darme palabras de aliento en los momentos precisos, e instarme a ser cada día mejor.

A mis hermanos, Jaime y José David Medrano por ser la fuerza que me empuja a seguir adelante.

A él Ser amado indispensable en mi vida, Marcelo Moncada quien con su amor incondicional me ha hecho la persona más feliz del mundo.

Marianela Medrano

DEDICATORIA

A Dios, porque Él es quién me ha dado las capacidades y habilidades para enriquecerme de conocimientos y porque lo que soy capaz de hacer, no sería si no fuera por Él.

Al ángel, que hizo posible la culminación de mis estudios, mi ejemplo a seguir Dr. Indiana García.

A mi madre, Ivonne Urbina causa de mi mayor orgullo, que como instrumento de Dios siempre me enseñó la importancia de formar mi intelecto, al igual que como artista del amor y del espíritu, creó en mí el arte de soñar, y con su ejemplo e inspiración dio vida a mi lucha por cumplir mis más grandes anhelos. Así demostró, que su afínco por guiarme y apoyarme incondicionalmente cumplía con su profundo deseo de verme feliz.

A mis hermanos y hermanas, que no claudicaron en el cumplimiento de sus sueños brindándome el entusiasmo necesario para poder lograr también los míos.

Esa persona tan especial, Marianela Medrano que supo escucharme, apoyarme, acompañarme en los momentos más difíciles, quien con su cariño, sinceridad, lealtad y amor ha llenado mi vida de alegrías y felicidad.

Marcelo Moncada

OPINION DEL CATEDRATICO GUÍA

Managua, 28 de Mayo del 2013.

MSc.Ing. Leonardo Chavarría
Decano Facultad de Ingeniería Química

Estimado Ing. Chavarría:

Por este medio quiero hacer constar que he revisado cuidadosamente la tesis de los Bachilleres Marianela Elieth Medrano Vargas y Marcelo Eduardo Moncada Urbina cuyo título es “Pre-diseño de una planta de tratamiento de las aguas residuales procedentes de la Industria Textil, S.A.”

Este trabajo de tesis consistió en tomar muestras de efluentes de la Industria Textil S.A para cuantificar y caracterizar el tipo de vertido, posteriormente se seleccionó el tipo de tratamiento más adecuado, se dimensionaron cada una de las unidades propuestas, se realizó un balance de contaminantes comparando las características de salida de los sedimentadores con los parámetros de calidad del Arto 43 del Decreto 33-95. Además se hizo una evaluación económica para determinar si era más rentable seguir pagando a la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) por los vertidos de esa industria o construir su propia planta de tratamiento.

Los estudiantes Medrano y Moncada demostraron gran capacidad de trabajo en las determinaciones analíticas, iniciativa, dominio del tema, disciplina y sobretodo responsabilidad durante el desarrollo del trabajo de tesis y la elaboración del presente documento.

Sin más a que referirme

Dra. Indiana García
Tutora

RESUMEN

El presente trabajo integra un estudio de pre-diseño y evaluación económica de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la Industria Nicaragüense Textil S.A, dicha industria actualmente somete sus efluentes líquidos a tratamientos por medio de un contrato con la Empresa Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (ENACAL) a la cual remunera con una tarifa de C\$ 1.51 y 1.72 por Kg de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Kg de Sólidos Totales (ST) respectivamente. Esta industria, se dedica al proceso de teñido y acabado de telas, proceso que se caracteriza por sus altas concentraciones de contaminantes contenidos en sus aguas residuales, en consecuencia de la gran cantidad de químicos utilizados en su proceso. Además, estos caudales superan los 1200 m³/d lo que provoca que las cargas de contaminantes sean excesivamente altas y asimismo sea el pago a ENACAL.

Este estudio involucra la caracterización del agua residual de la Industria Textil S.A, el cálculo del caudal, la selección del sistema de tratamiento más idóneo, los cálculos de diseños y dimensionamientos de cada una de las unidades propuestas. También se analiza el impacto económico que tendrá la industria por la cancelación del contrato a ENACAL y los costos en los que se incurrirá para tratar sus propias aguas residuales.

Al realizar la caracterización de los contaminantes exigidos por el Art. 43 del Decreto 33-95, la mayoría de estos se encontraron fuera del rango máximo permisible según el decreto en cuestión, obteniéndose concentraciones promedio de 3389 y 8071 mg/L de DQO y ST respectivamente, con una relación DBO/DQO de 0.35, por lo que se requiere de un tratamiento mixto (Fisicoquímico y Biológico). El caudal máximo obtenido resultó de 1490 m³/d, el cual, al proyectarse para un horizonte de proyecto de 15 años con un incremento del 2% anual, y un 10% de sobre diseño este trasciende a 2205 m³/d.

El sistema de tratamiento propuesto incluye un conjunto de rejillas, dos cámaras desarenadoras, un tanque de homogenización y neutralización, un tanque de flotación para el proceso de coagulación–floculación, como tratamiento primario. Luego un sistema de dos filtros percoladores como tratamiento biológico, seguido por dos sedimentadores, además de un tratamiento para los lodos. Este sistema de depuración se diseñó con respecto al caudal proyectado y las cargas máximas de contaminantes obtenidas en la caracterización, tomando en cuenta todos los criterios y parámetros de diseño que recomienda la bibliografía.

Los costos de adquisición, construcción y operación del sistema de tratamiento propuesto para un periodo de 15 años alcanzarán los \$ 4, 062,664. Asimismo únicamente los costos totales en que se incurriría por el tratamiento de aguas residuales con ENACAL serán de \$ 5, 937,766.03.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
I. Introducción	1
II. Objetivos.....	3
III. Marco Teórico.....	4
3.1. Aguas Residuales	4
3.1.1. Aguas Residuales Industriales	4
3.2. Contaminantes en las Aguas Residuales.....	6
3.2.1. Clasificaciones de los Contaminantes	6
3.2.2. Contaminantes Habituales en la Industria Textil.....	7
3.3. Tratamiento de Aguas Residuales	10
3.3.1. Tipos de Tratamientos.....	10
3.3.2. Tratamiento de Lodos.....	13
3.4. Tratamientos Aplicables a la Industria Textil.....	15
3.5. Descripción del Proceso Productivo de la Industria Textil.....	23
3.6. Métodos de Evaluación de Proyectos	25
3.6.1. Generalidades de Evaluación de Proyectos	25
3.6.2. Métodos de Evaluación de Proyectos	27
IV. Cálculo de Variables de Diseño	29
4.1. Ecuaciones de Diseño	27
4.2. Criterios de Diseño.....	37
V. Material y Método	39
5.1. Caracterización del Agua Residual	39
5.1.1. Punto y Frecuencias de Muestreo	39
5.1.2. Variables a Estudiar	40
5.1.3. Técnicas de Obtención de Datos.....	41
5.1.4. Procesamiento de la Información	41
5.2. Cálculo de Caudal de Diseño.....	42
5.3. Selección del Tren de Tratamiento	42
5.4. Cálculos y Balances de Contaminantes.....	44
5.5. Pre-diseño del Sistema de Tratamiento	44
5.6. Evaluación Económica.....	44
VI. Presentación y Discusión de los Resultados.....	47

6.1.	Caracterización del Agua Residual	47
6.2.	Cálculo de Caudal de Diseño.....	49
6.3.	Selección del Tren de Tratamiento	50
6.4.	Balances de Contaminantes	54
6.5.	Pre-diseño del Sistema de Tratamiento	56
6.5.1.	Diseño del Canal de Entrada.....	56
6.5.2.	Diseño del Sistema de Rejillas	57
6.5.3.	Diseño de la Cámara Desarenador	58
6.5.4.	Diseño del Tanque de Ecuilización	51
6.5.5.	Diseño del Sistema de Flotación por Aire Disuelto.....	59
6.5.6.	Cálculos de Floculación por Acción Neumática.....	60
6.5.7.	Diseño del Sistema del Filtros Percoladores	61
6.5.8.	Diseño de Sedimentadores	62
6.5.9.	Cálculo de Caudal de Lodos	63
6.5.10.	Diseño del Espesador	64
6.5.11.	Diseño del Filtro de Banda	64
6.6.	Evaluación Económica.....	66
6.6.1.	Costos por Tratamiento con ENACAL Alternativa 1	66
6.6.2.	Costos de Ejecución del Proyecto Alternativa 2	66
6.6.3.	Costos Financieros.....	68
6.6.4.	Indicadores Costo Eficiencia	68
VII.	Conclusiones.....	70
VIII.	Recomendaciones	72
IX.	Abreviatura y Símbolos	73
X.	Bibliografía	76
XI.	Anexos	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1	Valores Característicos de Aguas Residuales Industriales.....	5
Tabla 4.1	Criterios de Diseño del Canal de Entrada.....	37
Tabla 4.2	Criterios de Diseño de las Rejillas.	37
Tabla 4.3	Criterios de Diseño del Desarenador.....	37
Tabla 4.4	Criterios de Diseño del Sistema de Flotación por Aire Disuelto.....	38
Tabla 4.5	Criterios de Diseño del Floculador.....	38
Tabla 4.6	Criterios de Diseño del Filtro Percolador.	38
Tabla 4.7	Criterios de Tratamiento de Lodos.....	38
Tabla 5.1	Métodos de Medición o Análisis para las Variables de Estudio.....	40
Tabla 5.2	Tarifa Impuesta por ENACAL.	45
Tabla 6.1	Comparación de los Valores Promedios con el Art. 43.....	48
Tabla 6.2	Matriz de Selección.	53
Tabla 6.3	Balances de Contaminantes.....	55
Tabla 6.4	Canal de Entrada.....	56
Tabla 6.5	Rejillas.	57
Tabla 6.6	Cámara Desarenadora	58
Tabla 6.7	Tanque de Ecuilización.	58
Tabla 6.8	Sistema de Flotación por Aire Disuelto.....	60
Tabla 6.9	Floculación Neumática.	61
Tabla 6.10	Filtro Percolador.	61
Tabla 6.11	Sedimentación Secundaria.....	62
Tabla 6.12	Cálculo del Caudal de Lodos.....	63
Tabla 6.13	Espesador por Gravedad.....	64
Tabla 6.14	Filtro de Bandas.....	65
Tabla 6.15	Costos de Inversión.....	66
Tabla 6.16	Costos de Operación y Mantenimiento Totales para los 15 años....	67
Tabla 6.17	Costos Administrativos Totales para los 15 años	67
Tabla 6.18	Costos Financieros. ..	68
Tabla 6.19	Resultados de los Indicadores Financieros CAUE y VAC.	67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1	Niveles de Tratamiento.....	11
Figura 3.2	Alternativas de Procesamiento de Lodos.	14
Figura 3.3	Esquema del Proceso de Floculación y Coagulación.....	16
Figura 3.4	Sistema de Flotación por Aire Disuelto.....	19
Figura 3.5	Procesos que se Desarrollan dentro de un Filtro Percolador.	20
Figura 3.6	Proceso Convencional de Lodos Activados.	21
Figura 3.7	Procesos que se Desarrollan en el Sistema de Lodos Activados...	22
Figura 3.8	Proceso de Teñido y Acabado de Telas de la Industria Textil S.A.	24
Figura 5.1	Esquema de las Líneas de Efluentes de la Industria Textil.	39
Figura 5.2	Algoritmo de Selección del Tipo Tratamiento.	43
Figura 6.1	Consumo de Agua Promedio por Meses del Año 2012.....	49
Figura 6.2	Comportamiento del Caudal en los Cuatro Muestreos.	50
Figura 6.3	Línea de Agua del TT1.	51
Figura 6.4	Línea de Lodos TT1.	51
Figura 6.5	Línea de Agua TT2.....	52
Figura 6.6	Línea de Lodos TT2.	52
Figura 6.7	Tren de Tratamiento Seleccionado.....	53
Figura 6.8	Canal de Entrada y Rejillas.	57
Figura 6.9	Cámara Desarenadora.	58
Figura 6.10	Volumen Máximo Acumulado.....	59
Figura 6.11	Tanque Homogenizador.	59
Figura 6.12	Sistema de Flotación por Aire Disuelto.....	60
Figura 6.13	Filtro Percolador.	62
Figura 6.14	Sedimentador.	63
Figura 6.15	Espesador.	64
Figura 6.16	Filtro de Bandas.	65

I. INTRODUCCIÓN

El impacto ambiental producido por las industrias ha tomado una dimensión global. Se habla continuamente de la escasez y contaminación del agua, uno de los recursos más substanciales para el ser humano. En los países desarrollados las industrias son las mayores consumidoras del agua potable, transformándola en agua residual. Nicaragua ha tenido un rol importante en la lucha contra la contaminación y la protección de los recursos naturales, creando normas como la establecida en el Art. 43 del Decreto 33-95, el cual establece las disposiciones para el control de la contaminación proveniente de descargas de aguas residuales domésticas, industriales y agropecuarias.

Dentro de las industrias con mayor contaminación, debido a sus considerables volúmenes de aguas residuales producidas, como también su carga en contaminantes, se encuentra la Industria Textil. La industria de acabados textiles se caracteriza por su alto consumo de agua, así como por la gran cantidad y variedad de compuestos químicos usados en las diferentes operaciones. Generalmente estos efluentes presentan elevados valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO), temperaturas, pH inestable, sólidos disueltos totales y color, siendo este último el más crucial, debido al uso extensivo de tintes y aditivos químicos, como polivinilo, alcohol, surfactantes, etc.

Los efluentes de las Industrias Textiles muchas veces no logran alcanzar los valores mínimos permisibles establecidos por la ley, por lo que se hace imprescindible proponer algún sistema de tratamiento para sus efluentes. El tratamiento de aguas residuales de la Industria Textil puede ser un problema complejo, debido a la variedad de compuestos y niveles de contaminantes presentes.

Los avances en investigaciones acerca del efecto de ciertos contaminantes, normas ambientales más estrictas, y factores económicos, han generado nuevas tecnologías. Con el uso de nuevos sistemas de tratamiento, en algunas industrias se ha dejado prácticas como el almacenamiento de desechos y el confinamiento, que desde el punto de vista de preservación del medio ambiente y protección de la salud humana, no son recomendables. Los métodos más deseables para tratar efluentes acuosos son aquellos capaces de transformar los contaminantes de los efluentes en materiales inocuos al hombre y a la naturaleza a un bajo costo (Garces & Peñuelo, 2007).

La Industria Textil S.A. es una industria en Nicaragua que se dedica al teñido y lavado de telas. Actualmente se encuentra con la problemática de no cumplir con los rangos permisibles de vertidos del Art. 43 del Decreto 33-95. Por esta razón, se ha puesto en marcha este proyecto de Pre-diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que le permita cumplir con los parámetros permitidos en los vertidos líquidos de su proceso. También se evalúa

la construcción y arranque de la planta en el año 2014 con un horizonte de proyecto de 15 años.

Para realización del proyecto fue necesario llevar a cabo la caracterización del agua residual de la Industria, el cálculo del caudal, y la selección del sistema de tratamiento más idóneo con respecto a los parámetros de selección, como son: los costos de operación y mantenimiento, área disponible de la industria eficiencias del tratamiento etc. También se tomó el criterio de selección de la relación DBO/DQO, que indica el tipo de tratamiento que se debe efectuar para conseguir la depuración de dichas aguas.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Pre-diseñar un sistema de tratamiento para el agua residual procedente de la Industria Textil S.A. con el fin de minimizar el impacto ambiental de dicho efluente.

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el agua residual de la Industria Textil S.A. con respecto a los parámetros exigidos por el Art. 43 del Decreto 33-95.
- Cuantificar el caudal de diseño proyectado para un periodo de 15 años.
- Seleccionar el sistema de tratamiento más idóneo para la línea de agua y línea de lodos, que satisfaga los rangos máximos permisible por la norma nicaragüense.
- Realizar los cálculos y balances de contaminantes para cada una de las etapas de tratamiento, corroborando su eficiencia teórica.
- Diseñar cada una de las unidades dentro del proceso de tratamiento.
- Determinar la rentabilidad económica del sistema de tratamiento propuesto.

III. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se abordan los aspectos teóricos necesarios para la realización de este estudio, el cual incluye generalidades de las aguas residuales, parámetros físicos y químicos necesarios para la caracterización del efluente, así como también los contaminantes habituales presentes. Se prosigue con la descripción general de los tipos de tratamientos de las aguas residuales y los tratamientos habituales para la Industria Textil, que conlleven a la selección del sistema de depuración más adecuado.

También se presentan los cálculos de variables de diseño, datos teóricos como porcentajes de remoción y criterios de diseño que pueden ser tomados en cuenta para el pre-diseño de la planta así como los aspectos relacionados con la evaluación económica del proyecto.

3.1. AGUAS RESIDUALES

Pueden definirse las aguas residuales como *“aquellas que proceden del empleo de un agua natural o de la red en un uso determinado”* (Robles, 2010). La eliminación del agua residual se conoce como vertido. Las aguas residuales se pueden clasificar según su origen en: domésticas, infiltración y caudales adicionales, pluviales e industriales, siendo esta última de interés en el presente estudio.

3.1.1. Aguas Residuales Industriales

Las aguas residuales industriales son aquellas que proceden de cualquier proceso productivo industrial que utilice el agua. Estas aguas se caracterizan por ser enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo de las características de los vertidos no sólo de una industria a otro, sino también dentro de un mismo tipo de industria.

Dado que las industrias no emiten vertidos de forma continua, sino únicamente en determinadas horas del día, o incluso únicamente en determinadas épocas del año, dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial también son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día. Esto hace que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado y que precise de un estudio específico para cada caso.

Los caudales pico extremadamente altos pueden ser reducidos con el uso de tanques de detención y ecualización. Según Metcalf & Eddy (2003), los valores típicos de diseño para estimar los flujos de áreas industriales que tienen poco o nada de procesos húmedos se encuentran entre 7.5 y 14 m³/h-d. Para industrias con poco consumo, o pequeñas y medianas industrias, el gasto oscila entre 14 y 28 m³/h-d.

En el caso de las industrias sin recirculación interna de agua o programas de reúso, se puede asumir que del 85% al 95% de las aguas utilizadas en las distintas operaciones y procesos se convertirán en aguas residuales. Para grandes industrias con programas internos de reúso de agua, pueden variar según su proceso (Metcalf & Eddy , 2003). En la Tabla 3.1 se presentan los valores característicos de contaminantes que se esperan en las aguas residuales de cinco tipos de industrias incluyendo la Industria Textil.

Tabla 3.1 Valores Característicos de Aguas Residuales Industriales.

Parámetros Unidades	Industria				
	Textil	Alimenticia	Curtido (Cromo)	Química	Acabado de Metales
pH	1.0-12.0	4.0-7.0	5.0-8.0	3.6-7.9	5.0-10.0
Temperatura (°C)	30.0-52.0	17.0	22.0	2.8-31.5	
Sólidos Totales (mg/L)	4000.0	1000.0	65.0	1028.0- 21249.0	
Sólidos Suspendidos (ml/L)	111.0- 670.0		1034.0		
Sólidos Sedimentables (mg/L)	0.9-1.9	1009.0		6.3-12.9	
Aceites y Grasas (mg/L)	3.5-79.3	1000.0	39.0	17.0-167.0	56.0
DBO (mg/L)	500.0- 2300.0	3000.0	1452.0	207.0- 562.0	
DQO (mg/L)	715.0- 13905.0	5000.0	1558.0	192.0- 1615.0	
Detergentes (mg/L)	4.0-42.0				
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	6.0-73.0		29.0	11.0-137.0	
Fósforo Total (mg/L)				16.0-436.0	
Cianuro (mg/L)					300.0
Cobre (mg/L)	1.3-5.0				56.0
Hierro (mg/L)	5.6				
Cromo III (mg/L)	0.3				
Cromo Hexavalente (mg/L)	26.0				
Níquel (mg/L)					200.0
Zinc (mg/L)					22.0
Taninos (mg/L)					557.0
Agua residual (m ³ /d)	679.0- 997.0	525.0	150.0		

Fuente: Estudios del uso del agua en la industria, SARH (s.f).

3.2. CONTAMINANTES EN LAS AGUAS RESIDUALES

Los contaminantes se definen como “*Sustancias químicas, biológicas o radiológicas, en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o encontrarse por encima de sus concentraciones normales en la atmósfera, agua, suelo, fauna o cualquier elemento natural, altera y cambia su composición y condición natural*” (Barreiro, 2000).

Las aguas residuales contienen una mezcla heterogénea de contaminantes, el efecto que tengan sobre los cuerpos receptores depende de la procedencia, ya sean domésticas, industriales o agrícolas, por mencionar algunas. Depende también de la carga de dichos contaminantes, volúmenes, condiciones ambientales y movimiento de los cuerpos de agua (Ramos, 2003).

3.2.1. Clasificaciones de los Contaminantes

Hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de diferentes maneras, según Barbara (2002), estos pueden ser clasificados en los siguientes grupos:

Microrganismos Patógenos: Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc.

Desechos Orgánicos: Son los materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir, en procesos con consumo de oxígeno. Cuando estos se encuentran en exceso aumenta la población de las bacterias agotando el oxígeno presente en el agua. Los índices para medir la concentración de desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto en el agua (OD) o la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Sustancias Químicas Inorgánicas: En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos. Estos al encontrarse en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.

Nutrientes Vegetales Inorgánicos: Se refiere a los nitratos y fosfatos que las plantas necesitan para su desarrollo, pero sí se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas, como consecuencia se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos.

Compuestos Orgánicos: Son estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos tales como detergentes y disolventes entre otros.

Sedimentos y Materiales Suspendidos: Se refiere a los materiales que hay en suspensión y sedimentables en las aguas, en términos de masa total. Son la mayor fuente de contaminación del agua.

Sustancias Radiactivas: Pueden ser los isótopos radiactivos solubles que pueden estar presentes en el agua y a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

Contaminación Térmica: Es producto de un cambio elevado en la temperatura ambiente del agua que disminuye su capacidad de disolver oxígeno, afectando así la vida de los organismos presentes en las aguas.

3.2.2. Contaminantes Habituales en la Industria Textil

En el proceso productivo de las industrias textiles se llevan a cabo diversos procesos como blanqueado, mercerizado, teñido, por mencionar algunos de ellos, los cuales producen un tipo particular de vertido y por ende contaminantes particulares. Los efluentes textiles se caracterizan por ser generalmente coloreados, muy alcalinos, con elevados valores de DBO, gran cantidad de sólidos suspendidos y disueltos, además de ser descargados a temperaturas elevadas (Nemerow & Dasgupta, 1998).

El diccionario Aquamarket¹ define cada una de las características físicas y químicas presentes en los efluentes industriales textiles de la siguiente manera:

Parámetros Físicos

pH: Es la expresión cuantitativa de la acidez o alcalinidad de una solución, un suelo u otros medios. Es decir, es la concentración de hidrogeniones (H^+) o hidroxilones (OH^-).

Color: El término color es utilizado para referirse al color verdadero del agua de la cual la turbiedad ya ha sido removida. El término color aparente incluye no sólo el color producido por las sustancias en las muestras sino también las de materias suspendidas.

Sólidos Totales: Los sólidos totales (ST) son la suma de los sólidos totales suspendidos y los sólidos totales disueltos (STD). Cada uno de estos grupos pueden ser subdivididos en volátiles y fijos. Los sólidos totales son los residuos que quedan en la cápsula después de secar por lo menos una hora en el horno de 103 a 105°C y pueden ser calculados según el *Método Estándar* (APHA et al, 1998).

¹ <http://www.aguamarket.com/diccionario/index.asp>

Sólidos Suspendidos Totales: Los sólidos suspendidos totales (SST) se refieren a los sólidos retenidos después de la filtración. Los SST son un parámetro muy importante para la calidad del agua y son un estándar de los tratamientos de aguas residuales.

Sólidos Sedimentables: Los sólidos sedimentables (SS) son materia en el agua residual que no permanece en suspensión durante un período predeterminado, por ejemplo una hora, sino que se depositan en el fondo y pueden ser removidos por sedimentación convencional. Estos sólidos son en promedio 75% orgánicos y 25% inorgánicos (Ramalho, 2003) . A la diferencia entre sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales se les denomina coloidales.

Parámetros Químicos

DBO₅: La demanda biológica de oxígeno mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, disuelta o en suspensión. Se utiliza para medir el grado de contaminación, normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción, y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O₂/L). El método de ensayo se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno y por consiguiente favorecen el desarrollo de microorganismos.

DQO: La demanda química de oxígeno se expresa como la cantidad de oxígeno consumido en la oxidación de una sustancia química durante una prueba específica. Como tal, la DQO (mg/L) es una medición de la capacidad de consumo de oxígeno de la materia orgánica presente en agua residual. Los resultados de la DQO no están necesariamente relacionados con la DBO₅, porque el oxidante químico responsable de utilizar el oxígeno puede reaccionar con sustancias que las bacterias no atacan.

Cromo Total: El cromo (Cr) tiene varios estados de valencia, sólo uno de los cuales es el cromo III. Estados 2, 3, y 6 son los más comunes pero 1, 4, y 5 son posibles. Cromo total significa la cantidad de cromo en todos los estados de valencia. El cromo (VI) es un peligro para la salud de los humanos, mayoritariamente para la gente que trabaja en la industria del acero y textil, este puede alterar el material genético y causar cáncer. El cromo (III) es un elemento esencial para organismos que puede interferir en el metabolismo del azúcar y causar problemas de corazón, cuando la dosis es muy baja.

Cromo Hexavalente: El cromo hexavalente (Cr⁺⁶) debe ser reducido al estado trivalente con la precipitación del hidróxido subsecuente. Las sales de cromo trivalentes se utilizan como colorantes en la industria textil, en la industria de la cerámica y el vidrio, en la industria curtidora y en fotografía. Es tóxico para los humanos, los animales y la vida acuática. Puede producir cáncer de pulmón

cuando se inhala y fácilmente produce sensibilización en la piel. Sin embargo no se conoce si se produce cáncer por la ingestión de cromo en cualquiera de sus estados de oxidación.

Plomo: Elemento mineral de gran impacto sobre el medio. Su existencia en determinados combustibles fósiles provoca contaminación atmosférica en las grandes ciudades y procesos industriales. En el hombre provoca una grave enfermedad conocida como saturnismo.

Sulfuros: Compuestos de azufre (S) elemento o radical más electropositivo; los sulfuros simples contienen el ion S^{2-} , los sulfuros de compuestos orgánicos también se denominan tioéteres. Su presencia común en las aguas residuales se debe en parte a la descomposición de la materia orgánica, presente a veces en los residuos industriales, pero procedente casi siempre de la reducción bacteriana de los sulfatos.

Sulfitos: Los sulfitos son sales o ésteres del hipotético ácido sulfuroso H_2SO_3 . Se trata de sustancias reductoras que pasan el azufre del estado de oxidación +IV a +VI. Si se descarga sulfitos en desagües o en aguas residuales, rápidamente se oxida para formar sulfatos.

Zinc: Es un elemento que se encuentra en forma natural en el agua, importante para la nutrición, pero en grandes cantidades proporciona eutrofización. El zinc elemental no reacciona con las moléculas del agua. El catión de Zinc forma una capa protectora e insoluble de hidróxido de zinc ($Zn(OH)_2$), según la reacción:



Nitrógeno Amoniacal: Es un nutriente biológico que interviene en el metabolismo bacteriano. El nitrógeno amoniacal corresponde al N del NH_4^{+} , que está en equilibrio con el amoníaco (NH_3). El nitrógeno amoniacal no es tóxico pero el amoníaco sí lo es. En concentraciones rara vez encontradas en agua de suministro, normalmente hay menos de 0.2 mg/L, pero en aguas subterráneas anaerobias puede ascender hasta 3 mg/L. El nitrógeno amoniacal proviene de los procesos metabólicos, agrícolas e industriales. Su presencia indica posible contaminación con aguas residuales (Ramirez, 1991).

Fósforo Total: El fósforo, es nutriente esencial para la vida, pero su exceso en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.

Fenoles: Los fenoles son compuestos orgánicos volátiles co-productos de las industrias de refinación de petróleo, curtido, textil, colorante y manufacturación de resinas. Los compuestos fenólicos que se encuentran en las aguas

superficiales son resultado de la contaminación antropogénica por una diversidad de productos industriales provenientes de la manufactura del acero, la destilación del coque, la refinación del petróleo y de operaciones químicas.

Detergentes: Los detergentes producen espumas y añaden fosfato al agua (eutrofización). Disminuyen mucho el poder auto-depurador de los ríos al dificultar la actividad bacteriana. También interfieren en los procesos de floculación y sedimentación en las estaciones depuradoras.

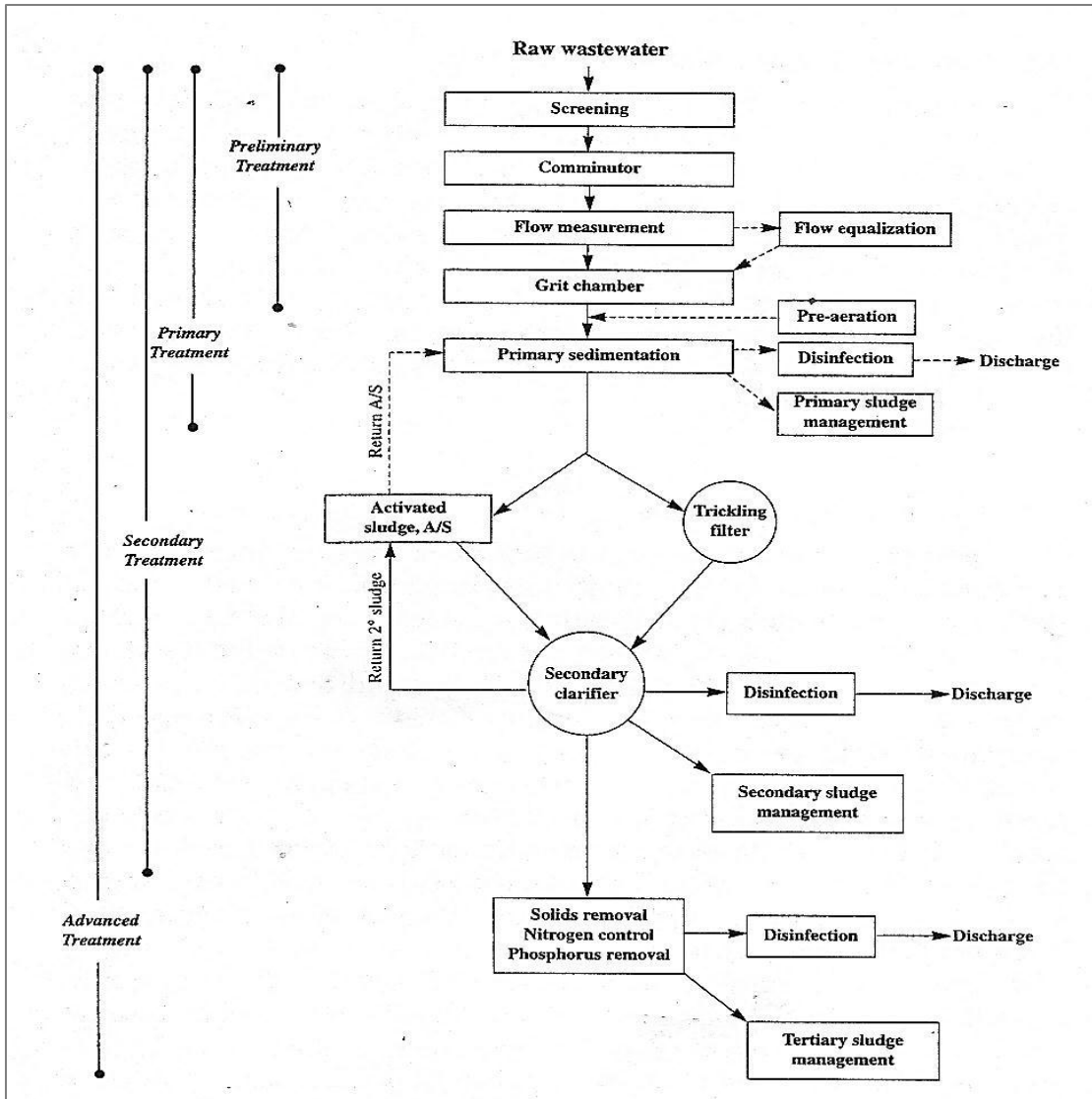
Aceites y Grasas: Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, permanecen en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual, sin mencionar el mal aspecto y olor que producen sobre las aguas.

3.3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Los tratamientos son una serie de procesos físicos, químicos y biológicos a los que se someten las aguas residuales con el propósito de remover los contaminantes en mayor grado posible, puesto que remoción no significa la desaparición o extinción de estos contaminantes, sino su conversión en sustancias inocuas o menos objetables y así disminuir su impacto ambiental. También, remoción tiene el sentido de separación física de la masa de fluido, del o los componentes no deseados que se encuentran en las aguas residuales.

3.3.1. Tipos de Tratamientos

Los tratamientos convencionales para las aguas residuales se clasifican en: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario, tratamientos avanzados o terciarios. La Figura 3.1 muestra el esquema general de los niveles de tratamientos.



Fuente: Water & Wastewater Calculation Manual (Lin, 2007).

Figura 3.1 Niveles de Tratamiento.

Pretratamiento: Los pretratamientos o tratamientos preliminares son diseñados para remover o reducir por medio de “operaciones físicas” materiales suspendidos y flotantes, sólidos inorgánicos de alto peso, así como excesivas cantidades de aceites y grasas. El propósito del tratamiento preliminar es proteger los equipos de bombeo y subsecuentemente las unidades de tratamientos. Los sistemas preliminares consisten en dispositivos de medición y regulación de flujos (Ecuación), cribas y rejillas, dispositivos de trituración o reducción de tamaño, cámaras desarenadoras, tanques de preaireación, y (posible) cloración. En esta etapa de tratamiento la calidad del agua no es substancialmente mejorada (Lin, 2007).

Tratamiento Primario: Según Lin (2007), el objetivo del tratamiento primario es reducir significativamente la velocidad del flujo del agua residual para permitir

que los sólidos suspendidos sedimenten y así remover el material sedimentable. Los materiales flotantes también son removidos en esta etapa por medio del desnatado (operación de remoción de natas o espumas). Aunque un dispositivo de tratamiento primario puede ser llamado tanque de sedimentación, dadas las variaciones en los diseños y operaciones, los tanques de sedimentación pueden dividirse en cuatro grupos: sedimentación simple con remoción mecánica de lodos, tanque de dos niveles (tanque Imhoff, y varias unidades patentadas), clarificador de flujo ascendente con remoción mecánica de lodos (por flotación, DAF), y tanques sépticos.

Los procesos de sedimentación remueven aproximadamente del 50% al 70% de los sólidos suspendidos totales (SST). La eficiencia de remoción de DBO por los sistemas primarios oscila de un 25% a un 35%. Cuando se adiciona coagulante a los tanques de sedimentación, gran parte de los coloides como los sólidos sedimentables (SS), o un total, de 80% a 90% de los SST son removidos. Aproximadamente el 10% del fósforo insoluble es normalmente removido por la sedimentación primaria.

También se incluyen en estos tratamientos la neutralización del pH y la eliminación de contaminantes volátiles como el amoníaco (desorción) (Corbitt, 1990) Las operaciones que incluye son: el desaceitado y desengrase, la sedimentación primaria, la filtración, neutralización y la desorción.

Tratamiento Secundario: De acuerdo con Lin (2007) el tratamiento secundario es utilizado para remover la materia soluble y coloidal que permanece en el agua residual después del tratamiento primario. Aunque en esta etapa también se remueven sólidos suspendidos, el tratamiento secundario se le conoce como el proceso biológico del tratamiento de aguas residuales.

Los “*Tratamientos Biológicos*”, consisten en la aplicación de un proceso natural controlado en el cual un gran número de microorganismos se alimenta de la materia orgánica soluble y coloidal en el agua residual, en un contenedor relativamente pequeño, sobre un tiempo razonable. Se comparan con las reacciones biológicas que ocurren en la zona de recuperación de la auto-purificación de la corriente.

Los dispositivos secundarios pueden dividirse en dos grupos: procesos de crecimiento adherido y crecimiento suspendido. Entre los procesos de crecimiento adherido (película) se encuentran los filtros percoladores, filtros biológicos rotatorios y filtros intermitentes de arena. Los procesos de suspensión adherida incluyen los lodos activados y sus modificaciones, como los tanques de estabilización (aireación) por contacto, reactores batch secuenciales, digestores aeróbicos y anaeróbicos, filtros anaeróbicos, lagunas de estabilización y lagunas aireadas.

Los tratamientos secundarios son capaces de remover hasta más del 85% de la DBO y SST. Sin embargo, no son efectivos en la remoción de nutrientes (nitrógeno, fósforo), metales pesados, materia orgánica no biodegradable, bacterias, virus, y otros microorganismos. Para la formación de la biomasa en los reactores biológicos se necesita un equilibrio entre la fuente de carbono (expresado como DBO₅ o DQO), el nitrógeno y el fósforo. Metcalf & Eddy (2003) recomienda que la relación DBO₅:N:P debe controlarse en la entrada al reactor biológico manteniendo la relación de 100:5:1. Así mismo, se requiere de un clarificador posterior para remover sólidos producidos en el proceso biológico.

Tratamientos Avanzados: Lin (2007) define los tratamientos avanzados en aguas residuales como métodos y procesos para remover mayor cantidad de contaminantes que en los tratamientos convencionales. El propósito de las técnicas de tratamientos avanzados es esencialmente reducir SST, DBO, sólidos disueltos SDT, nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, o fósforo. Los procesos de remoción de nutrientes biológicos pueden eliminar nitrógeno o fósforo, y cualquier combinación.

Los tratamientos avanzados incluyen coagulación química del agua residual, asimilación biológica, nitrificación, des-nitrificación, intercambio-iónico, cloración con punto de quiebre, separación con aire, precipitación química y biológica, por admisión de crecimiento normal de células en un sistema controlado, filtros de medios granulares, filtros de tierra diatomácea, micro-filtración, ultrafiltración, nano-filtración, las cuales son usadas para remover coloides y partículas finas suspendidas, Una filtración posterior es requerida en los procesos químicos y biológicos (Lin, 2007).

Estos tratamientos son más costosos que los anteriores y se usan para purificar desechos de algunas industrias, o en las zonas con escasez de agua que necesitan purificarla para volverla a usar como potable, o en zonas declaradas sensibles (con peligro de eutrofización) en las que los vertidos deben ser bajos en nutrientes, etc. (Corbitt, 1990).

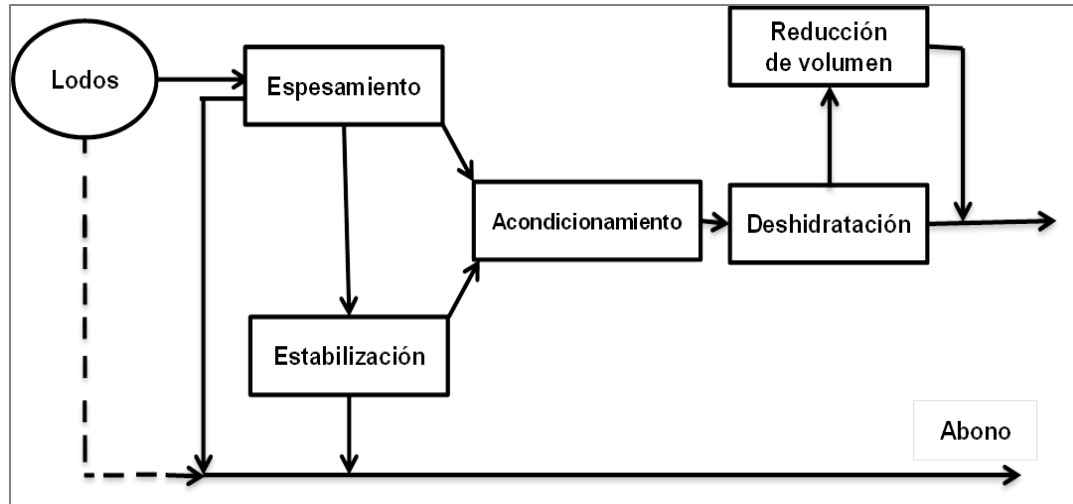
3.3.2. Tratamiento de Lodos

El tratamiento de las aguas residuales conduce a la producción de subproductos conocidos como lodos o fangos, de los cuales, los lodos se clasifican de la siguiente manera (Ramalho, 2003):

Lodos Primarios: Sólidos decantados en el tratamiento primario que no contienen sólidos por materia orgánica biodegradable.

Lodos Secundarios: Sólidos decantados en el clarificador tras el paso de las aguas por el reactor biológico.

La Figura 3.2 presenta los sistemas más comunes de tratamiento de lodos.



Fuente: Adaptado de *Water and Wastewater Calculation Manual* (Lin, 2007).

Figura 3.2 Alternativas de Procesamiento de Lodos.

Los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales se tratan para alcanzar los siguientes objetivos (Sainz, 2005):

- Reducir el volumen para facilitar el manejo y los tratamientos posteriores.
- Estabilizar al máximo la materia orgánica biodegradable.
- Lograr una deshidratación parcial, con un contenido de agua entre el 70% y el 80%.

Para cumplir con dichos objetivos se somete el lodo a los siguientes tratamientos:

Espesamiento: El espesado es un procedimiento que se utiliza con la finalidad de aumentar el contenido de sólidos presente en los lodos extraídos y de esa manera reducir su volumen, para facilitar las etapas de tratamientos posteriores (Sainz, 2005). Esto se logra separando la fracción líquida de la sólida. El espesado se suele llevar a cabo mediante procedimientos físicos tales como:

- Espesado por gravedad
- Espesado por flotación
- Espesado por centrifugación

Estabilización: Después que el lodo se ha espesado, requiere de estabilización para convertir los sólidos orgánicos a una forma más inerte, esto con el propósito de reducir los patógenos, eliminar materiales que causen olores e inhibir, reducir y eliminar compuestos potenciales que ocasionan la putrefacción de la materia (Suárez, 2003). Una vez estabilizados los lodos pueden ser manejados o usados como acondicionadores de suelo sin causar problemas de

salud u olores. Las tecnologías disponibles para la estabilización de los lodos son:

- Estabilización con cal
- Tratamiento térmico
- Digestión anaerobia
- Digestión aerobia
- Compostaje

Deshidratación: La deshidratación consiste en una operación unitaria física utilizada para reducir el contenido de humedad de los lodos. Los dispositivos de deshidratación utilizan varias técnicas para la eliminación de la humedad. Algunas, se basan en la evaporación y percolación naturales, mientras que los aparatos de deshidratación mecánica utilizan medios físicos, asistidos mecánicamente, para acelerar el proceso. Los medios físicos utilizados incluyen la filtración, el prensado, la acción capilar, la extracción por vacío y la separación y compactación por centrifugación (Suárez, 2003). Los métodos más utilizados son los siguientes:

- Deshidratación por filtración
- Filtros prensas
- Filtros de bandas
- Deshidratación por lechos de secado
- Incineración

3.4. TRATAMIENTOS APLICABLES A LA INDUSTRIA TEXTIL

Los principales métodos utilizados en el tratamiento de aguas residuales de la Industria Textil según Ramalho (2003) son: Homogenización (dosificación), neutralización, eliminación de color, remoción de materia orgánica e inorgánica.

a. Homogenización: La homogenización es una operación unitaria que tiene como finalidad uniformar el flujo, la carga de contaminantes y las condiciones físico-químicas (pH, temperatura, etc.) de las aguas residuales.

Esta operación se aplica cuando se tienen las siguientes situaciones:

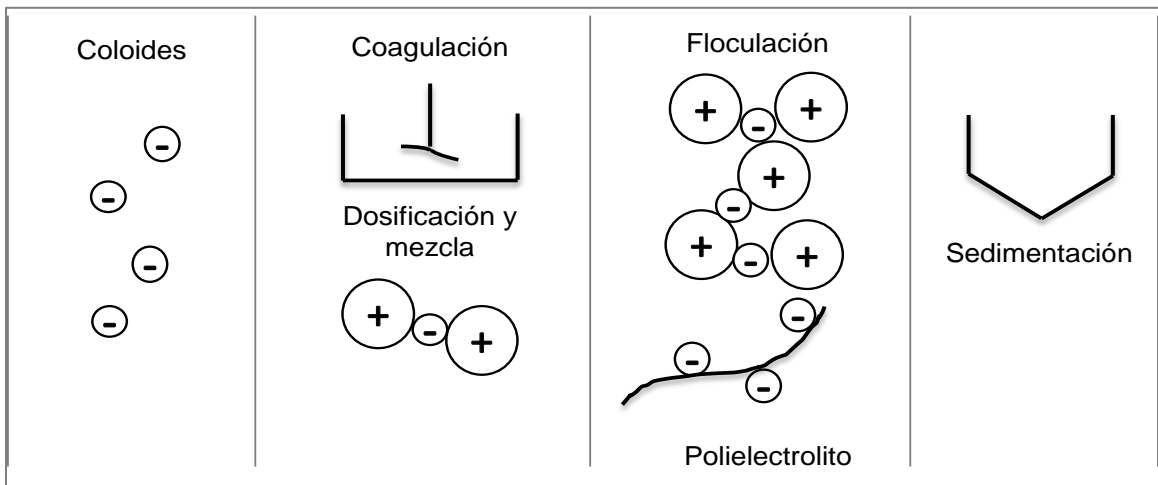
- Para amortiguar variaciones de flujo de varias descargas, de manera que se logre una corriente compuesta con un flujo relativamente constante en la planta de tratamiento.
- Cuando se tienen variaciones en la demanda biológica de oxígeno en la descarga.
- Para propósitos de neutralización, incluyendo el mezclado de los desechos ácidos y alcalinos en el tanque.

b. Neutralización: Las aguas residuales de un gran número de industrias son alcalinas o ácidas. En este tipo de aguas es importante efectuar una neutralización antes de pasar a los tratamientos secundarios en la planta de tratamiento, para lograr una mayor eficiencia de estos sistemas (Sainz, 2005).

Las razones por las que se ajusta el pH son:

- Para cumplir con los valores permitidos para los vertidos de aguas residuales.
- En el caso de los tratamientos biológicos el pH debe mantenerse entre los rangos de 7.0 y 8.0.
- Evitar los ataques químicos provocados por las aguas ácidas en las estructuras metálicas de los equipos o dispositivos que se disponen para el tratamiento de estas.

c. Coagulación-Floculación: El objetivo de la coagulación y la floculación es la neutralización de las cargas eléctricas de los coloides y emulsiones presentes en el agua residual, seguido de un reagrupamiento de las partículas, de tal forma que sea factible su separación posterior por medio de la sedimentación o bien por flotación (Ramalho, 2003). En la Figura 3.3 se presenta el esquema de este proceso.



Fuente. Adaptado de <http://h20-crimomi.wikispaces.com>.

Figura 3.3 Esquema del Proceso de Floculación y Coagulación.

Coagulación: En el proceso de coagulación se consigue la desestabilización o neutralización de las cargas eléctricas presentes en los coloides y emulsiones, mediante la dosificación de reactivos químicos y agitación mecánica constante, que favorece la mezcla del reactivo en toda el agua residual, en el menor tiempo posible, y llevando a cabo la reacción correspondiente (Sainz, 2005).

Cuando la superficie de una partícula adquiere carga eléctrica, algunos de los iones de carga contraria se adhieren a la superficie y quedan retenidos, gracias a las fuerzas electrostáticas y de Van der Waals. Alrededor de esta capa fija de iones, existe otra capa difusa, que no puede formar una capa compacta debido a la agitación térmica.

Floculación: La floculación es la operación unitaria aplicada a las aguas residuales, que por medio de sustancias químicas (polielectrolitos) aumentan el contacto entre las partículas finas en la coagulación, para formar flóculos, los cuales sedimentan más fácilmente.

Tipos de Floculación

Floculación Natural: En este tipo de floculación actúan los procesos naturales de sedimentación, provocados por la agregación de partículas suspendidas para formar flóculos capaces de precipitarse a causa de su volumen y aumento de masa.

Esta agregación de los coloides empieza inmediatamente después de la adición de los floculantes, a causa del movimiento Browniano en el líquido, conociéndose como floculación pericinética. Este tipo de floculación requiere de un tiempo de retención muy grande, pues no se controla el movimiento Browniano y consecuentemente el tiempo de sedimentación, por lo cual no es recomendable su empleo (Romero, 2000).

Floculación Inducida: Se propician las colisiones de las partículas por medios mecánicos o hidráulicos, para acelerar y controlar el proceso de sedimentación. En la floculación inducida se usa la agitación para acelerar la agregación de partículas coloidales que pueden ser causadas por agitadores mecánicos o neumáticos como es el caso de la inyección de burbujas de aire que provocan la floculación de las partículas coloidales. Las partículas se mueven en el sentido de la rotación del agua y debido a las diferencias en sus pesos, viajan a diferentes velocidades, lo que provoca una colisión entre ellas y por consiguiente un aumento en su tamaño. A este proceso se le conoce como floculación ortocinética (Romero, 2000).

d. Sedimentación: La sedimentación según Ramalho (2003) se utiliza en los tratamientos de agua residual para separar sólidos en suspensión de esta. La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el medio líquido donde se encuentran, lo cual permite que la materia en suspensión, por acción de la gravedad, sedimente.

En algunos casos, la sedimentación es el único tratamiento al que se somete el agua residual. La sedimentación puede producirse en una o varias etapas o en varios puntos del proceso de tratamiento.

Tipos de Sedimentación

Pueden considerarse tres tipos de mecanismos o procesos de sedimentación, dependiendo de la naturaleza de los sólidos presentes en suspensión (Ramalho, 2003):

Sedimentación Discreta: Las partículas que se depositan mantiene su individualidad es decir no se someten a un proceso de coalescencia con otras partículas. En este caso, las propiedades físicas de las partículas (tamaño, forma, peso específico) no cambian durante el proceso.

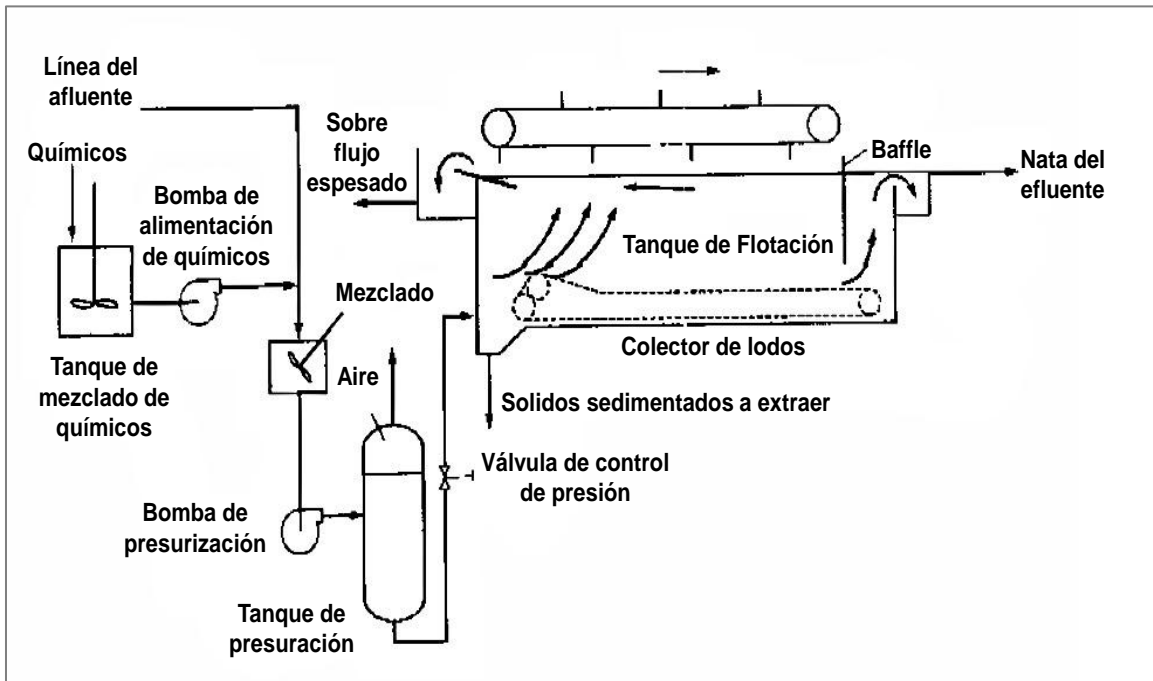
Sedimentación con Floculación: La aglomeración de las partículas va acompañada de cambios en la densidad y en la velocidad de sedimentación o precipitación. La sedimentación que se lleva a cabo en los clarificadores o sedimentadores primarios es un ejemplo de este proceso. (Metcalf & Eddy , 2003)

Sedimentación por Zonas: Las partículas forman una especie de manta que sedimenta como una masa total, presentando una interfase distinta con la fase líquida. La sedimentación de los lodos activados que se da en el sedimentador secundario, es un ejemplo de este tipo de sedimentación.

e. Flotación: Según Ramalho (2003), la flotación es un proceso para separar sólidos de baja densidad, o partículas líquidas, de una fase líquida. La separación se lleva a cabo introduciendo un gas (normalmente aire) en la fase líquida, en forma de burbujas. La fase líquida se somete a un proceso de presurización, para alcanzar una presión de funcionamiento que oscila entre 2 a 4 atmósferas, en presencia de aire suficiente para conseguir la saturación en aire del agua. Luego, este líquido saturado de aire se somete a un proceso de despresurización, llevándolo hasta la presión atmosférica por paso a través de una válvula recolectora de presión. En esta situación, debido a la presurización, se forman pequeñas burbujas de aire que se desprenden de la solución. Los sólidos en suspensión o las partículas líquidas flotan, gracias a que estas pequeñas burbujas, asociándose a los mismos, les obligan a elevarse hacia la superficie. Los sólidos en suspensión concentrados pueden separarse de la superficie por sistemas mecánicos. El líquido clarificado puede separarse cerca del fondo, y parte del mismo puede reciclarse.

En el campo de los tratamientos de aguas residuales, la flotación se usa para los siguientes objetivos: separación de grasas, aceites, fibras y otros sólidos de baja densidad, de las aguas residuales; espesado de los lodos provenientes de los procesos de lodos activados; el espesamiento de los lodos floculados químicamente resultantes de los tratamientos de coagulación química. Una calidad superior de los efluentes (efluentes conteniendo

porcentajes menores de sólidos en suspensión), y una economía de energía, pueden conseguirse con sistemas por flotación por reciclaje.



Fuente: Adaptado Metcalf & Eddy

Figura 3.4 Sistema de Flotación por Aire Disuelto.

f. Filtración: El proceso de filtración se lleva a cabo mediante un filtro percolador el cual es un proceso unitario en el cual el afluente primario es introducido en contacto superficial con crecimiento biológico y oxidación biológica en el lecho, usando aspersores fijos. Los filtros percoladores consisten en:

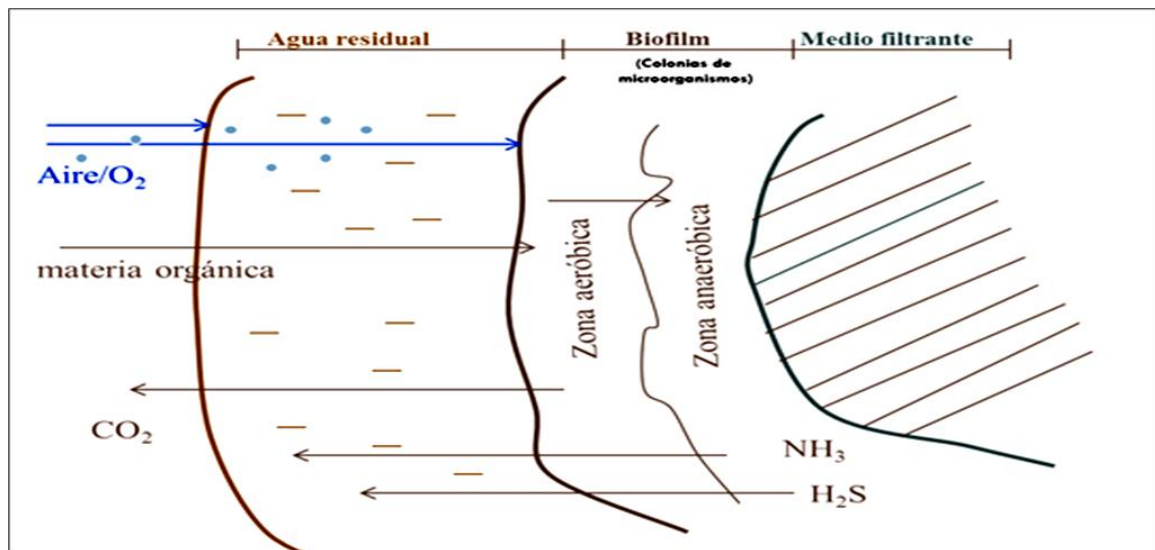
- Un lecho de material grueso (piedra volcánica o un medio plástico) donde el afluente primario es esparcido por aspersión.
- Un sistema de recolección donde se transporta el agua residual que ha pasado por el medio filtrante biológico y se drena el efluente a las siguientes unidades de tratamiento. También provee ventilación para mantener las condiciones aeróbicas.

El agua residual se distribuye por medio de aspersión por la parte superior del relleno mediante un mecanismo rotatorio o boquillas fijas, esta es distribuida por toda la superficie del filtro percolador formando una fina lámina de agua residual sobre la superficie del material de relleno, generándose una capa de biomasa adherida al mismo la cual se encarga de degradar la materia orgánica (Sainz, 2005).

Proceso de Degradación Biológica

- El afluyente percola a través del medio de manera descendente e intermitente.
- Los nutrientes inorgánicos y orgánicos son extraídos de la capa líquida por los microorganismos de la capa biológica (bacterias aeróbicas, anaeróbicas y facultativas, algas, hongos, protozoos, gusanos, larvas, rotíferas).
- Los microorganismos cerca de la superficie del lecho están en rápido crecimiento debido a la abundancia de alimentos, mientras los demás se encuentran limitados con poco alimento (nutrientes).
- Cuando la capa microbiana se vuelve más gruesa y las células mueren, la capa biológica se lava y es removida por sedimentación secundaria.

Este proceso se presenta en la Figura 3.5:



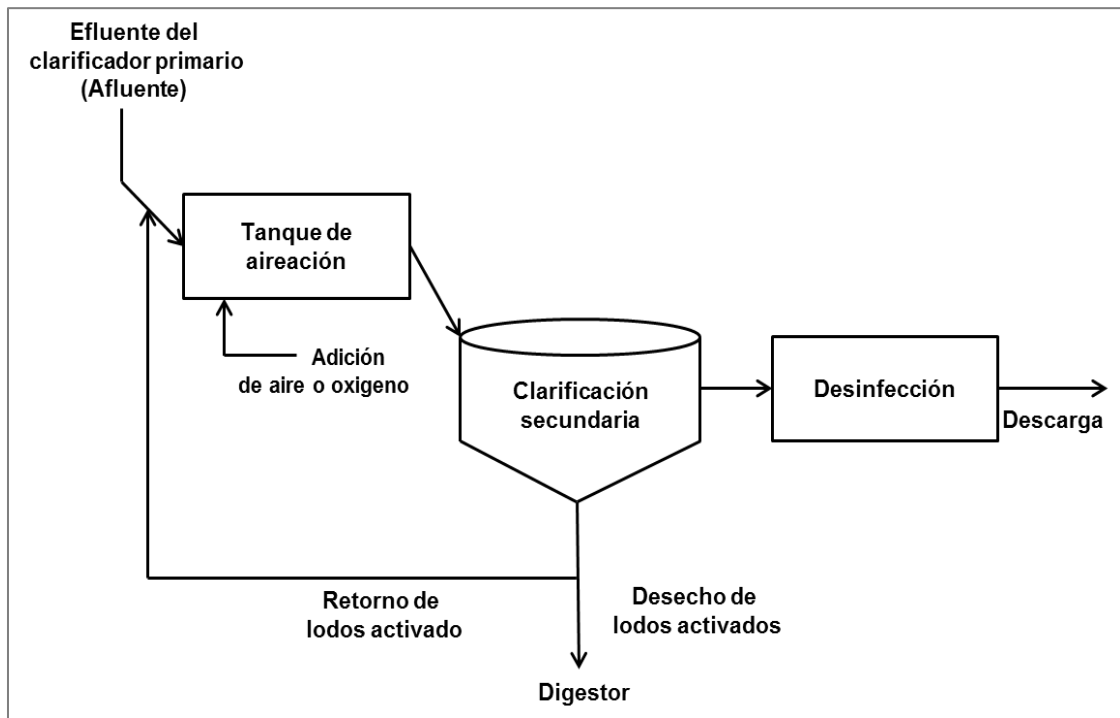
Fuente: Adaptado *Water and Wastewater Calculation Manual* (Lin, 2007).

Figura 3.5 Procesos que se Desarrollan dentro de un Filtro Percolador.

- g. Lodos Activados:** El principio básico de la depuración biológica se fundamenta en un proceso físico-biológico, la biofloculación o bioadsorción y en un aspecto exclusivamente biológico como es el metabolismo bacteriano. La biofloculación es una agregación de partículas finamente suspendidas en el líquido, la cual conduce a la formación de estructuras cuyas dimensiones y peso específico permiten su separación del medio líquido por decantación (Marzio, 2004).

En un proceso de crecimiento suspendido de lodos activados convencional, como se muestra en la Figura 3.6, el agua residual entra continuamente a un tanque de aireación, en el cual flóculos biológicos previamente desarrollados se someten a contacto con la materia orgánica residual. El aire o aire enriquecido de oxígeno es continuamente inyectado dentro del tanque de aireación como un recurso de oxígeno para mantener el sistema aeróbico y la suspensión de lodos activados. Aproximadamente 8 m³ de aire son requeridos por cada m³ de agua residual a tratar (Lin, 2007).

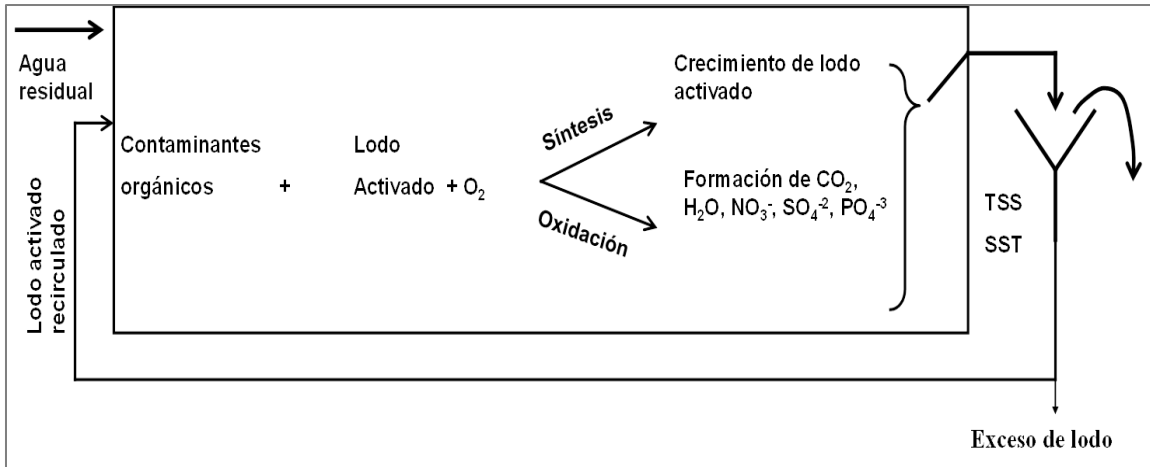
Los microorganismos utilizan la materia orgánica absorbida como fuente de energía y carbono para el crecimiento celular y convertir estos en tejidos celulares, en agua y productos oxidados (principalmente dióxido de carbono (CO₂)).



Fuente: Adaptado de *Water and Wastewater Calculation Manual* (Lin, 2007).

Figura 3.6 Proceso Convencional de Lodos Activados.

Los lodos o fangos activos son entonces agregados de partículas y colonias de bacterias aeróbicas, los cuales forman estructuras microscópicas denominadas flóculos. Los flóculos se mantienen en una pileta o reactor aeróbico a partir de la agitación mecánica externa, la que a su vez renueva el contenido de oxígeno del medio líquido. Las bacterias presentes en los flóculos o lodos activos remueven la materia orgánica disuelta principalmente en su contenido de carbono, nitrógeno y fósforo (Marzio, 2004).



Fuente: Adaptado Water and Wastewater Calculation Manual (Lin, 2001).

Figura 3.7 Procesos que se Desarrollan en el Sistema de Lodos Activados.

Los sistemas de aireación que se emplean en las plantas de tratamiento de lodos activados básicamente se pueden dividir en:

Aireación por Difusión: El aire (oxígeno) se pone en contacto con el agua por medio de las bombas de presión. El aire se libera en el seno del líquido en forma de burbujas de diferente tamaño.

Aireación Mecánica o Superficial: El aire (oxígeno) se mezcla con el agua por medio de platos rotatorios que están ligeramente sumergidos en el agua.

3.5. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PRODUCTIVO DE LA INDUSTRIA TEXTIL

A continuación se realiza una breve descripción generalizada del proceso de fabricación empleado en Industria Textil S.A. cuya finalidad es obtener una superficie con características de estética del producto textil.

Limpieza: Las fibras naturales crudas tienen engomados que hacen que la tela sea más rígida y que interfieren en la absorción de líquidos, en etapas posteriores. En esta etapa se quita la goma de la tela, o del algodón, para iniciar el acabado.

Mercerizado: Es la acción causada por la soda cáustica sobre la tela. Se utiliza en el algodón y lino, obteniéndose un aumento del lustre, el brillo y la suavidad. Provoca un encogimiento del tejido de hasta un 25%, aumenta la resistencia y produce una mayor afinidad a los colorantes.

Descrude: En este proceso se utilizan soluciones alcalinas y detergentes en caliente para remover impurezas naturales que contiene las fibras como ceras, pectinas, con el objetivo de acondicionar la tela para la posterior etapa de blanqueo.

Blanqueo: La operación de blanqueo tiene como finalidad eliminar la coloración amarillenta presente en las fibras naturales mediante la acción oxidante de solución diluida de agentes blanqueadores (agua oxigenada o hipoclorito de sodio) y tensoactivos, la tela se enjuaga en agua y luego se trata con sustancias reductoras que eliminan el exceso del agente oxidante.

Teñido: Los carretes de tela se someten a un tratamiento con químicos auxiliares y colorantes, en cantidades adecuadas y específicas, para teñir la tela o la fibra.

Enjuague: Una vez teñida la tela o fibra se realiza un enjuague para limpiar el exceso de colorante. En esta etapa se usan grandes cantidades de agua que son posteriormente sumadas a las aguas residuales del proceso.

Estampado: En esta operación se utilizan pastas de almidón, dextrina, goma u otro, para grabar en el tejido el diseño preseleccionado.

Secado: En la operación de secado, se elimina el mayor contenido posible de agua en el producto final textil.

La Figura 3.8 presenta el diagrama de flujo del proceso productivo de acabado en la Industria Textil S.A.

PROCESO DE TEÑIDO Y ACABADO DE TELAS DE LA INDUSTRIA TEXTIL S.A.

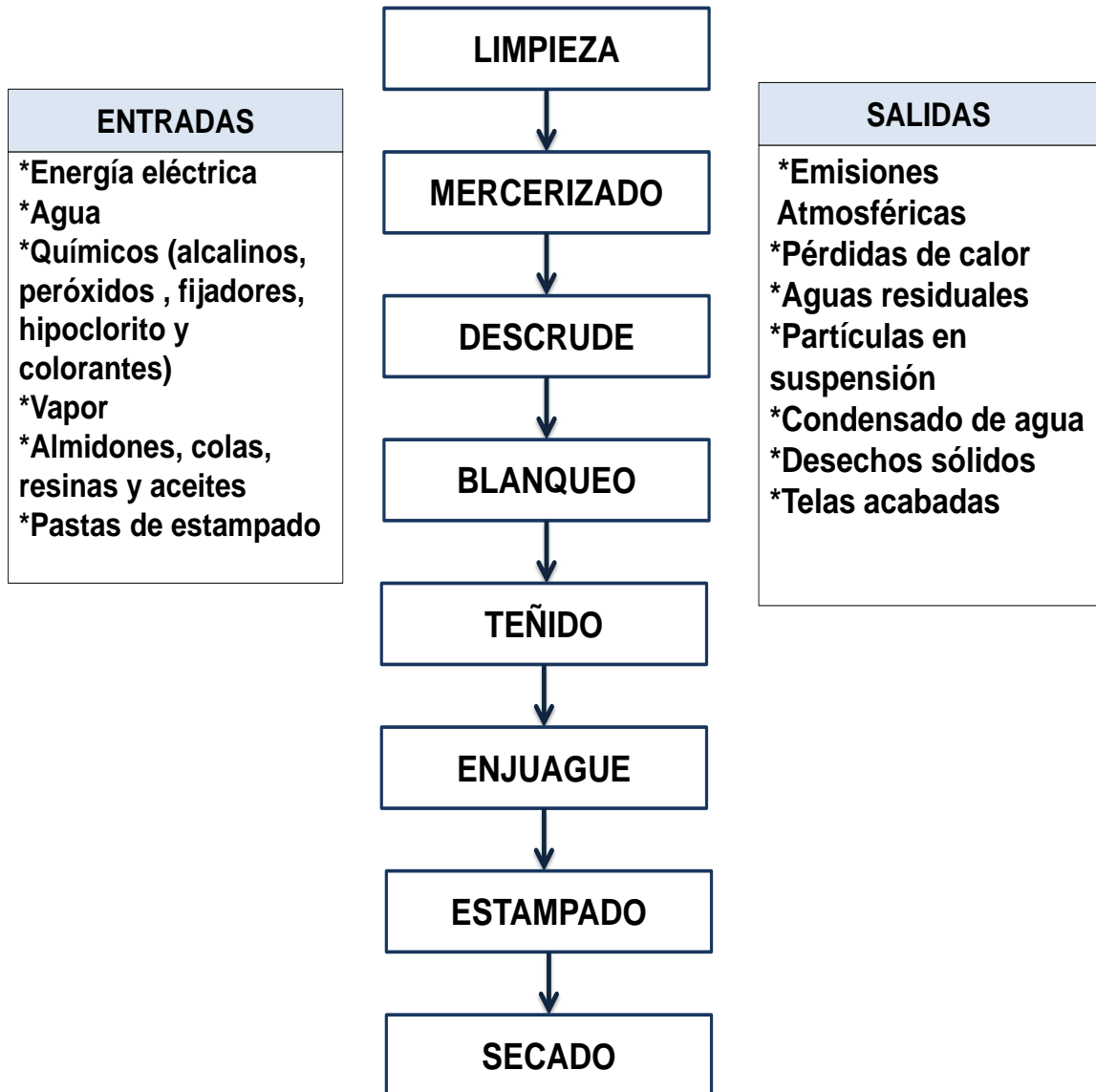


Figura 3.8 Proceso de Teñido y Acabado de Telas de la Industria Textil S.A.

3.6. EVALUACIÓN DE PROYECTOS

La parte del análisis económico pretende determinar cuál es el monto de los recursos económicos necesarios para la realización del proyecto y la evaluación de la rentabilidad del mismo, haciendo uso de los métodos de evaluación. Los métodos de evaluación de proyectos utilizan indicadores financieros para evaluar la rentabilidad del proyecto a ejecutarse, estos permiten pronosticar el impacto que tendrá haber tomado la decisión de desarrollar y ejecutar dicho proyecto sobre la economía de la empresa o industria, como en el caso en estudio (Urbina, 2001).

3.6.1. Generalidades de Evaluación de Proyectos

Costos Totales: Es la sumatoria de los gastos económicos que se incurren en la realización e implementación de un proyecto, que para fines de este estudio, corresponden a los costos de inversión, depreciación, operación, mantenimiento, administrativos y financieros.

Inversión: En términos generales, la inversión significa el uso del dinero en espera de obtener una mayor cantidad o incremento del mismo. La inversión inicial incluye la adquisición de todos los activos fijos o tangibles y de los diferidos o intangibles, necesarios para iniciar las operaciones de la planta, con excepción del capital de trabajo (Blank & Tarquin, 2005).

Este conjunto de gastos en recursos materiales y humanos expresados en términos financieros o económicos constituyen los costos de inversión de la alternativa o de la variante de solución para problema planteado.

Depreciación: Es uno de los elementos del costo de operación cuyas causas fundamentales son la obsolescencia física y moral de los equipos que componen la planta así como la planta en su conjunto. El método más usual para el cálculo de la depreciación, es el método por línea recta. (Blank & Tarquin, 2005)

$$DLR = \frac{\text{Costo Inicial del Activo}}{\text{vida útil}} \quad (3.2)$$

Siendo:

DPL: Depreciación por Línea Recta

Las leyes tributarias también reglamentan las cuotas anuales a deducir como depreciación basada en el método de línea recta y establecen los porcentajes para los edificios equipos de transporte y maquinaria.

Valor de Salvamento (VS): Según Urbina (2005) representa el valor estimado que se tendrá después de que todos los activos fijos de la inversión inicial se terminen de depreciar (cuando cese la vida útil de los activos).

$$VS = I_0 - \sum_{i=1}^{n=15} \text{Depreciación} \quad (3.3)$$

Siendo:

I_0 : Inversión Inicial en el año cero

Costos de Operación: Para fines de este estudio, los costos de operación se consideran todos aquellos costos que se incurren en la operación de plantas de tratamientos de aguas residuales, como son los costos de energía, químicos, combustible etc.

Costos de Mantenimiento: Es el precio pagado en concepto de las acciones realizadas para conservar o restaurar un bien o un activo a un estado específico (Urbina 2005).

Costos Administrativos: Estos costos están constituidos por los gastos económicos relacionados con las actividades de carácter administrativo y de dirección de la planta y está constituido, entre otros, por los salarios del personal, costos de materiales de oficina, etc.

Costos Financieros: Los costos financieros son las retribuciones que se deben pagar como consecuencia de la necesidad de contar con fondos para mantener en el tiempo activo que permitan el funcionamiento operativo de la planta. Dichos activos requieren financiamiento, y así existen terceros (acreedores) o propietarios (dueños), que aportan dinero (pasivos y patrimonio neto, respectivamente, según la óptica contable) quienes demandan una compensación por otorgarlo, dado que el dinero tiene un valor en el tiempo (Assakkaf, 2000).

Tasa de Interés: Se refiere al cociente entre el porcentaje de interés al principal. Cada banco puede determinar su propia tasa de interés de los préstamos, pero en la práctica las tarifas locales son casi las mismas de banco a banco (BCN, 2013). En general, las tasas de interés aumentan en épocas de inflación, una mayor demanda de crédito, suministro de dinero, o debido a las mayores exigencias de reservas para los bancos (Urbina 2005).

Inflación: Un aumento persistente en el nivel de precios al consumidor o la disminución persistente en el poder adquisitivo de la moneda, causada por un aumento de la moneda y el crédito disponible más allá de la proporción de bienes y servicios disponibles (Urbina 2005).

Premio al Riesgo²: Se denomina así, a la diferencia entre la rentabilidad esperada de un activo financiero de máxima calidad crediticia y la tasa libre de riesgo (la inversión en un activo de renta fija a corto plazo). Para plantas de

²<http://www.edufinet.com>

tratamiento de aguas residuales generalmente el premio al riesgo se encuentra en el rango de 4% a 4.4% (SINIA, 2012).

Tasa Mínima Atractiva de Rendimiento (TMAR): La tasa mínima aceptable de rentabilidad depende de la situación sociopolítica y socioeconómica del país, y hace referencia a dos factores muy importantes: el índice inflacionario y el premio al riesgo (Urbina 2005).

La ecuación es la siguiente.

$$\text{TMAR} = \text{Inflación} + \text{Premio al Riesgo} \quad (3.4)$$

3.6.2. Métodos de Evaluación de Proyectos

En el enfoque costo eficiencia, el objetivo de la evaluación es identificar aquella alternativa de solución que presente el mínimo costo, para los mismos beneficios. Por ello, para poder aplicar este enfoque es fundamental poder configurar alternativas que entreguen beneficios comparables, de tal forma de poder evaluar cuál de ellas es más conveniente desde el punto de vista técnico-económico.

Este enfoque se aplica cuando existe dificultad para cuantificar y/o valorar los beneficios del proyecto, especialmente cuando esto conlleva la aplicación de juicios de valor. En estos casos, se reconoce que los beneficios son deseados por la sociedad y por lo tanto, el criterio a aplicar será el de mínimo costo. Por lo tanto, para la evaluación bajo un enfoque costo eficiencia no se valoran los beneficios, si no sólo sus costos involucrados.

Valor Actual de Costos (VAC): El valor actual de costos, permite compara alternativas de igual vida útil. Se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{VAC} = I_0 + \sum_{t=1}^{t=n} \frac{C_t}{(1+i)^n} \quad (3.5)$$

Siendo:

- I_0 : Inversión inicial en el año cero.
- i : Tasa de referencia que corresponde a la tasa mínima atractiva de rendimiento (TEMAR)
- C_t : Costo Total en el año n , que corresponde a todos los costos incurridos
- n : Número del año dentro del horizonte del proyecto

El criterio de decisión al utilizar el VAC es el siguiente: la alternativa de solución evaluada que presente el menor valor actual de costos, es la más conveniente desde el punto de vista técnico económico.

Costo Anual Uniforme Equivalente (CAUE): Es un método para la evaluación financiera de proyectos que convierte los costos de estos en una suma anual equivalente, descontada a la tasa mínima atractiva de retorno requerida.

$$CAUE = VAC * \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (3.6)$$

El criterio de aceptación al utilizar el CAUE es el siguiente: la alternativa de solución evaluada que presente el menor Costo Anual uniforme Equivalente, es la más conveniente desde el punto de vista técnico económico.

IV. CÁLCULO DE VARIABLES DE DISEÑO

En este capítulo se presentan las ecuaciones y variables de diseño que permiten llevar a cabo el diseño y dimensionamiento de cada unidad de tratamiento, además se establecen los criterios que se tomarán en cuenta para los cálculos de diseño de cada unidad.

4.1. Ecuaciones de Diseño

Canal de Entrada y Sistema de Rejillas

- **Cálculos del coeficiente de forma (k)**

$$k = \frac{Q \cdot n}{C^{8/3} \cdot S^{1/2}} \quad (4.1)$$

Donde:

C: Ancho del canal de entrada, [m]

k: Coeficiente de forma

Q: Caudal, [m³/s]

S: Pendiente del canal, [m/m]

n: Coeficiente de Manning, [s/m^{1/3}]

- **Profundidad del agua (d)**

$$d = 1.66240k^{0.74232}C \quad (4.2)$$

Donde:

d: Profundidad, [m]

C: Ancho del canal de entrada [m]

- **Radio hidráulico (R)**

$$R = \frac{c \cdot d}{c + 2d} \quad (4.3)$$

Donde:

R: Radio Hidráulico, [m]

- **Velocidad de escurrimiento (v)**

$$v = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (4.4)$$

Donde:

v: Velocidad, [m/s]

- **Perímetro húmedo (P_H)**

$$P_H = C + 2h^* \quad (4.5)$$

Donde:

P_H : Perímetro Húmedo, [m]

h^* : Altura por pérdidas del canal, [m]

- **Ancho del canal en la zona de rejillas (b)**

$$b = \left(\frac{c}{s} - 1\right)(s + a) + s \quad (4.6)$$

Donde:

b: Ancho del canal, [m]

c: Ancho del canal de entrada, [m]

s: Separación útil entre Barras, [m]

a: Ancho de los barrotes, [m]

- **Número de Barras (N)**

$$N = \frac{(b+s)}{(a+s)} \quad (4.7)$$

- **Pérdidas en las rejillas ecuación de Kirschmer (H)**

$$H = \beta * \left(\frac{a}{s}\right)^{4/3} * \frac{V^2}{2g} \text{ Sen}(\varnothing) \quad (4.8)$$

Donde:

β : Coeficiente de forma de barrotes

Cámara Desarenadora

- **Número de Reynolds (Re)**

$$Re = \frac{D_P * \vec{v}_s}{\vartheta} \quad (4.9)$$

Donde:

Re: Número del Reynolds

D_P : Diámetro de la Partícula, [cm]

ϑ : Viscosidad Cinemática, [cm²/s]

\vec{v}_s : Velocidad de Sedimentación, [cm/s]

- **Coeficiente de arrastre (C_D)**

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34 \quad (4.10)$$

Donde:

C_D : Coeficiente de Arrastre

- **Velocidad de sedimentación (V_s)**

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} \times \frac{g}{C_D} (S_g - 1) D_P} \quad (4.11)$$

Donde:

V_s : Velocidad de Sedimentación, [cm/s]

S_g : Gravedad Específica

g : Gravedad, [m²/s]

D_P : Diámetro de la partícula, [m]

- **Velocidad crítica (V_C)**

$$V_C = \sqrt{\frac{\beta}{f} g(S_g - 1) D_P} \quad (4.12)$$

Donde:

V_C : Velocidad Crítica, [m/s]

β : Constante del Material

f : Coeficiente de Fricción

- **Área superficial**

$$A_s = \frac{Q_{af} + Q_{ARL}}{V_C} \quad (4.13)$$

Donde:

Q_{af} : Caudal del afluyente, [m³/s]

Q_{ARL} : Caudal de agua del efluente del Espesador, [m³/s]

V_C : Velocidad Crítica, [m/s]

- **Longitud de la cámara desarenadora**

$$L = \frac{H \cdot V_C}{V_s} \quad (4.14)$$

Donde:

H : Altura total de la Cámara Desarenadora, [m]

Homogenización y Neutralización

- **Volumen máximo acumulado ($V_{\max(\text{ac})}$)**

$$V_{\max(\text{ac})} = V_{\text{Ex}} + V_{\text{ac}} \quad (4.15)$$

Donde:

V_{Ex} : Volumen Excedido, [m^3]

V_{ac} : Volumen Acumulado, [m^3]

- **Ajuste de pH y Cantidad de la Sal Requerida**

$$\text{pH} = \text{PKa} + \log \left[\frac{\text{HCO}_3^- / 61 \bar{F}_x}{\text{CO}_2 / 44 \bar{F}_x} \right] \quad (4.16)$$

$$[\text{sal}]_{\text{Requerida}} = x * \text{PM}_{\text{sal}} \quad (4.17)$$

Donde:

PKa: -Log del valor de la constante de equilibrio de disociación del ácido.

PM_{sal} : Peso molecular de la sal, [mg/mmol]

x: Concentración de la sal en [mmol/L]

Flotación por Aire Disuelto

- **Solubilidad del aire (S_a)**

$$S_a [\text{mL}/\text{L}] = \frac{S_{a2} - S_{a1}}{T_2 - T_1} (T - T_1) + S_{a1} \quad (4.18)$$

Donde:

S_a : Solubilidad del Aire, [cm^3 de aire/ L agua]

- **Relación entre la masa de aire y sólidos (A^*/S)**

$$A^*/S = \frac{1.2S_a(\text{FP}-1)}{X_o} \quad (4.19)$$

Donde:

A^* : Aire liberado por despresurización, [Kg/d]

S: Sólidos en el afluente, [Kg/d]

S_a : Solubilidad del Aire, [Kg/ m^3]

P: Presión de Funcionamiento, [atm]

F: Factor de Diseño

X_o : Concentración de Sólidos Totales, [Kg/ m^3]

Floculación

- **Ecuación de Van der Waals**

$$\left(P + \frac{a}{\bar{V}^2}\right)(\bar{V} - b) = RT \quad (4.20)$$

Donde:

Pd: Presión, [atm]

\bar{V} : Volumen Molar, [m³/mol]

T: Temperatura, [K]

a: Atracción entre las partículas

b: Volumen Medio Excluido por cada Partícula

$$a = \frac{27R^2T_c}{64P_c} \quad (4.21)$$

$$b = \frac{RT_c}{8P_c} \quad (4.22)$$

Donde:

R: Constante de Gases Ideales, [atm-L/mol-K]

T_c: Temperatura Crítica, [K]

P_c: Presión Crítica, [atm]

- **Potencia disipada por las burbujas (P_t)**

$$P_t = P_a V_a \ln \frac{P_d}{P_a} \quad (4.23)$$

Donde:

P_t: Potencia Disipada, [KW]

P_a: Presión Atmosférica, [KN/m²]

V_a: Volumen del Aire, [m³/s]

P_d: Presión de descarga, [KN/m²]

- **Gradiente de velocidad (G)**

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad (4.24)$$

Donde:

G: Gradiente de Velocidad, [seg⁻¹]

P: Potencia Disipada, [Watt]

μ: Viscosidad Cinemática, [N-s/m²]

V: Volumen del Floculador, [m³]

Sedimentadores

- **Longitud de la periferia (L_p)**

$$L_p = D_v * \pi \quad (4.25)$$

Donde:

D_v : Diámetro del Vertedero, [m]

- **Carga en el Vertedero (C_v)**

$$C_v = \frac{Q_{i_s}}{L_p} \quad (4.26)$$

Donde:

Q_{i_s} : Caudal Individual de los Sedimentadores, [m³/s]

- **Número de Vertederos (N_v)**

$$N_v = \frac{L_p}{d} \quad (4.27)$$

Donde:

d : Diámetro externo de los Sedimentadores, [m]

- **Caudal Individual por Vertederos (Q_{iv})**

$$Q_{iv} = \frac{Q_{i_s}}{N_v} \quad (4.28)$$

Donde:

N_v : Número de Vertederos.

Filtros Percoladores

- **Volumen del filtro 1 (V_1)**

$$E_1 = \frac{100}{1 + 0.532 \sqrt{\frac{W_1}{V_1 F_R}}} \quad (4.29)$$

Donde:

E_1 : Eficiencia del Filtro 1,

F_R : Factor de Recirculación en el Filtro

W_1 : Carga de DBO en el Filtro 1, [Kg/d]

V_1 : Volumen del Filtro 1, [m³]

- **Factor de recirculación (F_R)**

$$F = \frac{1+r}{(1+0.1*r)^2} \quad (4.30)$$

Donde:

r: Radio de Recirculación, [Q_r/Q]

- **Carga hidráulica (HLR)**

$$HLR = (1 + F_R) * \frac{Q}{A} \quad (4.31)$$

Donde:

HLR: Carga Hidráulica, [$m^3/m^2.d$]

Q: Caudal, [m^3/d]

A: Área del Filtro, [m^2]

- **Volumen del filtro 2**

$$E_2 = \frac{100}{1 + \frac{0.532}{1-E} \sqrt{\frac{W_2}{V_2 F_R}}} \quad (4.32)$$

Donde:

E: Eficiencia total del Sistema de Filtros Percoladores

E_2 : Eficiencia del Filtro 2

W_2 : Carga de DBO en el Filtro 2, [Kg/d]

V_2 : Volumen del Filtro 2, [m^3]

Espesador

- **Área del Espesador por Gravedad (A)**

$$A = \frac{Q_L}{C_h} \quad (4.33)$$

Donde:

Q_L : Caudal de Lodos, [m^3/d]

C_h : Carga Hidráulica, [$m^3/m^2.d$]

Porcentaje del Caudal Reducido ($\%Q_R$)

$$\%Q_R = \frac{Q_L - Q_{LR}}{Q_L} * 100\% \quad (4.34)$$

Donde:

Q_{LR} : Caudal de Lodo Residual, [m^3/d]

Factor de Concentración (Fc)

$$F_c = \frac{\% \text{Sólidos Secos}}{\% \text{Sólidos Secos a la Entrada}} \quad (4.35)$$

Filtro de Banda

- **Carga métrica de sólidos (CMs)**

$$CM_S = \frac{SSP}{W_e} \quad (4.36)$$

Donde:

CM_S: Carga Métrica de Sólidos, [Kg/m-d]

W_e: Ancho de la Banda, [m]

SSP: Sólidos Secos Producidos, [Kg/h]

- **Flujo óptimo en la banda (F_{OB})**

$$F_{OB} = \frac{Q_L}{24} \quad (4.37)$$

Donde:

F_{OB}: Flujo óptimo en la Banda, [m³/h]

Q_L: Caudal de Lodos, [m³/d]

- **Carga hidráulica de la banda (H_{LB})**

$$H_{LB} = \frac{F_{OB}}{W_e} \quad (4.38)$$

Donde:

H_{LB}: Carga Hidráulica de la Banda

4.2. Criterios de Diseño

Canal de Entrada

Tabla 4.1 Criterios de Diseño del Canal de Entrada.

Parámetro	Unidad	Criterio
Velocidad (V)	m/s	0.7-2
Ancho del Canal (bc)	m	0.3-0.7

Fuente: (Netto, 1998).

Rejillas

Tabla 4.2 Criterios de Diseño de las Rejillas.

Parámetro	Unidad	Criterio
Cribas con Rejillas Espaciamiento	mm	15-45
Espesor de las Barras (Circulares)	mm	10
Velocidad en la Rejilla (V)	m/s	0.6-1.2
Espaciamiento Manual de Limpieza manual entre las Barras (S)	cm	0.64-5.08
Pendiente con la Horizontal (s)	m	0.01-0.1
Altura de las Rejillas (Hr)	m	1 a 1.1
Borde Libre (BL)	m	0.3-0.5
Angulo de Inclinación (θ°)	grados	30-60
Ancho del Canal de Entrada (c)	m	0.3-0.5
Ancho de Barrotes (a)	cm	2-5

Fuente: (Netto, 1998).

Desarenador

Tabla 4.3 Criterios de Diseño del Desarenador.

Parámetro	Unidad	Criterio
Tiempo de Detención (θ_d)	s	45-90
Velocidad Horizontal	m/s	0.25-0.4
Velocidad de Sedimentación	m/min	1-1.3
0.150 Mesh del Material	m/min	0.6-0.9
Perdida de Carga en Porcentaje de Profundidad	%	30-40
Longitud Incrementada para el Control de la Turbiedad	%	25-50
Relación: Ancho (w) / Profundidad (h)	m	1.5-1
Constante del Material, β		0.04
Factor de Fricción, f		0.03

Fuente: (Lin, 2007)& (Metcalf & Eddy, 2003).

Sistema de Flotación con Aire Disuelto

Tabla 4.4 Criterios de Diseño del Sistema de Flotación por Aire Disuelto.

Parámetro	Unidad	Criterio
Carga Superficial (Cs)	m ³ /m ² -min	0.08-0.16
Relación A/S	-	0.005-0.06
Factor f		0.5-0.8

Fuente: (Ramalho, 2003).

Floculación

Tabla 4.5 Criterios de Diseño del Floculador.

Parámetro	Unidad	Criterio
Gradiente de Velocidad Promedio Para Sistemas Neumáticos (Gv)	1/s	<200

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003).

Filtro Percolador

Tabla 4.6 Criterios de Diseño del Filtro Percolador.

	Tasa Baja	Tasa Intermedia	Tasa Alta	Super Alta Tasa	Rugoso	Dos Etapas
Medio Filtrante	Roca, escoria	Roca, escoria	Roca	Plástico	Plástico, madera roja	Roca, plástico
Carga Hidráulica, m ³ /(m ² d)	1.0 - 3.7	3.7 - 9.4	9.4 - 37.0	14.0 - 84.0	47.0 - 187.0	9.4 - 37.0
Carga Orgánica, kg DBO ₅ /(m ³ d)	0.08 - 0.4	0.24 - 0.48	0.32 - 1.0	0.8 - 6.0	1.6 - 8.0	1.0 - 2.0
Profundidad, m	1.8 - 2.4	1.8 - 2.4	0.9 - 1.8	3.0 - 12.0	4.6 - 12.0	1.8 - 2.4
Tasa de Recirculación	0	0 - 1	1 - 2	1 - 2	1 - 4	0.5 - 2
Eficiencia de Remoción de DBO ₅ , %	80 - 90	50 - 70	65 - 85	65 - 80	40 - 65	85 - 95
Efluente	Bien nitrificado	Parcialmente nitrificado	Poca nitrificación	Poca nitrificación	No nitrificación	Bien nitrificado
Desprendimiento	Intermitente	Intermitente	Continuo	Continuo	Continuo	Continuo

Fuente: (Lin, 2007).

• Tratamiento de lodos

Tabla 4.7 Criterios de Tratamiento de Lodos.

Parámetro	Unidad	Criterio		
		primarios	Secundario	Avanzada
Lodos				
Cantidad Generada de Agua Residual	L/m ³	2.5-3.5	15-20	25-30
Contenido de Sólidos	%	3-7	0.5-2	0.2-1.5
Contenido Orgánico	%	60-80	50-60	35-50
Manejo		Fácil	Difícil	Difícil
Lodos Deshidratados por el Filtro de Bandas				
Sólidos en la Alimentación	%	3-7	3-6	
Sólidos en la Torta	%	28-44	20-35	

Fuente: (Lin, 2007).

V. MATERIAL Y MÉTODO

En este capítulo se presenta la metodología que se implementó para el diseño de la PTAR de la Industria Textil S.A., donde se aborda cada objetivo planteado: la caracterización del agua residual, cuantificación del caudal, selección y pre-diseño del sistema de tratamiento, cálculos y balances de contaminantes de cada una de las etapas de tratamiento, así como también la determinación de la rentabilidad económica del proyecto.

En este estudio se presenta un diseño tecnológico el cual contiene una sección de investigación descriptiva, ya que se realizó el análisis de los parámetros fisicoquímicos del efluente de la industria, y se midió de forma independiente cada uno de los parámetros. Esta investigación se realizó con un diseño muestral simple, por lo que se extrajo la información de una muestra única, y dicha muestra no se volvió a utilizar. El universo de estudio fue el agua residual de la Industria Textil S.A.

5.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

La caracterización llevó consigo el análisis de todos los parámetros exigidos por el decreto, además del nitrógeno total ya que es necesario para los cálculos de balances en el tratamiento biológico. Los análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la FIQ, como también en la misma industria. A continuación se presenta la metodología implementada.

5.1.1. Punto y Frecuencias de Muestreo

Las muestras se tomaron durante los meses de Enero a Marzo del 2013, realizando cuatro muestreos compuestos. El punto de muestreo fue el canal de vertido, lugar donde convergen y se mezclan todos los efluentes líquidos de los diferentes procesos involucrados en el acabado textil, como se muestra en la Figura 5.1. Se tomó la muestra en este punto para asegurar la uniformidad de todos los compuestos presentes, colectando un 10% de la muestra cada 2.4 h durante un periodo de 24 horas, hasta obtener la muestra compuesta y lista para proceder a los análisis.

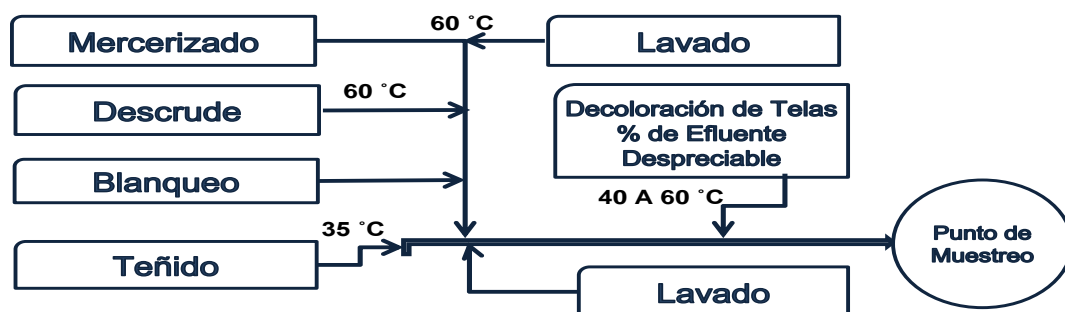


Figura 5.1 Esquema de las Líneas de Efluentes de la Industria Textil.

Según información brindada por la industria los procesos descruce y mercerizado juntos aportan un 35% del agua residual total mientras un 65 % proviene de los procesos de blanqueo, teñido y lavado de las telas.

5.1.2. Variables a Estudiar

En la Tabla 5.1 se presenta la lista de las variables del caso en estudio como también los métodos a los cuales se acudió para el análisis de cada variable. La metodología implementada para la realización de cada uno de los análisis se encuentra descrita en Standard Methods for Water and Wastewater Examination (SM) y el Manual HACH DR 5000 (HACH) según corresponda.

Tabla 5.1 Métodos de Medición o Análisis para las Variables de Estudio.

Parámetro	Lugar de Medición	Método
Temperatura (°C)	<i>In Situ</i>	Termómetro
pH	<i>In Situ</i>	Electroquímico
Color (mg/L Pt-Co)	Laboratorio	Espectrofotometría HACH-8025
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	Laboratorio	SM-2540B
Sólidos Sedimentables (mg/L)	Laboratorio	SM-2540F
DBO ₅ (mg/L)	Laboratorio	Oxitop
DQO (mg/L)	Laboratorio	Espectrofotometría HACH-8000
Cromo Total (mg/L)	Laboratorio	Absorción Atómica Espectroscopía
Cromo Hexavalente (mg/L)	Laboratorio	Absorción Atómica Espectroscopía
Plomo Total (mg/L)	Laboratorio	NR
Sulfuros (mg/L)	Laboratorio	Espectrofotometría HACH-8131
Sulfitos (mg/L)	Laboratorio	Espectrofotometría HACH-Colorimétrico
Zinc (mg/L)	Laboratorio	Absorción Atómica Espectroscopía
Nitrógeno de Amoniacal (mg/L)	Laboratorio	Espectrofotometría HACH-8038
Fósforo Total (mg/L)	Laboratorio	Espectrofotometría HACH-10127
Fenoles (mg/L)	Laboratorio	Espectrofotometría HACH-8047
Detergentes (mg/L)	Laboratorio	Espectrofotometría HACH-8028
Aceites y Grasas Totales (mg/L)	Laboratorio	SM-5520D

5.1.3. Técnicas de Obtención de Datos

Las técnicas utilizadas para la obtención de la información fueron las siguientes:

Recopilación de Datos: Se obtuvo datos de parámetros de contaminantes como también de operación (caudal del agua residual por medio del consumo) que fueron facilitados por la Industria Textil S.A. lo que contribuyó a la base de datos para la caracterización del agua residual.

Análisis In situ: En este análisis se obtuvo información durante la toma de muestras a través de fichas de campo como se observa en el Anexo A.

Análisis de Laboratorio: En este análisis se determinaron todos los parámetros físicos y químicos del agua residual mediante los respectivos métodos de análisis para las variables de estudio presentados en la Tabla 5.1.

5.1.4. Procesamiento de la Información

En cada muestreo se realizaron tres réplicas por parámetro analizado, para aumentar la confiabilidad de los análisis, a los cuales se les aplicó las medidas de tendencia central y de dispersión, como son:

La Media (\bar{X}): Es una medida de tendencia central que denota el promedio de un conjunto de datos.

$$\bar{X} = \frac{\sum_i x_i}{n} \quad (5.1)$$

Varianza (S^2): Es una función de los desvíos de cada x_i con respecto a la media muestral (\bar{X}).

$$S^2 = \frac{\sum_i (x_i - \bar{X})^2 n_i}{n} \quad (5.2)$$

Donde:

x_i : Datos de la Muestra

n_i : Número de Muestras por dada x_i

n : Número Total de Muestras

Desviación Estándar (θ): Es una medida de dispersión que se obtiene como la raíz cuadrada de la Varianza.

$$\theta = \sqrt{S^2} \quad (5.3)$$

Se obtuvo un valor promedio para cada parámetro evaluado y estos fueron comparados con los parámetros del Art. 43 del Decreto 33-95 (Anexo C).

5.2. CÁLCULO DE CAUDAL DE DISEÑO

La Industria Textil S.A. facilitó un registro de datos de consumo de agua promedio para cada uno de los 12 meses del año 2012, registros que contaban con el promedio de horas trabajadas por mes. Además se realizaron mediciones de caudal por hora a la salida del canal, utilizando un medidor de flujo que permitió tener una noción del caudal pico y además corroborar los datos históricos proporcionados por la industria.

Teniendo en cuenta que, la Industria Textil S.A. espera un aumento del 30% en su producción dentro de quince años con incrementos del 2% anual y por lo tanto un aumento proporcional del consumo de agua, se proyectó el caudal de diseño máximo obtenido de los 4 muestreos, para un periodo de 15 años con la ecuación geométrica.

$$Q_n = Q_0 * (1 + i)^n \quad (5.4)$$

5.3. SELECCIÓN DEL TREN DE TRATAMIENTO

La selección del tratamiento depende de muchos factores que se deben considerar para una apropiada toma de decisión, uno de estos fue la relación DBO/DQO la cual permitió seleccionar mediante la Figura 5.1 el tipo de tratamiento que se debe aplicar. También se elaboró una matriz de selección para los dos sistemas de tratamiento propuestos para el agua residual de la Industria Textil S.A.

Estimación de la Relación DBO/DQO

Para la estimación la relación DBO/DQO se aplicó los tres criterios que se muestran a continuación:

$$\text{Si } \frac{DBO}{DQO} > 0.6 \quad (5.5)$$

Existe una contaminación altamente orgánica y es necesario someter el agua residual a un proceso biológico.

$$\text{Si } 0.3 \leq \frac{DBO}{DQO} \leq 0.6 \quad (5.6)$$

Existe la posibilidad de aplicar un proceso mixto con tratamiento biológico y químico.

$$\text{Si } \frac{DBO}{DQO} < 0.3 \quad (5.7)$$

El agua residual contiene mayoritariamente contaminantes no biodegradables y por tanto se requiere un proceso avanzado o químico.

La Figura 5.2 muestra el algoritmo que se utilizó para la selección del tipo de tratamiento con la relación (DBO/DQO) de los resultados obtenidos.

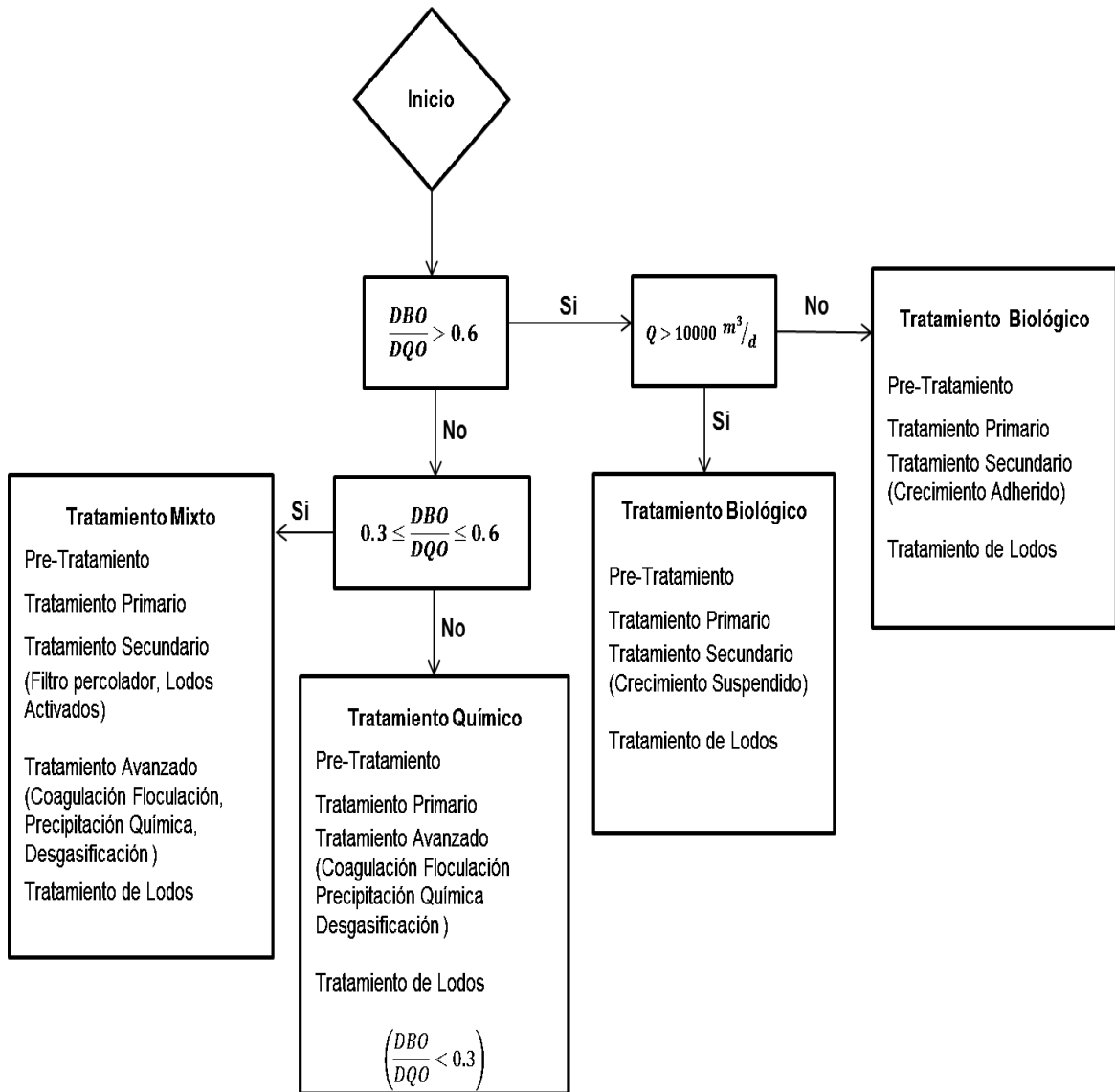


Figura 5.2 Algoritmo de Selección del Tipo Tratamiento.

Una vez seleccionado el tipo de tratamiento se propuso dos trenes de tratamiento que presentan las unidades necesarias para tratar el agua residual en cuestión. Se abordó diversos aspectos en una matriz de selección tales como: eficiencia, costos, mantenimiento, disponibilidad de área para construcción, etc.

5.4. CÁLCULOS Y BALANCES DE CONTAMINANTES

Se realizaron los cálculos y balances de contaminantes necesarios en cada una de las etapas del tratamiento seleccionado.

Las ecuaciones utilizadas para el procesamiento y análisis de la información en los cálculos de balances de contaminantes se reflejan a continuación:

$$C_R = C_e * \%Remoción \quad (5.8)$$

$$C_S = C_e - C_R \quad (5.9)$$

$$\%Remoción = \frac{C_e - C_S}{C_e} * 100\% \quad (5.10)$$

Donde:

C_R : Concentración Removida

C_e : Concentración de Entrada

C_S : Concentración de Salida

En la Tabla 6.3 del capítulo presentación y discusión de los resultados se muestran los balances totales y parciales en el proceso de tratamiento.

5.5. PRE-DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

El Pre-diseño del sistema de tratamiento consistió en el diseño y dimensionamiento de cada unidad de tratamiento, mediante los cálculos de las variables de diseño como Tiempo de Retención (θ_R), Carga Hidráulica (HRLT), Velocidad Superficial (V_s), etc.

Se requirió del análisis minucioso de cada uno de los criterios de diseño establecidos por la literatura. Además, se diseñó cada unidad de tratamiento con respecto al caudal de diseño y la carga de los contaminantes a reducir. De igual manera, se precisó el cumplimiento de los criterios de aceptación como relación diámetro-altura, longitud-ancho o profundidad en los equipos.

5.6. EVALUACIÓN ECONÓMICA

La realización de la evaluación económica, se llevó a cabo mediante un análisis de costo eficiencia, entre dos alternativas:

Alternativa 1: Representa la opción de seguir tratando el agua por medio de contrato con la Empresa Nacional Acueductos y Alcantarillados, para lo cual fue necesario calcular los costos totales anuales, que corresponden a los costos de tratamiento de DQO y ST, cuyo costo de tratamiento por kilogramo se presenta en la Tabla 5.2

Tabla 5.2 Tarifa Impuesta por ENACAL.

Parámetro	Costo (C\$)	Costo (\$)
1Kg (DQO)	C\$ 1.51	\$ 0.060
1Kg (ST)	C\$ 1.72	\$ 0.070

Fuente: (Resolución No. CD-RE-0.36-2007, 2007).

Los costos por tratar el agua residual con ENACAL corresponden a:

- Costo por Carga de Contaminantes Base: El cual resultará de evaluar el volumen del efluente industrial crudo, con respecto a la concentración de los parámetros máximos permisibles del Art. 43 del Decreto 33-95.
- Costo por Carga Contaminante en Exceso: Este se calcula respecto a las concentraciones excedidas a los valores máximos permisibles de dicho decreto.

Por lo tanto, el costo total del tratamiento para la empresa corresponde a la suma de ambos costos. Para el cálculo de los costos totales se tomó como base la concentración promedio de la DQO y ST, y junto con las proyecciones de caudal se calculó la carga total de contaminantes para cada año del horizonte del proyecto. Con las cargas obtenidas para los 15 años y las tarifas se prosiguió al cálculo de los costos totales de la alternativa 1 en un horizonte de 15 años.

Alternativa 2: Corresponde a la ejecución y puesta en marcha del proyecto, para el análisis de esta fue necesario obtener los costos totales asociados al mismo, que incluye los costos de: inversión, operación, administrativos, financiamiento y de tratamiento residual, como también el costo de depreciación anual de los activos fijos y el valor de salvamento de dichos activos.

Los costos de inversión asociados a la construcción y puesta en marcha de las instalaciones de la planta de tratamientos de aguas residuales para la Industria Textil S.A., se calcularon mediante catálogos, cotizaciones y ecuaciones de ajustes estadísticos (SINIA, 2012) como las que se presentan a continuación.

$$I_{\text{Filtro Percolador}} = 0.01742 * Q^2 + 26.146 * Q + 5558.5 \quad (5.11)$$

$$I_{DAF} = 3772.2 * Q^{0.8967} \quad (5.12)$$

Habiendo obtenido valor total que corresponden a los activos fijos en la inversión, se realizaron los cálculos de depreciación y valor de salvamento por medio de las ecuaciones 3.2 y 3.3.

Los costos totales de operación del sistema de tratamiento por cada año del horizonte de proyecto se obtuvieron mediante: proyecciones de precios de energía, combustible e incremento del dólar con respecto al córdoba, así como también los requerimientos de los mismos, que permitió la cuantificación de los

costos de operación de la planta, (químicos, energía, combustible y análisis de laboratorios). Todo esto se realizó por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Costos}_Q = \sum \text{Requerimiento} * Q * \text{PU} \quad (5.13)$$

$$\text{Costos}_E = Q * R_E * \text{PU} \quad (5.14)$$

$$\text{Costos}_A = \text{PU} * 4 \quad (5.15)$$

$$\text{Costos}_C = \frac{\text{Distancia}}{\text{Consumo}} * \text{PU} \quad (5.16)$$

Mientras que los costos de mantenimiento determinaron tomando un 15% de los costos totales de operación.

Los costos administrativos se calcularon por medio de la sumatoria de los salarios del personal requerido para la operación y funcionamiento de la planta de tratamiento como lo son: jefe, operarios y encargados de mantenimiento entre otros.

Los costos financieros se cuantificaron teniendo en cuenta la forma de amortización de la deuda, tasa de interés y porcentaje de financiamiento establecidos por la institución bancaria, además se tomó en cuenta el premio al riesgo de invertir en el país y la inflación acumulada, la cual se determinó mediante la proyección de los últimos años registrados (2010-2012) hacia el horizonte del proyecto.

Se calculó el costo por tratamiento residual, que corresponde al tratamiento de la carga de contaminantes residual al final del sistema de tratamiento, que deberá pagarse a ENACAL. Dicha carga se determinó mediante los balances de contaminantes en cada unidad de tratamiento y se multiplicó la tarifa impuesta por la empresa para cada uno de los años del horizonte del proyecto.

Para la determinación de la rentabilidad económica del proyecto se utilizaron los métodos de evaluación financiera de eficiencia costo descritos en la sección 3.6 del presente documento.

VI. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En esta sección se presentan los resultados, análisis y discusiones que conllevan a la confiabilidad de aceptación del proyecto en estudio y la verificación de la rentabilidad del mismo.

6.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA TEXTIL

La caracterización permitió determinar el tipo de contaminación existente en el agua, y confirmar lo esperado, dado el uso de diferentes productos químicos utilizados en el proceso productivo del teñido y acabado de telas, como son las sales, surfactantes, detergentes, resinas, fijadores etc. Se obtuvo como principales contaminantes: altas concentraciones de SDT, DQO, y Color, en promedios de 7629.0, 3389.5, y 3239.3 mg/L respectivamente. Estos parámetros son los promotores del mal aspecto y degradación de la vida en los sistemas acuíferos.

La alta concentración de SDT se debe al uso de sales dentro del proceso, como es el caso del mercerizado en el cual se usa grandes cantidades de soda cáustica para darle mayor afinidad a los colorantes. Esto explica el elevado valor de pH entre 8.5-10 del agua residual, con alta alcalinidad. Debido a que el teñido de telas es un proceso mayoritariamente químico, provoca que las concentraciones de DQO sean bastantes altas, y el color se encuentre extremadamente fuera del rango permisible.

La relación DQO/DBO resultó de 0.35, debido a que las concentraciones de SST, en promedio de 436.9 mg/L que representan el 60% de la DBO, son bajas, comparadas con las de los SDT. Esto indica que existe un menor contenido de sólidos biodegradables en el agua residual caracterizada y alto contenido de contaminantes tóxicos.

Otro aspecto que se pudo corroborar fue la utilización de tintes orgánicos por la industria en el proceso de teñido, ya que las concentraciones de metales resultaron menores que 0.5 mg/L o en algunos casos despreciables con los métodos analíticos para la determinación de cada uno de ellos. El plomo no se logró determinar por falta de medios, pero según lo mencionado por la industria del uso de tintes orgánicos y con los valores obtenidos para los demás metales analizados, se espera que la presencia de metales dentro del agua residual de la Industria Textil S.A se encuentre por debajo de 0.5 mg/L.

Las concentraciones de DBO, Nitrógeno, y Fósforo resultaron de 1169.8, 38.4, 8.6 mg/L respectivamente. Partiendo de estas concentraciones y mediante los cálculos de balances de contaminantes se estima una relación de 100:6:1.5 que corresponde a los parámetros posteriores a la depuración primaria.

La Tabla 6.1 muestra todos los aspectos considerados anteriormente y la comparación de los parámetros promediados con respecto a los valores máximos permisibles por el Art. 43 del Decreto 33-95, como también las unidades que se tendrán que remover para mantenerse dentro de los valores permisibles.

Tabla 6.1 Comparación de los Valores Promedios con el Art. 43.

Parámetro	Valor Promedio	Valores Máximos Permisibles por el Art.43 Decreto 33-95	Unidades a remover
Temperatura (°C)	30	40	0
pH	9.4	6 – 9	0.400
Color (mg/L Pt-Co)	3239.3	200.0 (Ninguna coloración visible de las aguas residuales)	3039.3
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	436.9	100.0	336.9
Sólidos Sedimentables (mg/L)	ND	1 mL/L	0
DBO5 (20 °C y filtrada) (mg/L)	1169.8	75.0	1094.8
DQO (mg/L)	3389.5	250.0	3139.5
Cromo Total (mg/L)	0.163	1.0	0
Cromo Hexavalente (mg/L)	0.022	0.500	0
Plomo Total (mg/L)	-	0.500	0
Sulfuros (mg/L)	0.650	1.0	0
Sulfitos (mg/L)	5.6	1.0	4.6
Zinc (mg/L)	0.280	2.0	0
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	14.1	10.0	4.1
Fósforo Total (mg/L)	8.6	2.0	6.6
Fenoles (mg/L)	16.7	0.500	16.2
Detergentes (mg/L)	17.8	2.0	15.8
Aceites y Grasas Totales (mg/L)	31.0	15.0	16

6.2. CÁLCULO DE CAUDAL DE DISEÑO

El caudal de diseño se estimó realizando una proyección a 15 años, la industria espera un aumento en la producción de un 30% y, según información otorgada por la misma, se espera que el consumo de agua crezca proporcionalmente a la producción. Con los valores obtenidos presentados en la Tabla D.1 del Anexo D se obtuvo el caudal máximo de los cuatro muestreos realizados siendo este de 21.0 L/s, el cual se tomó como base para las proyecciones futuras incrementado en un 2% anual hasta obtener el caudal de agua residual (Q_{AR}) del último año del horizonte de proyecto. Además se previó un incremento adicional del 10%, como margen de seguridad resultando Q_{AR} final igual a 31.0 L/s. Todo esto se llevó a cabo para evitar sub-diseñar la planta y asegurar que alcance amortiguar cualquier fluctuación de caudal.

Según Metcalf & Eddy (2003), para este tipo de industrias, el 85% del consumo de agua dentro del proceso productivo se convierte en agua residual. Esta estimación se tomó en consideración para obtener los caudales de agua residual por día, a partir de los datos históricos de consumo de agua otorgados por la industria que se reflejan en la Tabla D.2 (Anexo D), misma que contiene el promedio de horas trabajadas por día para cada mes del año 2012.

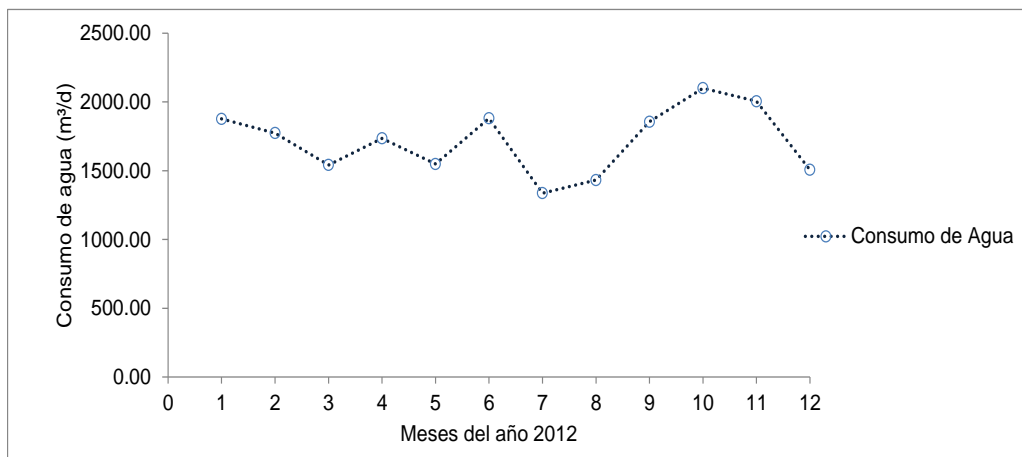


Figura 6.1 Consumo de Agua Promedio por Meses del Año 2012.

La Figura 6.2 presenta los caudales obtenidos en cada muestreo realizado, se puede observar que el tercer muestreo contiene los valores máximos por hora de caudal medido.

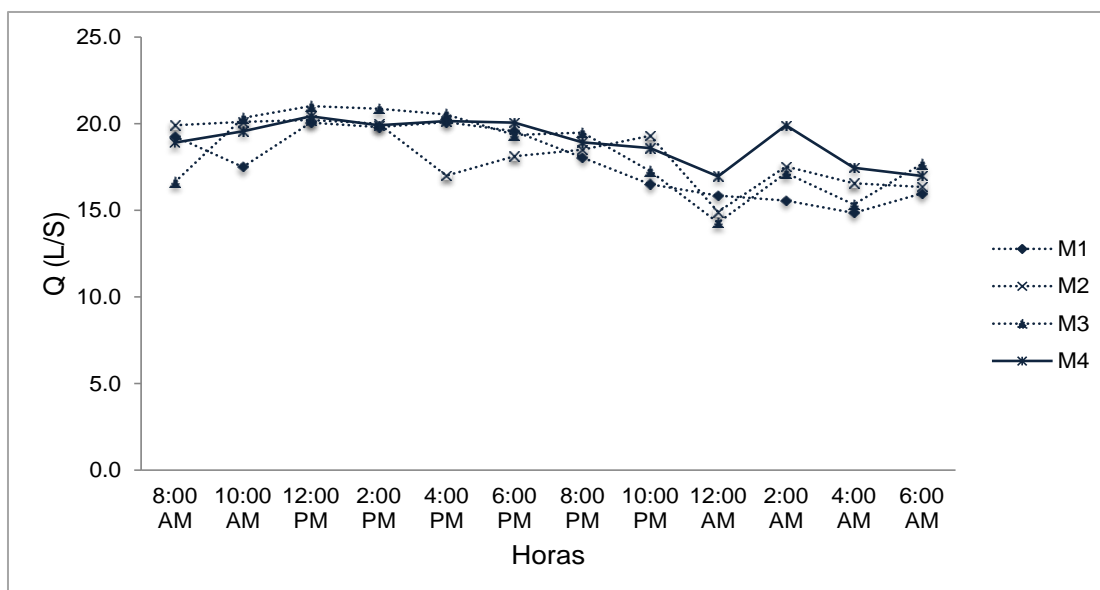


Figura 6.2 Comportamiento del Caudal en los Cuatro Muestreos Realizados.

6.3. SELECCIÓN DEL TREN DE TRATAMIENTO.

La relación DBO/DQO de 0.35 indica que es necesario un tratamiento mixto (Fisicoquímico y Biológico), ya que en este caso el agua contiene mayoritariamente contaminantes no biodegradables y partículas muy finas que son difíciles de sedimentar. Esta particularidad conlleva a la necesidad de un tratamiento primario con coagulación química, que permita remover SDT, DQO, y Color principalmente. Además, el caudal de diseño no supera los 10,000 m³/d, por lo tanto, se puede aplicar un tratamiento biológico ya sea de crecimiento adherido o crecimiento suspendido para eliminar la materia biodegradable del agua residual.

Las alternativas propuestas para el tratamiento en la línea de agua y línea de lodos, se muestran a continuación.

Primera Alternativa TT1³

La primera alternativa constaría de un tratamiento preliminar que incluye un sistema de rejillas y una cámara desarenadora, con el objetivo de remover cualquier partícula mayor a 100 µm. El tratamiento primario se llevará a cabo mediante la operación de flotación por aire disuelto con coagulación-floculación integrada. Aunque esta opción presentaría altos costos de operación su eficiencia de remoción de contaminante supera casi en un 50% (Ramalho, 2003) al tratamiento convencional e incrementa la velocidad de remoción de los lodos. El tratamiento biológico constaría de un sistema de filtros percoladores, que permite la estabilización de lodos, seguido de un clarificador secundario. Este tratamiento de crecimiento adherido se destaca por sus altas remociones de

³ Tren de Tratamiento 1

DBO como de color, además es accesible con las limitaciones de espacio para su construcción. Los costos de inversión son altos para el sistema de filtros percoladores pero presenta bajos costos de operación debido a que no requiere de un suministro continuo de aire.

Para el fácil manejo y deposición de los desechos sólidos, incluiría un tratamiento para lodos, provenientes del sistema primario y secundario, mediante un espesador de gravedad seguido un filtro de banda, esto con el objetivo de remover la mayor cantidad de agua y así facilitar el transporte de los lodos. La Figura 6.3 presenta el TT1 propuesto para la línea de agua y la Figura 6.4 para la línea de lodos.

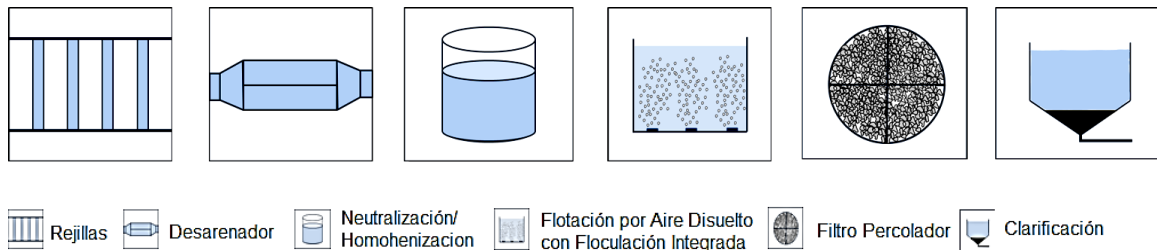


Figura 6.3 Línea de Agua del TT1.

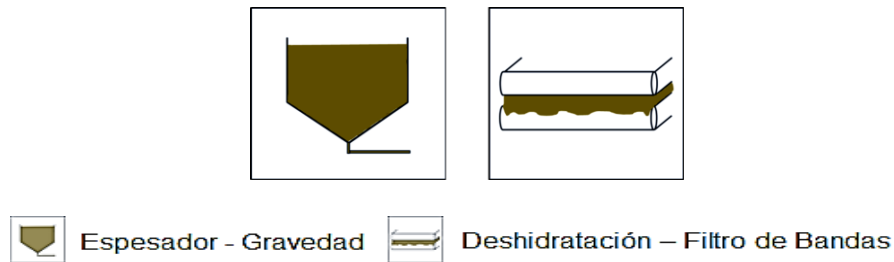


Figura 6.4 Línea de Lodos TT1.

Segunda Alternativa TT2⁴

Esta alternativa incluiría el mismo sistema preliminar de la alternativa anterior difiriendo el tratamiento primario en la operación de sedimentación convencional; aunque los costos de inversión y operación son menores que los de operación por flotación, sus remociones no son suficientemente altas y presenta problemas de depuración de partículas demasiado finas o en forma coloidal. El tratamiento secundario incluye un tratamiento biológico por suspensión, mediante un sistema de lodos activados. Estos reactores presentan altas eficiencias de remoción de carga orgánica biodegradable y sus costos de inversión son relativamente bajos, pero requiere de altos costos de bombeo de recirculación de lodos y suministro de aire.

⁴ Tren de Tratamiento 2

El tratamiento lodos constaría de un espesador y filtro de banda, además una etapa de estabilización mediante un reactor aerobio para los lodos con malos olores provenientes del sistema de lodos activados.

En la Figura 6.5 se presenta el tren de tratamiento de la segunda alternativa para la línea de agua y la Figura 6.6 para la línea de lodos:

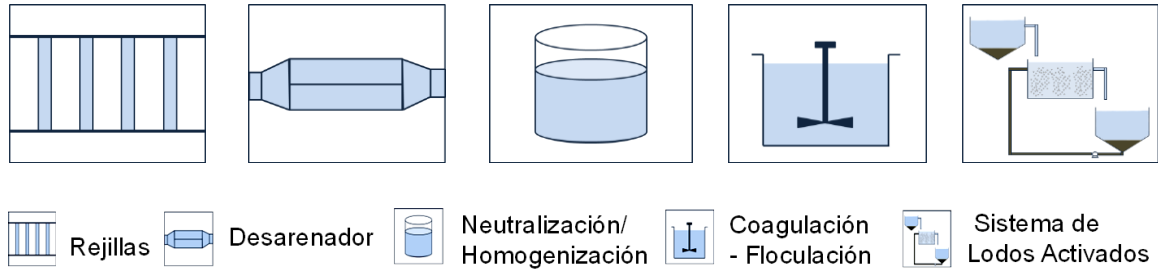


Figura 6.5 Línea de Agua TT2.

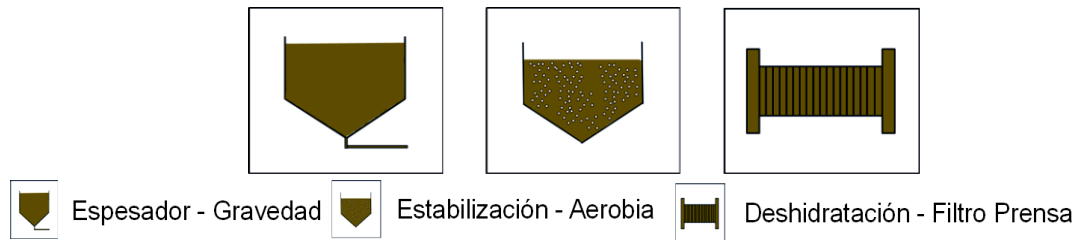


Figura 6.6 Línea de Lodos TT2.

Cada tren fue propuesto con el objetivo principal de remover los contaminantes presentes en el agua, la selección del tren más idóneo se hizo por medio de la calificación de los aspectos de selección que se muestra en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Matriz de Selección.

Aspectos de Selección	Clasificación	TT1	TT2
Costos de Inversión	Bajo		
	Moderado		(+)
	Alto	(-)	
Costos de Operación	Bajo		
	Moderado	(+)	
	Alto		(-)
Costos de Mantenimiento	Bajo		
	Moderado	(+)	
	Alto		(-)
Área Disponible para la Instalación	Bajo	(+)	
	Moderado		
	Alto		(-)
Eficiencia de Remoción	Mala		
	Buena		(-)
	Excelente	(+)	
Requerimiento de Personal Calificado	No		
	Si	(-)	(-)
Total de (+)		4	1

En la Matriz de Selección se observa que la primera alternativa presentó mayor frecuencia de aspectos positivos y por ello se ha seleccionado como el sistema de tratamiento al que se someterán los afluentes de la Industria Textil S.A., este se presenta a continuación:

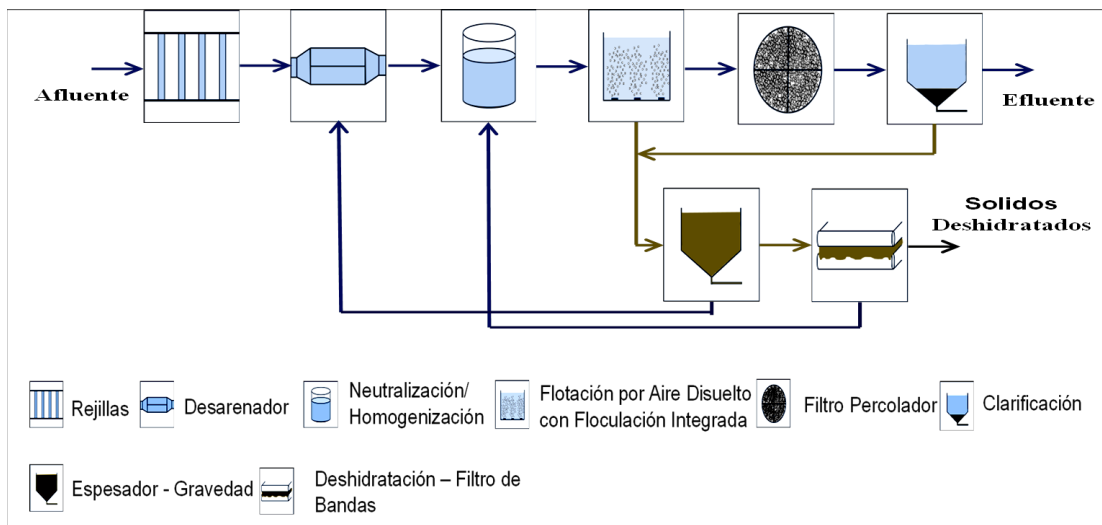


Figura 6.7 Tren de Tratamiento Seleccionado.

6.4. BALANCES DE CONTAMINANTES

Se realizó todos los balances de contaminantes en cada unidad de tratamiento. Para los cálculos de eficiencia de remoción se tomó los valores máximos obtenidos de la caracterización del agua residual y se les incrementó un 5% de su valor inicial, como se muestra en la Tabla 6.3, esto con el fin de asegurar que el tratamiento esté apto para la remoción de la carga máxima de contaminantes que pueda presentarse en la industria en un momento determinado. Esto se llevó a cabo con todos los parámetros, con excepción de los nutrientes (Nitrógeno y Fósforo Total), que se mantuvieron en sus valores promedios, con el fin de asegurar la relación real DBO:N:P en el reactor biológico. Se estima una relación de 100:6:1.5 que corresponde a los parámetros posteriores a la depuración primaria, siendo estos de 287.9:17.3:4.3 mg/L (DBO:N:P) en la entrada al sistema de filtros percoladores. Esta relación obtenida cumple con el requerimiento para la degradación de la materia orgánica y elimina la necesidad de agregar nutrientes posteriormente, en el filtro biológico.

El sistema de flotación por aire disuelto con coagulación-floculación integrada, es capaz de lograr remociones del 85%, 91%, 80%, de las concentraciones de color, DQO, ST respectivamente y parte de la DBO, por medio de la eliminación de SST. Se obtuvo por medio de la realización de la prueba de jarra, cada porcentaje de remoción para los balances en esta unidad (Anexo C).

La eficiencia de remoción del 68.7% en el sistema de filtros percoladores se calculó con respecto a las concentraciones deseadas en el efluente de esta unidad, siendo de 90 mg/L para el caso de la DBO, lo cual permite mantenerla por debajo 100 mg/L. Esta eficiencia provoca remociones paralelas en la concentración DQO, SST, color, y compuestos orgánicos volátiles (COV), entre ellos los fenoles, obteniéndose concentraciones de 132.3, 47.3, 79.0, 0.254 mg/L respectivamente a la salida del tratamiento biológico. Todos ellos resultan por debajo del máximo permisible establecido por la norma Nicaragüense.

En la Tabla 6.3 se presentan los resultados de los balances de contaminantes en cada unidad de tratamiento. Asimismo mediante las relaciones de DBO:N:P se obtuvo concentraciones de nutrientes a la salida de 0.500 mg/L para el Nitrógeno y 1.4 mg/L para el fósforo, siendo concentraciones bajas y dentro de los rangos permitidos, que evitan un tratamiento posterior para la remoción de nutrientes.

Aunque las concentraciones de metales obtenidas en la caracterización son muy bajas, menores a 0.500 mg/L, el sistema está capacitado para remover el 35% de los metales contenidos en el agua, y las concentraciones de éstos en el efluente final son despreciables.

Tabla 6.3 Balances de Contaminantes.

Parámetros	Balance Global de Contaminantes en la Línea de Agua														Eficiencia Global de Remoción %	Rangos Límites Max. Permisibles Art. 43
	Rejillas y Desarenador			Homogenización & Neutralización		Flotación (DAF) & Coagulación-Floculación			Trat. Biológico Filtro Percolador			Sedimentación				
	Entra	Remueve	Sale	Entra	Sale	Entra	Remueve	Sale	Entra	Remueve	Sale	Entra	Remueve	Sale		
pH	10.0	-	10	10	7.6	7.6	0.2	7.4	7.4	-	7.4	7.4	-	7.4		6 – 9
Temperatura (°C)	40.0	-	37.0	37.0	35.0	35.0	-	30.0	30.0	-	28.0	28.0	-	28.0		40.0
Color (mg/L Pt-Co)	5543.0	277.1	5265.8	5265.8	5265.8	5265.8	4475.9	789.9	789.9	710.9	79.0	79.0	3.9	75.0	98.6%	200 (Ninguna coloración visible)
DQO (mg/L)	4297.7	214.9	4082.8	4082.8	4082.8	4082.8	3715.3	367.4	367.4	235.2	132.3	132.3	26.5	105.8	97.5%	250.0
DBO(mg/L)	1439.6	-	1439.6	1439.6	1439.6	1439.6	1151.6	287.9	287.9	197.9	90.0	90.0	31.5	58.5	95.9%	75.0
SST (mg/L)	525.1	-	525.1	525.1	525.1	525.1	420.1	105.0	105.0	57.8	47.3	47.3	16.5	30.7	94.2%	100.0
SS (ml/L)	ND	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	1.0
Cromo Total (mg/L)	0.420	-	0.420	0.420	0.420	0.420	0.147	0.273	0.273	-	0.273	0.273	-	0.273	35.0%	1.0
Cromo Hexavalente (mg/L)	0.030	-	0.030	0.030	0.030	0.030	0.011	0.020	0.020	-	0.020	0.020	-	0.020	35.0%	0.5
Plomo Total (mg/L)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0.5
Sulfuros (mg/L)	1.1	-	1.1	1.1	1.1	1.1	0.910	0.161	0.161	-	0.161	0.161	-	0.161	85.0%	1.0
Sulfitos (mg/L)	4.8	-	4.8	4.8	4.8	4.8	4.1	0.715	0.715	-	0.715	0.715	-	0.715	85.0%	1.0
Zinc (mg/L)	0.9	-	0.9	0.9	0.9	0.9	0.315	0.585	0.585	-	0.585	0.585	-	0.585	35.0%	2.0
Nitrógeno de Amonio (mg/L)	6.0	-	6.0	6.0	6.0	6.0	3.0	3.0	3.0	2.50	0.500	0.500	-	0.500	91.7%	10.0
Fósforo Total (mg/L)	8.6	-	8.6	8.6	8.6	8.6	5.3	4.3	4.3	2.9	1.4	1.4	-	1.4	83.3%	2.0
Fenoles (mg/L)	20.3	-	20.3	20.3	20.3	20.3	19.3	1.0	1.0	0.762	0.254	0.254	-	0.254	98.8%	0.5
Detergentes (mg/L)	19.8	-	19.8	19.8	19.8	19.8	17.9	2.0	2.0	0.695	1.3	1.3	-	1.3	93.5%	2.0
Aceites y Grasas (mg/L)	52.5	13.1	39.4	39.4	39.4	39.4	33.5	5.9	5.9	3.8	2.1	2.1	-	2.1	96.1%	15.0
Nitrógeno Total (mg/L)	38.4	-	38.4	38.4	38.4	38.4	21.1	17.3	17.3	14.4	2.9	2.9	-	2.9	92.5%	NR

6.5. PRE-DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Esta sección presenta los resultados de las variables de diseño y dimensionamiento de cada unidad de tratamiento, tomando en cuenta las ecuaciones y criterios de diseño mostrados en el Capítulo IV. Asimismo expone los parámetros de diseño tomados en consideración para el cálculo de las variables de diseño. Es de suma importancia tener en cuenta que, para el diseño de cada unidad de tratamiento, se utilizó el caudal máximo del fin del horizonte de proyecto con el incremento del 10% (31 L/s), así como las cargas máximas de contaminantes obtenidas en la caracterización, más su incremento del 5%. Esto con el objetivo de amortiguar cualquier fluctuación alta en el caudal o carga máxima de contaminantes dentro del tren de tratamiento.

6.5.1. Diseño del Canal de Entrada

Para el diseño del canal de entrada se previó una distancia de 10 m desde el canal de vertido de la industria hasta el sistema de rejillas donde se iniciará el tratamiento, esto se tomó en consideración después de las mediciones respectivas en el área donde estará ubicada la planta.

Tabla 6.4 Canal de Entrada.

Parámetros de Diseño		Variables de Diseño		
Caudal de Diseño, Qd (m ³ /s)	0.031	Coefficiente k	Profundidad del Agua en el Canal, d (m)	Radio Hidráulico, R (m)
Coefficiente de Manning, n	0.012	0.132	0.092	0.039
Ancho del Canal de Entrada, c (m)	0.250	Velocidad de Ecurrimiento, v _e (m/s)	Altura por Pérdidas del Canal, h* (m)	Altura Total del Canal, (h) (m)
Pendiente del Canal, S (m)	0.013	1.1	0.130	0.322
Longitud del Canal, L (m)	10	Perímetro Húmedo, PH (m)	Área del Canal de Entrada, A (m ²)	
Angulo de Inclinación, θ (grados)	1.0	0.894	0.035	
Borde Libre, BL (m)	0.100			

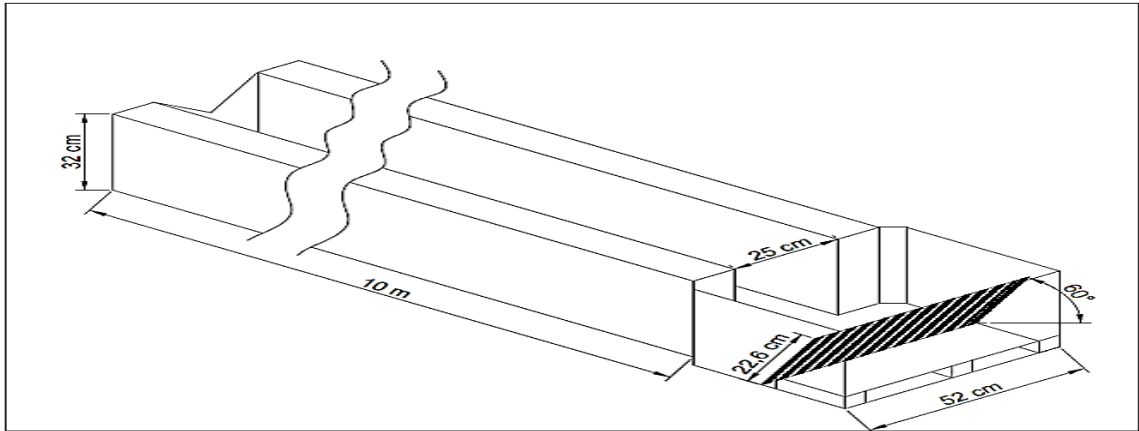


Figura 6.8 Canal de Entrada y Rejillas.

6.5.2. Diseño del Sistema de Rejillas

El sistema de rejillas tendrá como objetivo evitar el paso de cualquier material mayor a 20 mm de diámetro que pudiese acarrear las aguas residuales del proceso productivo. Este sistema constará de 14 barras de acero inoxidable con una altura de 16 cm.

Tabla 6.5 Rejillas.

Parámetros de Diseño		Variables de Diseño		
Caudal, Q (m ³ /s)	0.031	Ancho de Canal Zona de Rejillas, b (m)	Número de Barras, N	Coefficiente k
Ancho de Barrotes, a (m)	0.020	0.520	14	0.021
Ancho del Canal de Entrada, c (m)	0.250	Profundidad, d (m)	Radio Hidráulico, R _H (m)	Velocidad de Escurrimiento, v _e (m/s)
Separación Útil entre Barra, s (m)	0.020	0.050	0.042	1
Pendiente, S (m)	0.010	Pérdidas de Carga, H (m)	Área Efectiva de la Rejilla, A (m ²)	Tirante de Agua, T _a (m)
Angulo de Inclinación, θ	30	0.047	0.031	0.060
Tipo de Barra, β	1.8	Altura de la Rejilla, h (m)	Longitud de la Rejilla, L (m)	Eficiencia de la Rejilla %
Coefficiente de Manning, n	0.012	0.160	0.226	60

6.5.3. Diseño de la Cámara Desarenadora

La cámara desarenadora se incluyó dentro del sistema de tratamiento para eliminar cualquier partícula sedimentable que pudiese acarrear el proceso. Aunque según la caracterización los SS no fueron detectados, es imprescindible contar con esta unidad por cualquier variación dentro del proceso productivo de telas. El tiempo de retención será de 3.8 minutos.

Tabla 6.6 Cámara Desarenadora

Parámetros de Diseño		Variables de Diseño		
Caudal, Q (m³/s)	0.031	Velocidad de Sedimentación, Vs	Velocidad Crítica, v _c (m/s)	Área Superficial de Sedimentación, A _s (m²)
Número de Cámaras, N _c	2	0.027	0.177	0.177
Tiempo de Retención, tr (s)	60	Ancho de la Cámara, w (m)	Profundidad, d (m)	Longitud de la Cámara Desarenadora, L (m)
Relación Ancho Profundidad	1.5:1.0	1.6	0.761	4.9
Diámetro de la Partícula, D _p (cm)	0.020	Longitud Máxima, L (m)	Volumen Total de la Cámara, V (m³)	Tiempo de Retención, tr (s)
Viscosidad Cinemática, v (cm²/s)	0.009	5.9	7.2	230.2
Gravedad específica de la Partícula, sg	2.5			
Constante del Material β*	0.04			
Factor de Fricción, f	0.03			

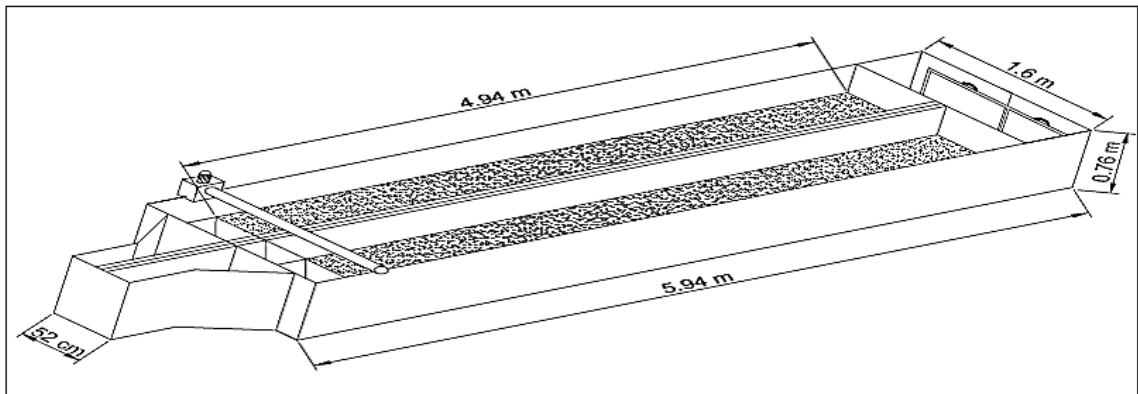


Figura 6.9 Cámara Desarenadora.

6.5.4. Diseño del Tanque de Ecuilización

La función del tanque de ecuilización será mantener el caudal posterior al mismo en un flujo estable, debido a que el proceso de la Industria Textil S.A., presenta grandes variaciones en el consumo de agua durante el día. El volumen máximo acumulado concurre en 119.8 m³. En la Tabla F.2 (Anexo F) se muestran los cálculos del volumen máximo acumulado.

Tabla 6.7 Tanque de Ecuilización.

Parámetros de Diseño		Variables de Diseño		
Caudal, Q (m³/s)	0.031	Volumen del Tanque, V (m³)	Altura del Tanque, h (m)	Área Superficial, A _s (m²)
	1.9			
Volumen Acumulado Máximo, V (m³)	119.8	119.8	7.0	17.1
		Diámetro del Tanque, D (m)		
		4.7		

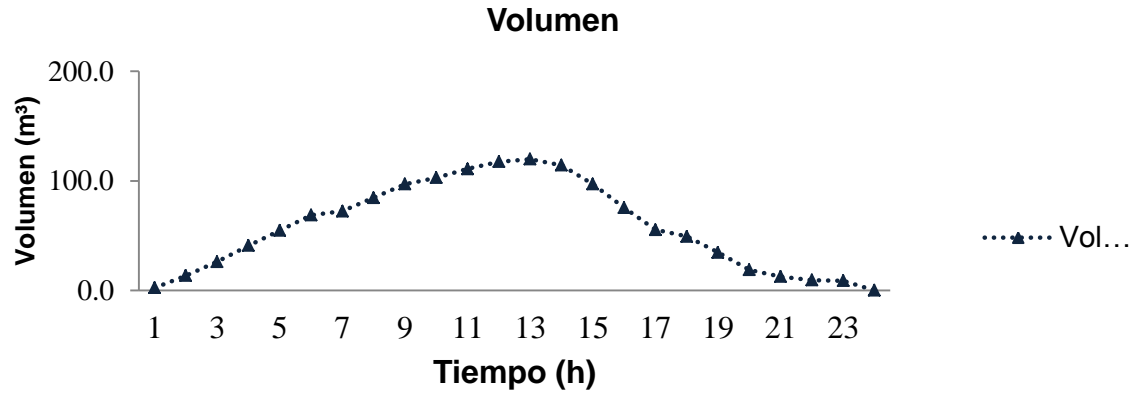


Figura 6.10 Volumen Máximo Acumulado.

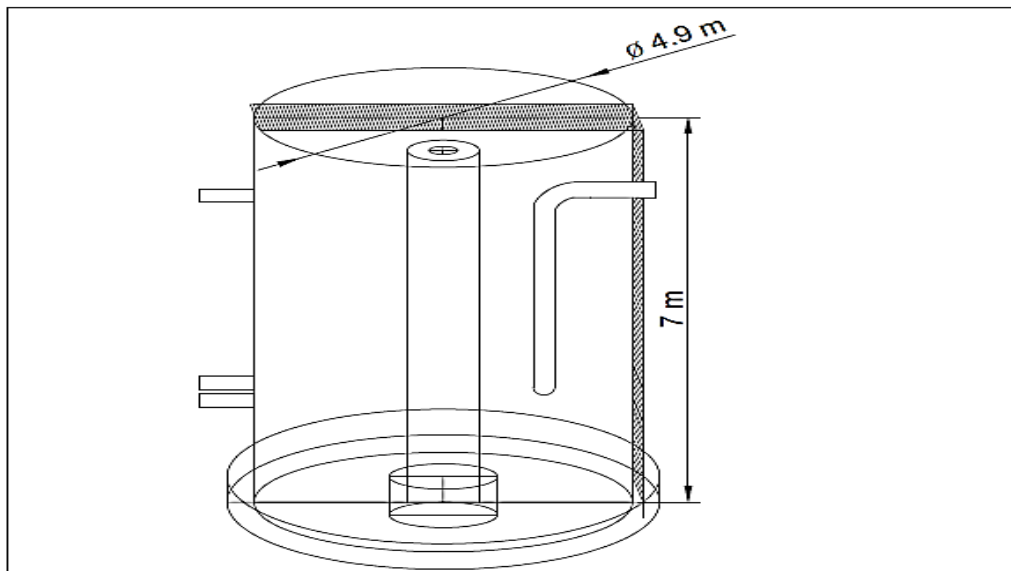


Figura 6.11 Tanque Homogenizador.

6.5.5. Diseño del Sistema de Flotación por Aire Disuelto

Para el tratamiento primario será necesaria una unidad de sistema con flotación por aire disuelto, ya que es esencial para el tratamiento fisicoquímico que conlleva la floculación y remoción de lodos por flotación. La coagulación se dará en una mezcla rápida, antes de entrar al sistema por flotación y posteriormente las burbujas despresurizadas propiciarán la floculación, por medio de su gradiente de velocidad ascendente a través del líquido, de 84.5 s^{-1} , cumpliendo el criterio de $G (1/s) < 200$.

Tabla 6.8 Sistema de Flotación por Aire Disuelto.

Parámetros de Diseño		Variables de Diseño		
Caudal, Q (m ³ /s) (m ³ /min)	0.031 1.9	Presión de Funcionamiento, p (Atm)	Área Superficial, A _s (m ²)	Masa de Aire Despresurizado, Req.A (Kg/d)
Concentración de SST, X _o (mg/L)	525.1	2.3	18.9	7.1
Solubilidad del Aire a 28 °C, S _a (mL/L)	16.3	Verificando la Carga de Sólidos, C _{SA} (Kg/m ² -min)	Carga de Sólidos en el Afluente, C _{SA} (Kg/d)	Volumen del Tanque , V (m ³)
Carga Superficial, C _s (m ³ /m ² -min)	0.100	0.053	1428.2	47.2
Densidad del Aire, p _a (Kg/m ³)	1.3	Volumen de Aire Req, V _a (m ³ /d)	Altura, (m)	Caudal en el Efluente, Q _{efl} (m ³ /s)
Relación A/S	0.005	5.5	2.5	0.031
Factor de Diseño f	0.500	Longitud del Tanque, L (m)	Ancho, W (m)	
		5.5	3.4	

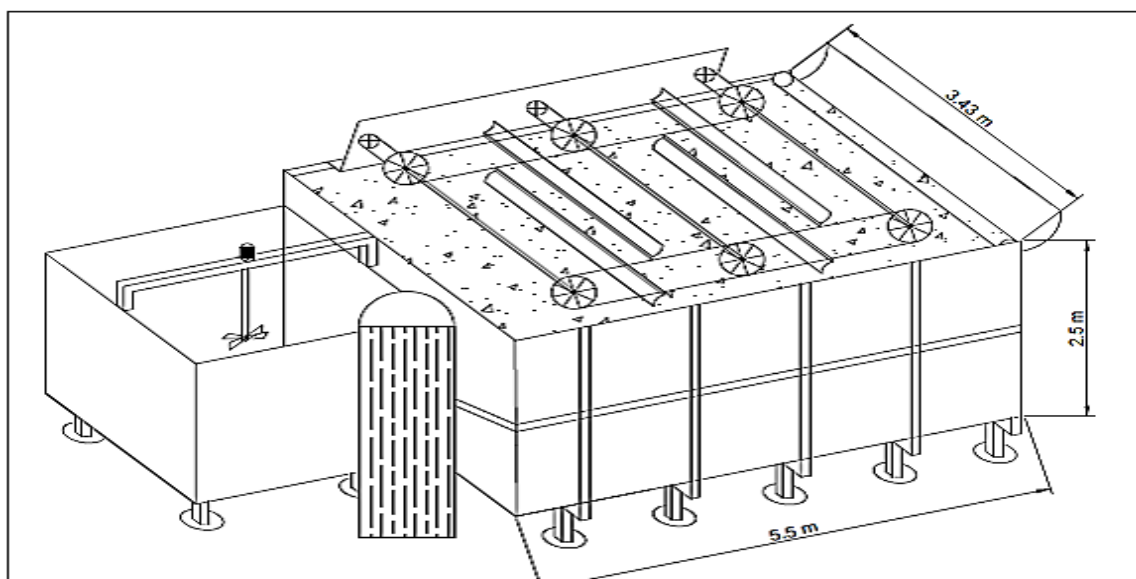


Figura 6.12 Sistema de Flotación por Aire Disuelto.

6.5.6. Cálculos de Floculación por Acción Neumática

Por medio de la presión de descarga de 2.3 atmósferas, obtenida en los cálculos de diseño en la unidad de flotación, se realizó los cálculos para la floculación obteniendo un requerimiento de 12.4 m³/d de aire, con una potencia disipada de 12 watt, para obtener el gradiente de velocidad necesario para formar los flóculos.

Tabla 6.9 Floculación Neumática.

Parámetros de Diseño		Variables de Diseño		
Presión de Descarga, Pd (atm)	2.3	Atracción Entre las Partículas	Volumen Disponible de un mol de Partícula	Volumen del Aire a Pd, Va (m³/mol)
Presión Crítica, Pc (atm)	37.2	0.001	0.012	3.8×10^{-03}
Temperatura Crítica, Tc (K)	132.5	Número de Moles de Aire, (mol/d)	Volumen de Aire a Pa, Va (m³/mol)	Volumen del Aire a Pa, Va (m³/d)
Constante R (atm-L/mol-K)	0.028			
Temperatura, K	303.2	1464.6	8.5×10^{-03}	12.4
Volumen del Aire Requerido, Va (m³/d)	5.5	Volumen del Aire a Pa, Va (m³/s)	Potencia Disipada, P (Watt)	Gradiente de Velocidad Promedio, G (1/s)
Presión Atmosférica, Pa (KN/m²)	101.3			
Presión de Descarga, Pd (KN/m²)	230.0			
Volumen del Floculador, V (m³)	47.2			
Viscosidad Dinámica, U (N-s/m²)	1.5×10^{-03}			
Coefficiente k	1.7			

6.5.7. Diseño del Sistema de Filtros Percoladores

El sistema de filtros percoladores se diseñó con el fin de mantener la concentración de DBO de su efluente debajo 100 mg/L; para esto se requiere de una eficiencia del filtro del 70% aproximadamente. Este sistema constará de dos filtros con una eficiencia del 44% cada uno y un factor de recirculación de 1.9. Una de las ventajas de los filtros percoladores, es la estabilización de los lodos dentro de los mismos, por lo que se elimina la necesidad de un tratamiento de estabilización posterior para lodos secundarios en el tratamiento de lodos.

Tabla 6.10 Filtro Percolador.

Parámetros de Diseño		Variables de Diseño			
Caudal, Q (m³/s) Q (m³/d)	0.031	Eficiencia Total, E (%)	Eficiencia del Filtro 1, E1 (%)	Eficiencia del Filtro 2 E2 (%)	Factor de Recirculación FR
	2211				
DBO Deseada en el Efluente, (mg/L)	90.0	68.7	44.1	44.1	1.9
		Carga de DBO en el Filtro 1, w1 (Kg/d)	Volumen del Filtro 1, V1 (m³)	Área del Filtro 1, A1 (m²)	Diámetro del Filtro 1, D1 (m)
DBO en el Afluente, (mg/L)	287.9	636.6	59.3	23.7	5.5
Profundidad de c/u Filtros, d (m)	2.5	Carga de DBO en el Filtro 2, w2 (Kg/d)	Volumen del Filtro 2, V2 (m³)	Área del Filtro 2, A2 (m²)	Diámetro del Filtro 2, D2 (m)
		199.0	59.3	23.7	5.5
Relación de Recirculación r1=r2	1.5	Carga en el F1, C _{DBO} (Kg/m³-d)	Carga en el F2, C _{DBO} (Kg/m³-d)	Carga Hidráulica, HLR1 (m³/m²-d)	Carga Hidráulica, HLR2 (m³/m²-d)
Temperatura, T (°C)	28	10.7	3.4	269.6	269.6

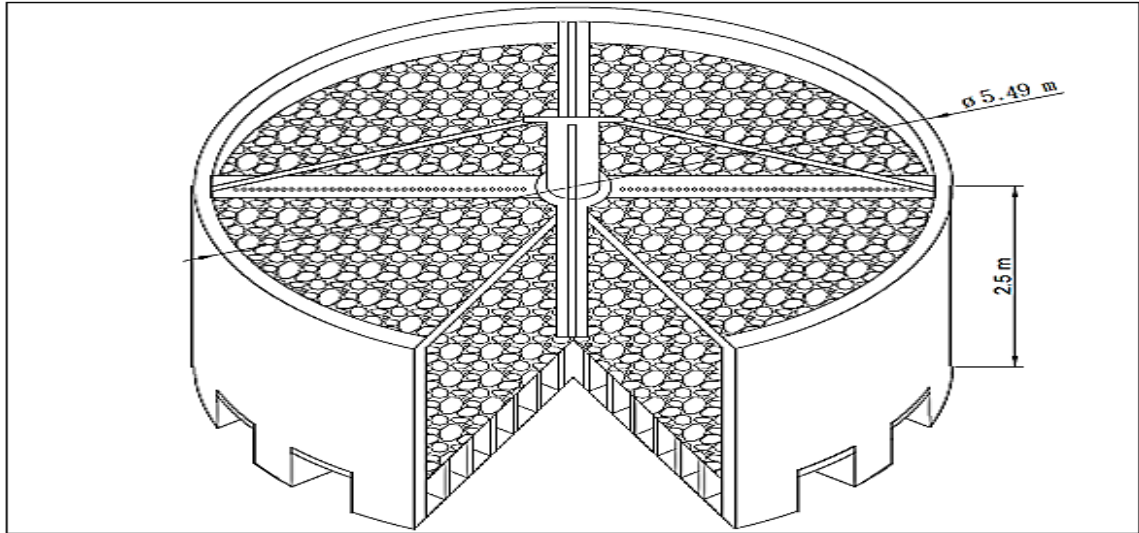


Figura 6.13 Filtro Percolador.

6.5.8. Diseño de Sedimentadores

Los lodos del tratamiento secundario serán removidos con los sedimentadores por gravedad, los cuales incrementan los porcentajes de remoción de la DBO y SST, para mejorar la eficiencia del tratamiento secundario. Se proponen dos sedimentadores circulares con un área superficial de 47.2 m² y 108 vertederos.

Tabla 6.11 Sedimentación Secundaria.

Parámetros de Diseño		Variables de Diseño		
Caudal, Q (m ³ /s)	0.031	Caudal Individual, Qi (m ³ /s)	Área Superficial de Sedimentación, A (m ²)	Diámetro Externo, D _{ext} (m)
Número de Sedimentadores, N _s	2	0.016	47.2	8.8
Velocidad Superficial de Sedimentación, V _{sup} (m ³ /m ² -d)	3.3×10 ⁻⁰⁴	Volumen Sedimentador, V (m ³)	Profundidad, d (m)	Longitud Periférica, L _p (m)
Tiempo de Retención, tr (h)	1.5	84.2	1.8	22.0
Tiempo de Retención de lodos, tr (h)	1	Diámetro de Vertedero, D _v (m)	Relacion D _v <D _{ext}	Longitud del Vertedero, L _v (m)
%Remoción SST	15	7.0	7<8.75	2.6
%Remoción DBO	10	Carga del Vertedero, C _v (m ³ /m-h)	Número de Vertederos, N _v	Caudal por Vertedero, Q _{iv} (m ³ /d)
Gravedad Específica del Lodo, S _g	1.3	2.6	108	12.4
%Sólidos Secos	2	Masa de Lodos Removidos, M _{sst} (Kg/d)	Caudal de lodos, Q _{L1} (m ³ /d)	Caudal Salida, Q (m ³ /s)
		44.6	1.7	0.031

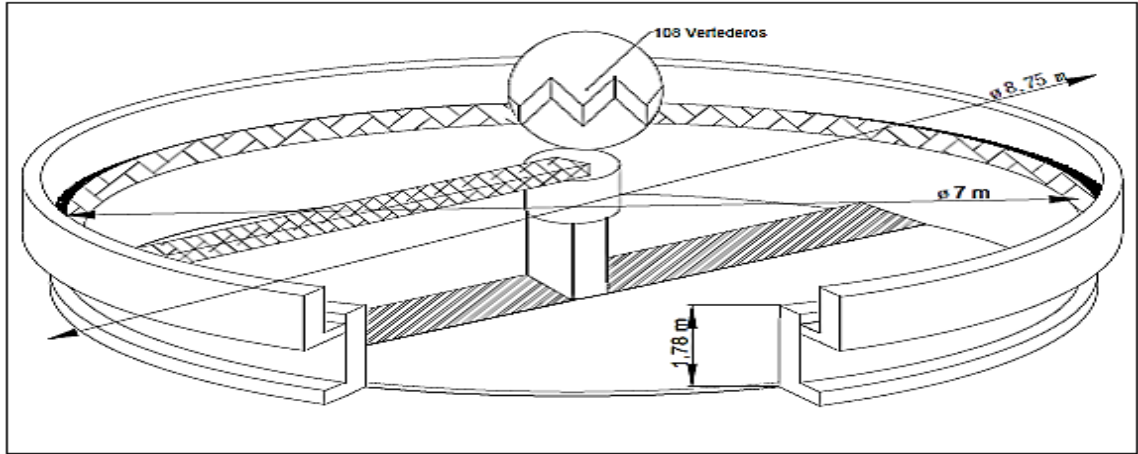


Figura 6.14 Sedimentador.

6.5.9. Cálculo del Caudal de Lodos

El caudal de lodo a tratar corresponde a la suma de lodo primario proveniente del desarenador ($22.9 \text{ m}^3/\text{d}$) y lodo secundario o biológico ($17.4 \text{ m}^3/\text{d}$), por lo cual las unidades de tratamiento de lodos se diseñaron para tratar un caudal de $40.3 \text{ m}^3/\text{d}$.

Tabla 6.12 Cálculo del Caudal de Lodos.

Parámetros		Cálculos de Lodos	
Caudal, Q (m^3/d)	2720	Lodo Primario Producido, L_{SST1} (Kg/d)	SST en el Efluente Primario, $[SST]_{ef1}$ mg/L
Sedimentador Primario		1142.5	105.0
Concentración de SST en el Afluente, $[SST]_{af}$ (mg/L)	525.1	[DBO] en el Efluente Primario, DBO_{ef1} (mg/L)	Lodo Secundario Producido, L_{SST2} (Kg/d)
% de Remoción	80%	287.9	202.1
Concentración en el Afluente DBO, DBO_{af1} (mg/L)	1439.6	Lodo Biológico Producidos por DBO, L_{DBO} (Kg/d)	Lodos Totales Secundarios, L_{T2} (Kg/d)
% de Remoción	80%	156.0	358.1
Gravedad Especifica del Lodo, S_g	1.25	Sólidos Removidos en la Línea de Agua, L_T (Kg/d)	Caudal de Lodo Primario, Q_{L1} (m^3/d)
% Sólidos Secos	4	1500.6	22.9
Sedimentador Secundario		Caudal de Lodo Secundario, Q_{L2} (m^3/d)	Caudal Total de Lodos, Q_{LT} (m^3/d)
SST en el Efluente Secundario, $[SST]_{ef2}$ (mg/L)	30.7	17.4	40.3
% de Remoción			
Concentración en el Afluente DBO, DBO_{af2} (mg/L)	58.5		
% de Remoción			
% Sólidos Secos	2		
Gravedad Especifica del Lodo, S	1.03		
Factor de Crecimiento Bacteriano, Y (Kg SST/Kg DBO)	0.250		

6.5.10. Diseño del Espesador

Para el tratamiento de lodos se contará con un espesador y un factor de concentración de 7, que equivale a la reducción del caudal de lodos en un 86% con una capacidad máxima de 40.3 m³/d, obtenidos de los cálculos de lodos provenientes del tratamiento primario y secundario en la línea de agua.

Tabla 6.13 Espesador por Gravedad.

Parámetros de Diseño		Variables de Diseño		
Caudal de Lodos, Q _L (m ³ /d)	40.3	Área Superficial del Espesador, A (m ²)	Diámetro + incr=1m, D (m)	Volumen del Espesador, V (m ³)
Carga Hidráulica, Ch (m ³ /m ² -d)	4	10.1	4.6	10.1
Tiempo de Retención de Lodos, t _r (h)	6	Profundidad, d (m)	Cantidad de Sólidos a Producir, C _{Lp} (kg/d)	Caudal de Lodos a 25% de Sólidos Q _L (m ³ /d)
%Sólidos Secos a la Entrada	3.6	1	1522.2	5.8
%Sólidos Secos	25	Cantidad Agua Reducida del Lodo, Q _R (m ³ /d)	Porcentaje de Caudal Reducido, %Q _R	Factor de Concentración, Fc
Gravedad Específica del Lodo, S _g	1.05	35	86	7
		Cantidad de Agua Reducida del Lodo, Q _R (m ³ /s)	Concentración de SST en el Lodo Entrante, [SST] _e	Concentración de SST en el Lodo Saliente, [SST] _s (mg/L)
		3.9×10 ⁻⁰⁴	37771.7	262500

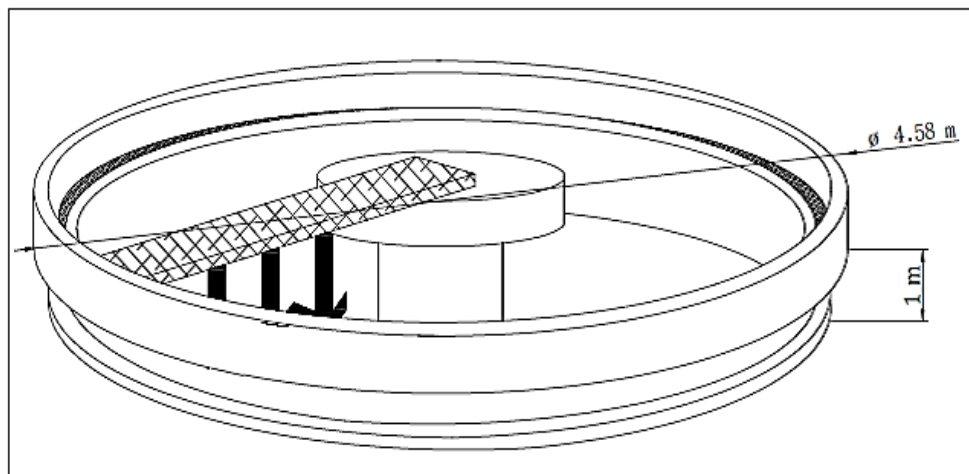


Figura 6.15 Espesador.

6.5.11. Diseño del Filtro de Banda

La función del filtro de banda será concentrar los sólidos espesados en un 95%. Para esto es necesario la utilización de un polímero iónico cuya dosis será de 1.05 kilogramos por tonelada de lodo espesado, con un flujo óptimo de banda de 0.240 m³/h, de acuerdo con los cálculos efectuados.

Tabla 6.14 Filtro de Bandas.

Parámetros de Diseño		Variables de Diseño		
Caudal de Lodos, Q_L (m^3/d)	5.8	Flujo de Lodo Semanal, F_{LS} (Kg/wk)	Sólidos Secos Producidos, SSP (Kg/wk)	Sólidos Secos Producidos, SSP (Kg/d)
Ancho Efectivo de la Banda, W_e (m)	1.2	36472.2	9118.0	1519.7
%Sólidos en el Lodo Alimentado	25	Sólidos Secos Producidos, SSP (Kg/h)	Carga Métrica de Sólidos, CM_s (Kg/d-m)	Flujo Optimo en la Banda, F_{Bo} (m^3/h)
%Sólidos en la Torta	35	63.3	1266.4	0.241
[SST] en el Lodo, (mg/L)	262500	Carga Hidráulica, H_{LB} ($m^3/h-m$)	Dosis de Polímero, $D_{polimero}$ (Kg/TM)	Caudal de la Torta, q (m^3/h)
Dosis de Polímero 0.2%wt D_p (m^3/d)	0.795	0.201	1.0	0.157
Gravedad Especifica de la Torta Deshidratada, S_{gt}	1.1	Caudal de la Torta, q (m^3/d)	Caudal del Filtrado, Q_f (m^3/d)	Carga de STT en la Torta, C_{SSTT} (Kg/d)
Gravedad Especifica del Filtrado, S_{gf}	1.01	3.8	2.0	1447.3
Gravedad Especifica del Lodo, S_{gl}	1.05	Carga de ST en el Filtrado, C_{SSTF} (Kg/d)	Carga Métrica de ST Filtrados, CM_F (Kg/d-m)	Eficiencia de Remoción de SST, E_R (%)
		72.4	60.3	95.2

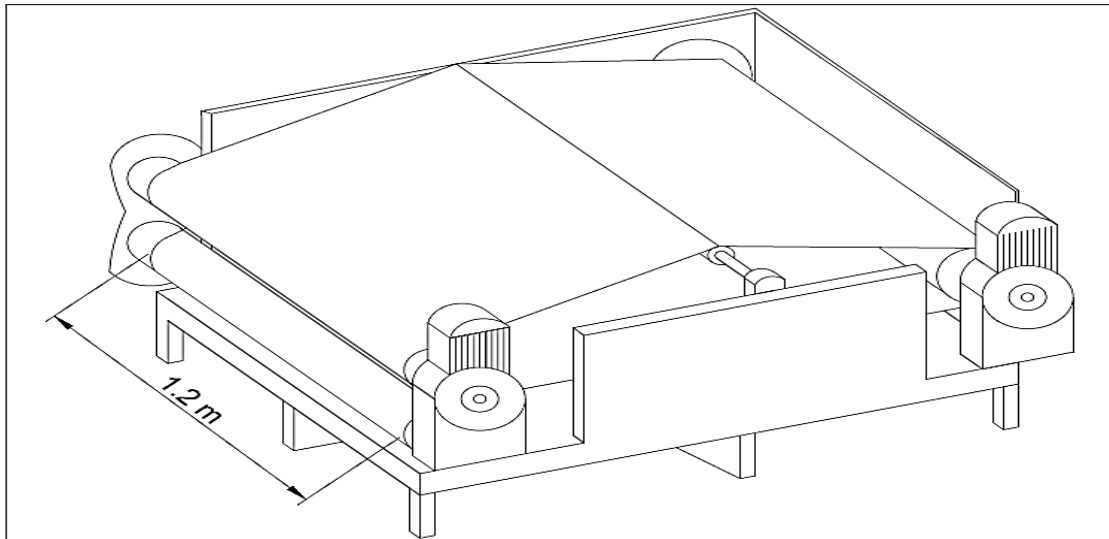


Figura 6.16 Filtro de Bandas.

6.6. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para la determinación de la rentabilidad económica del proyecto se utilizaron los indicadores financieros eficiencia-costo (CAUE y VAC), para lo cual fue necesario calcular los costos actuales y a futuro asociados al tratamiento del agua residual, como también los costos de ejecución del presente proyecto.

6.6.1. Costos por Tratamiento Con ENACAL Alternativa 1

Teniendo en cuenta que las concentraciones promedio de la DQO y ST resultaron de 3389 mg/L y 8071 mg/L respectivamente y, junto con las proyecciones de caudal presentado en ANEXO D, se calculó la carga total de contaminantes para cada año del horizonte del proyecto (véase anexo G). Estas proyecciones de cargas obtenidas fueron multiplicadas por las tarifas impuestas como se presentan en la Tabla G.1, se dando lugar al monto total que tendría que pagarse a ENACAL por tratar el agua residual de la Industria Textil S.A en un periodo total de 15 años, que según los cálculos obtenidos se estima alcancen los **\$ 5,937,766.03**. Esta cantidad menos los costos de carga residual después del tratamiento (**\$ 196,287.26**), corresponde a los costos evitados por la cancelación del servicio con ENACAL, los cuales serían de **\$ 5,741,478.77**.

6.6.2. Costos de Ejecución de la Propuesta del Proyecto Alternativa 2

Los costos asociados al sistema de tratamientos propuestos corresponden a los costos de Inversión, operación, mantenimiento y administrativos, a los cuales se le suma el monto a pagar a ENACAL por el efluente residual. Estos costos se describen a continuación (los detalles de los mismos se presentan en el anexo G)

Costos de Inversión

Son los costos en que se incurrirá para la construcción o adquisición, según corresponda, de cada unidad de tratamiento, accesorios y obras civiles, a los cuales se les sumó un monto por cualquier imprevisto que se agregó y capital de trabajo como se presentan en la Tabla 6.15.

Tabla 6.15 Costos de Inversión.

Descripción	Costo
Unidades de Tratamiento	\$801,172.2
Edificaciones y Obras Civiles	\$125,000.0
Accesorios y Vehículo	\$65,000.0
Sub-Total	\$991,172.2
Imprevisto y Capital de Trabajo	\$100,000.0
Total	\$1,091,172.2

Costo de Depreciación y Valor de Salvamento

Los costos por depreciación de los activos fijos durante los 15 años corresponden a **\$706,955.30** teniendo así un valor de salvamento al final de este periodo de **\$272,966.94**. En la Tabla G.3 (anexo G) se detalla dicho costo.

Costos de Operación y Mantenimiento

Los costos necesarios para operar la planta de tratamiento a construir, corresponden al consumo de energía, adquisición de químicos, consumo de combustible para transportación de desechos sólidos y costos de análisis de laboratorio que deben realizarse cuatrimestralmente, para verificar el cumplimiento de las normas de vertidos. También se incluyen aquí los costos asociados con el mantenimiento de la planta, estimados como un 15% de los costos de operación.

Tabla 6.16 Costos de Operación y Mantenimiento Totales para los 15 años.

Descripción	Costo
Costos por Energía	\$185,308.2
Costos por Combustible	\$42,482.8
Costos por Químicos	\$210,292.6
Costo por Análisis de Laboratorio	\$14,220.0
Costos de Operación Total	\$452,303.6
Costos de Mantenimiento	\$67,845.5
Total	\$520,149.1

Costos Administrativos

Los costos administrativos corresponden al salario del personal calificado para la operación y mantenimiento de cada unidad, así también otro costo extra meramente administrativos como son las liquidaciones etc., estos se presentan en la Tabla 6.17. Y se detallan en el anexo G, Tabla G.13.

Tabla 6.17 Costos Administrativos Totales para los 15 años

Descripcion	Costo
Jefe de la planta	\$97,500.0
Operadores	\$204,750.0
Ayudantes	\$93,600.0
Extras	\$22,500.0
Total	\$395,850.0

Costo por Descargas Residuales

Los costos por tratamiento residual base se deben al cobro por vertidos con concentraciones del efluente del sistema de depuración respecto a la DQO y ST que se estima por medio de los balances de contaminantes realizados, se aproximen a 106.2 mg/L y 272.0 mg/L respectivamente. Con las proyecciones de caudal se procedió al cálculo de las cargas de DQO y ST del efluente final multiplicados por el cobro por kilogramo de contaminantes y se obtuvo que los costos totales para los 15 años según los valores calculados serán de **\$ 196,287.26**.

6.6.3. Costos Financieros

Los costos financieros son los costos asociados con la utilización del dinero de un tercero. Para este proyecto la industria ha considerado la opción de realizar un préstamo con la institución bancaria BANPRO, la cual ofrece un financiamiento del 85% de la inversión inicial con una tasa de interés del 15% para el plazo del horizonte de proyecto. El acuerdo de la forma de liquidación del préstamo conlleva el pago de intereses y una parte proporcional del principal al final de cada uno de los años durante el plazo del préstamo. (Amortización constante).

En la Tabla 6.18 se presentan los costos financieros (intereses y pago a principal).

Tabla 6.18 Costos Financieros.

Año	Intereses	Pago a Principal	Pago al Final de Cada Año	Saldo de la deuda
0	\$0.0	\$0.0	\$0.0	\$927,496.4
1	\$139,124.5	\$61,833.1	\$200,957.6	\$865,663.3
2	\$129,849.5	\$61,833.1	\$191,682.6	\$803,830.2
3	\$120,574.5	\$61,833.1	\$182,407.6	\$741,997.1
4	\$111,299.6	\$61,833.1	\$173,132.7	\$680,164.0
5	\$102,024.6	\$61,833.1	\$163,857.7	\$618,330.9
6	\$92,749.6	\$61,833.1	\$154,582.7	\$556,497.8
7	\$83,474.7	\$61,833.1	\$145,307.8	\$494,664.7
8	\$74,199.7	\$61,833.1	\$136,032.8	\$432,831.7
9	\$64,924.7	\$61,833.1	\$126,757.8	\$370,998.6
10	\$55,649.8	\$61,833.1	\$117,482.9	\$309,165.5
11	\$46,374.8	\$61,833.1	\$108,207.9	\$247,332.4
12	\$37,099.9	\$61,833.1	\$98,932.9	\$185,499.3
13	\$27,824.9	\$61,833.1	\$89,658.0	\$123,666.2
14	\$18,549.9	\$61,833.1	\$80,383.0	\$61,833.1
15	\$9,275.0	\$61,833.1	\$71,108.1	\$0.0
			\$2,040,492.09	

6.6.4. Indicadores Costo Eficiencia

Para la realización de la evaluación económica por medio de los indicadores financieros bajo el enfoque eficiencia-costos se tomaron en consideración los costos totales y valor de salvamento para la alternativa 2 (ejecución del proyecto), como también los costos totales en que se incurriría en seguir tratando el agua residual con ENACAL (Alternativa 1).

Para la alternativa 2 la TMAR calculada fue 15.3%, para esta se tomo un premio al riesgo de 4.2% ya que según SINIA (2012), para plantas de tratamiento de aguas residuales es considerablemente bajo (4-4.4%). Además mediante las variaciones de la inflación acumulada del el país en los últimos 3 años disminuyeron de 9.23 a 6.62 (BCN, 2012) se estimo mediante proyecciones que para el año 2014 la inflación acumulada sea de 4.9%. Para el caso de la primera alternativa o alternativa nula solamente se tomó en cuenta la inflación ya que no hay una inversión en si y por tanto no existe un premio al riesgo Todos estos cálculos se establecen en el Anexo G.

Los resultados de comparar ambas alternativas mediante los indicadores financieros VAC Y CAUE se presentan en la Tabla 6.19

Tabla 6.19 Resultados de los Indicadores Financieros CAUE y VAC.

Indicador	Alternativa Nula TMAR = 4.9%	Alternativa del proyecto TMAR =15.3%
VAC	\$4017,030.0	\$1454,737.6
CAUE	\$384,398.3	\$252,405.2

Los valores del CAUE y el VAC del proyecto son muchos menores comparados a la alternativa de seguir tratando las aguas residuales con ENACAL, esto indican que se incurrirían en menos costos la puesta en marcha de la alternativa 2 y por lo tanto se prueba la rentabilidad del proyecto de construcción y operación de planta de tratamientos para la Industria Textil S.A.

VII. CONCLUSIONES

Al realizar la caracterización del agua residual de la Industria Textil S.A. se logró identificar que los efluentes líquidos presentan elevados valores de DQO, temperaturas, SDT, color, pH inestable, siendo el elevado color lo más crucial debido al uso extensivo de tintes y aditivos químicos, como polivinilo, alcohol, surfactantes, etc. El resultado de las concentraciones bajas de metales (muchas veces no identificables) se debe a que la industria actualmente ha optado por el uso de tintes de orígenes orgánicos los cuales presentan una mejor afinidad con las telas y reducen las cargas de contaminantes.

Otro de los aspectos de suma importancia son los resultados adquiridos de los cálculos de caudal, obteniendo valores que introducen a la Industria Textil S.A. dentro de las industrias nicaragüenses con mayor consumo de agua. Las derivaciones de estos resultados son consecuencias del tipo de proceso húmedo aplicado dentro del proceso productivo y especialmente en la etapa de lavado de telas, la cual hace uso del 75% del agua consumida por la industria. El caudal promedio actual fluctúa alrededor de los 18.3 L/s y se espera que, dentro de 15 años, este ascienda a 24.7 L/s con un caudal pico de 28.3 L/s (2, 005 m³/d).

Debido a que la relación DBO/DQO resultante fue de 0.35, la cual indica que el agua residual de la Industria Textil S.A. deberá ser sometida a un tratamiento mixto (Fisicoquímico y Biológico), se propone un tren de tratamiento que consiste de un pre-tratamiento básico, un tratamiento primario avanzado mediante coagulación-floculación, un tratamiento biológico con crecimiento adherido por medio de un sistema de filtros percoladores para la remoción de la carga orgánica biodegradable y por último un tratamiento de lodos provenientes de la línea de agua.

El tren de tratamiento seleccionado contiene una eficiencia teórica que supera remociones del 90% de los contaminantes de mayor impacto en las aguas vertidas, como es el caso de la DQO, DBO y Color que se removerán en un 97%, 95.5% y 98% respectivamente. Dichas remociones causan que la carga de contaminantes disminuya considerablemente y por consiguiente, el tratamiento sea capaz de mantener las concentraciones de los contaminantes por debajo de los rangos máximos permisibles por el Art. 43 del Decreto 33-95, aun para fluctuaciones de cargas máximas al día.

Los resultados obtenidos en el pre-diseño del sistema de tratamientos son congruentes con los valores reales y recomendados por la literatura. Además se adecúa a las limitaciones de área disponible por la industria, como se muestra el Anexo de Planos. El cálculo de las variables de diseño como Tiempo de Retención (θ_R), Cargar Hidráulica (HRLT), Velocidad Superficial (V_s), Potencias etc. mantendrán los efectos de circulación del caudal del agua residual en una dinámica interactiva entre cada unidad de tratamiento.

Por último la determinación de la conveniencia económica del sistema de tratamiento seleccionado, resulta del hecho de que no es viable tratar el agua residual de la Industria Textil S.A. con las tarifas propuestas en la Resolución No. CD-RE-0.36-2007 y las excesivas cargas de contaminantes que vierte este tipo de industrias. Los ahorros que se obtendrían por la cancelación del contrato con ENACAL serían mucho mayores que los costos totales de inversión y operación del sistema de tratamiento propuesto para el horizonte del proyecto.

VIII. RECOMENDACIONES

El tema del medio ambiente, junto a la imperante necesidad de asegurar su protección, ha alcanzado un preponderante lugar en la conciencia mundial, como es el caso de la escasez de los recursos acuíferos en el mundo actual que ha mermado muchas reservas en el planeta.

Tomando en cuenta que la reutilización de los recursos naturales es una solución al deterioro del medio ambiente y a la preservación de dichos recursos, se recomienda buscar opciones de reutilización de las aguas residuales industriales, un tema nuevo en la actualidad. Más y más industrias se suman a la consideración e incluso obtención de este tipo de tecnología especialmente aquellas que consumen grandes cantidades de agua potable, y se encuentran ubicadas en países los cuales el uso del agua es un privilegio que tiene un costo muy elevado por hacer uso de esta. Aunque estas no deberían de ser las únicas razones por optar a este tipo de tecnologías.

Nicaragua cuenta con grandes reservas de agua potable, por esto el costo del uso de agua no es tan elevado, aunque esto no debería de ser justificación alguna para que se consuma sin ninguna precaución. Por lo mismo se recomienda un estudio posterior al presente para la reutilización (potabilización) del agua residual de la Industria Nicaragüense Textil S.A. dentro de su proceso productivo. Esto incurriría tanto en costos por el incremento de la planta de tratamientos, como también en ahorros por la reducción de gran parte del consumo de agua en la planta.

Además se recomienda dar continuidad a este estudio para completar el diseño de la planta de tratamiento, realizar los estudios mecánicos, eléctricos y de automatización de cada unidad del sistema que lo requiera, así también un estudio minucioso de la mecánica de fluidos en el sistema.

IX. ABREVIATURAS Y SIMBOLOS

a:	Ancho de los Abarrotos, m
A:	Área, m ²
A _{is} :	Área Individual, m ²
A _s :	Área Superficial, m ²
β :	Tipo de Barra, m
β :	Constante del Material
b:	Ancho del Canal, m
B.L:	Borde Libres, m
C:	Ancho del Canal, m
C _C :	Carga de Contaminantes, Kg/año
C _D :	Coeficiente de Arrastre
C _h :	Carga Hidráulica, m ³ /m ² -d
CMF:	Carga Métrica del Filtrado, Kg/d
CM _S :	Carga Métrica de Sólidos, Kg/m-d
CL _P :	Cantidad de Lodos a Producir, Kg/d
C _v :	Carga del Vertedero, m ³ /m-h
C _s :	Carga Superficial, m ³ /m ² -min
C _{sA} :	Carga de Sólidos en el Afluente, Kg/d
C _{SST} :	Carga de Sólidos, Kg/m ² .min
C _{SSTf} :	Carga de SST en el Filtrado, Kg/d
C _{SSTT} :	Carga de SST en la Torta, Kg/d
Cobro _{DQO} :	Cobro por Tratamiento de DBO
Cobro _{SST} :	Cobro por Tratamiento de ST, \$/año
Costos _A :	Costos de Análisis de Laboratorio, \$/año
Costos _E :	Costos de Energía, \$/año
Costos _Q :	Costos por Químicos, \$/año
Costos _{msnt} :	Costos de Mantenimiento, \$/año
Costos _{OP} :	Costos de Operación, \$/año
d:	Profundidad, m
D:	Diámetro, m
DBO _{ef1} :	DBO en el Efluente de la Sedimentación Primaria, mg/L
DBO _{ef2} :	DBO Deseado el Efluente Secundario, mg/L
D _P :	Diámetro de la Partícula, cm
D _{pm} :	Dosis de Polímero, Kg/TM
D _v :	Diámetro del Vertedero, m
E:	Eficiencia Total del Filtro
E ₁ :	Eficiencia del Filtro 1
E ₂ :	Eficiencia del Filtro 2
ER:	Recuperación de los Lodos, %
f:	Coeficiente de Fricción
F:	Factor de Diseño
F _{BO} :	Flujo Óptimo en la Banda, m ³ /h
F _c :	Factor de Concentración

F_R :	Factor de Recirculación en el Filtro
g :	Gravedad, m^2/s
h :	Altura, m
h^* :	Altura por Pérdidas del Canal, m
H :	Perdida de Carga, m
H_{LB} :	Carga Hidráulica de la Banda
HLR :	Carga Hidráulica, m^3/m^2-d
H_T :	Altura Total, m
I_o :	Inversión Inicial, \$
i :	Incremento
k :	Coefficiente de Forma
L :	Longitud, m
L_{DBO} :	Lodos Biológicos Producidos por DBO, Kg/d
L_e :	Longitud de Entrada, m
L_{max} :	Longitud Máxima, m
L_{T2} :	Lodos Totales Secundarios, Kg/d
L_p :	Longitud de la Periferia, m
L_s :	Longitud de Salida, m
L_{SST1} :	Lodos Primarios por SST, Kg/d
L_{SST2} :	Lodos Secundarios por SST, Kg/d
L_v :	Longitud del Vertedero de Salida, m
L_{SST2} :	Lodos Secundarios por SST, Kg/d
M_{SST} :	Masa de Lodos Removidos por SST, Kg/d
n :	Coefficiente de Manning
N :	Número de Barras
N_v :	Número de Vertederos
P :	Presión de Funcionamiento, atm
P_H :	Perímetro Húmedo, m
PU :	Precio Unitario, \$/kWh
q :	Caudal de la Torta de Lodos, m^3/d
Q :	Caudal, m^3/s
Q_{ARL} :	Caudal de Agua Reducida del Lodo, m^3/d
Q_f :	Caudal de Filtrado, m^3/d
Q_F :	Caudal a la Salida, m^3/s
Q_i :	Caudal Individual, m^3/s
Q_L :	Caudal de Lodos, m^3/d
Q_{L1} :	Caudal de Lodos Primarios, m^3/d
Q_{L2} :	Caudal de Lodos Secundario, m^3/d
$Q_{L25\%}$:	Caudal de Lodos a 25% de Sólidos, m^3/d
Q_{LT} :	Caudal de Lodos Total, m^3/d
Q_n :	Caudal para cada Año del Horizonte del Proyecto, v/t
Q_{pm} :	Caudal de Polímero, m^3/h
Q_o :	Caudal en el Año Cero, v/t
Q_R :	Caudal Reducido, %
R :	Radio Hidráulico, m
Re :	Número del Reynolds

R_E :	Requerimiento de Energía, KWh/m ³
Req_A^* :	Masa de Aire Despresurizado, Kg/d
s :	Separación Útil entre Barras, m
S :	Pendiente Hidráulica, m
S_a :	Solubilidad del Aire, cm ³ de Aire/ L Agua
S_s :	Sólidos Secos, %
S_g :	Gravedad Específica
SSP :	Sólido Seco Producidos, Kg/h
SST_R :	Sólidos Totales Removidos en el Sedimentador, mg/L
t_a :	Tirante de Agua, m
t_r :	Tiempo de Retención, min
ν :	Viscosidad Cinemática, cm ² /s
\vec{v}_s :	Velocidad de Sedimentación, cm/s
v :	Velocidad, m/s
V_a :	Volumen de Aire Requerido, m ³
V_{Amax} :	Volumen Acumulado Máximo, m ³
V_C :	Velocidad Crítica, m/s
v_e :	Velocidad Escurrimiento, m/s
V_s :	Velocidad de Sedimentación, cm/s
VS :	Valor de Salvamento, \$
V_{sup} :	Velocidad Superficial, m ³ /m ² -d
V_T :	Volumen Total, m ³
w :	Ancho, m
W_e :	Ancho de la Banda, m
wt :	Porcentaje en Peso 0.2% wt
X_o :	Concentración de Sólidos Totales, g/m ³
Y :	Fracción de Crecimiento Bacteriano, Kg SST/Kg DBO
θ :	Angulo de Inclinación, grados
$[SST]$:	Concentración de Sólidos Totales, mg/L
$[SST]_{Af1}$:	Concentración de SST en el Afluente, mg/L
$[SST]_{ef1}$:	Concentración de SST en el Efluente de los Lodos Primarios, mg/L
$[SST]_{ef1}$:	Concentración de SST en el Efluente Secundario, mg/L

X. BIBLIOGRAFÍA

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

American Society for Testing and Material. (1982). *Manual de Aguas para Uso Industriales*. Philadelphia Pennsylvania: Limusa México.

APHA, AWWA, WEF. (1998). *Método Estándar para la Examinación de Agua Potable y Aguas Residuales*, 20th edición. Washington, DC: APHA.

Assakkaf, I. (2000). *Introduction to Engineering Economics*. Maryland: ENCE.

Blank, L., & Tarquin, A. (2005). *Ingeniería Económica*. New York: McGraw Hill.

Cervantes R., Madero G., García M. (2010). *Tratamiento de Aguas*. México: Informe Educativo.

CGP+L. (2008). *Guía de Buenas Prácticas Ambientales para el Sector Textil de Guatemala*. Guatemala.

Corbitt, R. (1990). *Standard Handbook of Environmental Engineering*. New York: McGraw Hill.

Garces, L. F., & Peñuelo, G. A. (2007). Tratamiento de las Aguas Residuales de una Industria Textil utilizando Colector Solar. *Rev. Lasallista Investigación*, 4, pp. 2.

Ivester, A., & Neefus, J. (2012). Industrias Textiles y de la Confección. Madrid: Enciclopedia de la salud y seguridad del trabajo.

Lin, S. (2001). *Water and Wastewater Calculation Manual* (2nd Edition). New York: McGraw-Hill.

Marzio, D. W. (2004). Microbiología de Lodos Activados. *NIVEL*, pp.16-17.

Metcalf & Eddy Inc. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. (4th Edition) Estados Unidos: McGraw-Hill.

Nemerow, N. L., & Dasgupta, A. (1998). *Tratamiento de Vertidos Industriales y Peligrosos*. Madrid: Diaz Santos.

Netto, A. (1998). *Manual de Hidraulica*. Sao Paulo: EDGARD BLUCHER LDTA.

Ramalho, R. S. (2003). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona: Revertè.

Ramírez, C. R. (1991). *Tratamiento de Aguas Residuales Industriales*. México.

Ramos, R. (2003). *El Agua en el Medio Ambiente*. En R. R. Olmos. El agua en el medio ambiente Muestreo y análisis (pp. 47-51). California. Plaza y Valdés.

Resolución No. CD-RE-0.36-2007, 47 (Corte Suprema de Justicia, Nicaragua Julio 25, 2007).

Robles, F. (2010). *Tratamiento de Aguas para la Eliminación de Microorganismos y Agentes Contaminantes. Aplicación de Procesos Industriales a la Reutilización de Aguas Residuales*. España: Ediciones Días de Santos.

Romero, R. J. (2000). Potabilización del Agua. Cali, Colombia: Alfa Omega.

Sainz, J. (2005). *Tecnologías para la Sostenibilidad. Procesos y Operaciones Unitarias en Depuración de Aguas Residuales*. Madrid: Gregorio del amo.

Urbina, G. B. (2005). *Evaluación y Formulación de Proyectos*. México: Mc Graw Hills.

FUENTES ELECTRÓNICAS

Aguamarke. (s.f.). Recuperado el 15 Abril de 2013, de <http://www.aguamarket.com>

Alibaba. (s.f.). Recuperado el 10 de Abril de 2013, de <http://www.alibaba.com/productgs/>

Barba, L. (2002). Obtenido de biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. Recuperado el 10 de febrero de 2013, de:
<http://www.bvsde.paho.org/bvsaar/e/fulltext/gestion/conceptos.pdf>

Barreiro, A. (2000). Revista Trimestral Latinoamericana y Caribeña de Desarrollo Sostenible. Recuperado el 6 de Abril del 2013
http://www.revistafuturos.info/download/down_16/diccionario_amb.PDF

BCN. (s.f.). Recuperado el 12 Abril de 2013, de;
http://www.bcn.gob.ni/estadisticas/mercado_cambios/tipo_cambio/cambio_historico

Capac. (s.f.). Recuperado el 13 de Abril del 2013, de
http://www.capac.org/web/Portals/0/biblioteca_virtual/

Sinia (s.f) Recuperado el 12 de Abril del 2013, de <http://www.sinia.cl/1292>

Suarez, A. (2003). Eliminación de Lodos de una EDAR. Recuperado el 20 de Febrero de 2013, de: http://prueba2.aguapedia.org/master/ponencias/pdf/lodos_d.pdf

INAA, Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados. (2004). *Guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistema de tratamiento de aguas residuales*. Recuperado el 10 de Abril del 2013, de www.inaa.gob.ni/documentos/Normativas/

Manual HACH DR 5000. (2005). <http://www.hach.com>

MARENA, Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales. (1995). Decreto 33 -95: *Reglamento para los vertidos de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillados sanitarios*. Recuperado el 15 de Febrero del 2013, de <http://www.marena.gob.ni/>

ANEXO A. FICHAS DE MUESTREO

A.1 FICHA DE CAMPO

Tabla A.1 Muestreo 1.

Fecha: Enero	
Lugar: Canal	
Número del muestreo: 1	
Parámetros In Situ	Valor Obtenido
Temperatura (°C)	38.5
pH	8.8

Tabla A.2 Muestreo 2.

Fecha: Febrero	
Lugar: Canal	
Número del muestreo: 2	
Parámetros In Situ	Valor Obtenido
Temperatura (°C)	39.0
pH	9.6

Tabla A.3 Muestreo 3.

Fecha: Febrero	
Lugar: Canal	
Número del muestreo: 3	
Parámetros In Situ	Valor Obtenido
Temperatura (°C)	40.0
pH	9.9

Tabla A.4 Muestreo 4.

Fecha :Marzo	
Lugar: Canal	
Número del muestreo: 4	
Parámetros In Situ	Valor Obtenido
Temperatura (°C)	39.0
pH	9.2

A.2 FICHA DE ANÁLISIS

Tabla A.5 Muestreo 1.

Muestreo: 1	Valores			Análisis de los Valores		
	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio	Desviación	Varianza
Color (mg/L Pt-Co)	1083.0	1018.0	1077.0	1059.3	35.9	1290.3
SST (mg/L)	457.1	440.0	442.9	446.7	9.2	84.4
SS (mg/L)	ND	ND	ND	ND	ND	ND
DBO (mg/L)	1191.4	1177.4	1182.8	1183.9	7.05	49.7
DQO (mg/L)	3346.6	3335.4	3360.2	3347.4	12.4	154.8
Sulfitos (mg/L)	3.4	3.4	3.4	3.4	0.016	2.6×10^{-04}
Sulfuros (mg/L)	0.777	0.765	0.789	0.777	0.012	1.4×10^{-04}
Nitrógeno Amoniacal (mq/L)	4.4	4.3	4.1	4.3	0.153	0.023
Cromo Total (mg/L)		0.090				
Cromo Hexavalente (mg/L)		0.020				
Zinc (mg/L)		0.233				
Fósforo Total (mq/L)		8.3				
Fenoles (mg/L)		12.4				
Detergentes (mg/L)		16.9				
Aceites y Grasas (mg/L)		26.0				
Nitrógeno Total (mg/L)		40.1				

R: Resultados

Tabla A.6 Muestreo 2.

Muestreo: 2	Valores			Análisis de los Valores		
	Replica 1	Replica 2	Replica 3	Promedio	Desviación	Varianza
Color (mg/L Pt-Co)	4240.0	4255.0	4210.0	4235.0	22.9	525.0
SST (mg/L)	411.4	414.3	417.1	414.3	2.9	8.2
SS (mg/L)		ND		ND	ND	ND
DBO (mg/L)	1151.6	1148.0	1144.8	1148.1	3.38	11.4
DQO (mg/L)	3337.9	3326.7	3328.0	3330.8	6.1	37.5
Sulfitos (mg/L)	3.5	3.4	3.4	3.4	0.047	2.2×10^{-03}
Sulfuros (mg/L)	0.920	0.880	1.020	0.940	0.072	5.2×10^{-03}
Nitrógeno Amoniacal (mq/L)	3.1	3.2	3.1	3.1	0.058	0.003
Cromo Total (mg/L)		0.100				
Cromo Hexavalente (mg/L)		0.024				
Zinc (mg/L)		0.174				
Fósforo Total (mq/L)		10.4				
Fenoles (mg/L)		17.6				
Detergentes (mg/L)		15.6				
Aceites y Grasas (mg/L)		35.0				
Nitrógeno Total (mg/L)		30.1				

R: Resultados

Tabla A.7 Muestreo 3.

Muestreo: 3	Valores			Análisis de los Valores		
Parámetro	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio	Desviación	Varianza
Color (mg/L Pt-Co)	5000.0	5279.0	5120.0	5133.0	140.0	19587.0
SST (mg/L)	500.1	486.0	502.0	496.0	8.7	76.4
SS (mg/L)		ND		ND	ND	ND
DBO (mg/L)	1371.2	1367.9	1366.7	1368.6	2.32	5.4
DQO (mg/L)	4093.0	4076.0	4082.0	4083.7	8.6	74.3
Sulfitos (mg/L)	4.5	4.5	4.5	4.5	0.031	9.3×10^{-04}
Sulfuros (mg/L)	0.650	0.610	0.630	0.630	0.020	4.0×10^{-04}
Nitrógeno Amoniacal (mq/L)	3.6	3.4	3.4	3.5	0.115	0.013
Cromo Total (mg/L)		0.400				
Cromo Hexavalente (mg/L)		0.029				
Zinc (mg/L)		0.600				
Fósforo Total (mq/L)		7.1				
Fenoles (mg/L)		19.34				
Detergentes (mg/L)		18.9				
Aceites y Grasas (mg/L)		50.0				
Nitrógeno Total (mg/L)		44.6				

R: Resultados

Tabla A.8 Muestreo 4.

Muestreo: 4	Valores			Análisis de los Valores		
Parámetro	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio	Desviación	Varianza
Color (mg/L Pt-Co)	3300.0	3360.0	3330.0	3330.0	30.0	900.0
SST (mg/L)	394.3	391.4	385.7	390.5	4.4	19.0
SS (mg/L)		ND		ND	ND	ND
DBO (mg/L)	964.8	987.2	983.6	978.6	12.0	144.6
DQO (mg/L)	2802.3	2794.3	2792.0	2796.2	5.4	29.2
Sulfitos (mg/L)	3.1	2.9	3.1	3.0	0.101	1.0×10^{-02}
Sulfuros (mg/L)	0.280	0.290	0.270	0.280	0.010	1.0×10^{-04}
Nitrógeno Amoniacal (mq/L)	5.6	5.0	6.0	5.5	0.503	0.25
Cromo Total (mg/L)		0.060				
Cromo Hexavalente (mg/L)		0.016				
Zinc (mg/L)		0.120				
Fósforo Total (mq/L)		8.7				
Fenoles (mg/L)		16.3				
Detergentes (mg/L)		12.7				
Aceites y Grasas (mg/L)		13.0				
Nitrógeno Total (mg/L)		38.75				

R: Resultados

ANEXO B**ASPECTOS LEGALES**

Arto. 43.- Las descargas de aguas residuales en forma directa o indirecta a cuerpos receptores provenientes de la Industria de Textiles, deberán cumplir con los rangos y límites máximos permisibles descritos a continuación:

Tabla B.1 Valores Máximos Permisibles para Parámetros de la Industria Textil.

Parámetro	Valores Máximos Permisibles o Rangos
Temperatura (°C)	40
pH	6–9
Color (mg/L Pt-Co)	200 (Ninguna coloración visible de las aguas residuales)
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	100
Sólidos Sedimentables (mg/L)	1
DBO ₅ (20 °C y Filtrada) (mg/L)	75
DQO (mg/L)	250
Cromo Total (mg/L)	1
Cromo Hexavalente (mg/L)	0.500
Plomo Total (mg/L)	0.500
Sulfuros (mg/L)	1
Sulfitos (mg/L)	1
Zinc (mg/L)	2
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	10
Fósforo Total (mg/L)	2
Fenoles (mg/L)	0.500
Detergentes (mg/L)	2
Aceites y Grasas Totales (mg/L)	15

Fuente: Adaptado de la Gaceta 2002.

ANEXO C

CARACTERIZACIÓN

Tabla C.1 Valores Promedios de cada Muestreo.

	PM1	PM2	PM3	PM4	Promedio	Varianza	Desviación Estandar
pH	8.8	9.6	9.9	9.2	9.4	0.180	0.424
Color (Pt-Co)	1059.3	4235.0	5133.0	3330.0	3439.3	2294486.5	1514.8
SST (mg/L)	446.7	414.3	496.0	390.5	436.9	1564.7	39.6
SS (mg/L)					ND	0.0	
DBO (mg/L)	1183.9	1148.1	1368.6	978.6	1169.8	19187.7	138.5
DQO (mg/L)	3347.4	3330.8	4083.7	2796.2	3389.5	209773.7	458.0
Cromo Total (mg/L)	0.090	0.100	0.400	0.060	0.163	0.019	0.138
Cromo Hexavalente (mg/L)	0.020	0.024	0.029	0.016	0.022	0.000	0.005
Sulfitos (mg/L)	3.4	3.4	4.5	3.0	3.6	0.310	0.557
Sulfuros (mg/L)	0.777	0.940	0.630	0.280	0.657	0.059	0.244
Zinc (mg/L)	0.233	0.174	0.600	0.120	0.282	0.035	0.188
Nitrógeno Amoniacal (mg/L)	4.3	3.1	3.5	5.5	4.1	0.854	0.924
Fósforo Total (mg/L)	8.3	10.4	7.1	8.7	8.6	1.4	1.2
Fenoles (mg/L)	16.9	15.6	17.3	12.7	15.6	3.2	1.8
Detergentes (mg/L)	16.9	15.6	18.9	12.7	16.0	5.1	2.3
Aceites y Grasas (mg/L)	26.0	35.0	50.0	13.0	31.0	181.5	13.5
Nitrógeno Total (mg/L)	40.1	30.1	44.6	38.8	38.4	27.6	5.3

Tabla C.2 Cálculo de Sólidos.

	Muestreo 1			Muestreo 2			Muestreo 3			Muestreo 4		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Sólidos Totales												
A (mg)	91941.9	91978.1	91198.2	27487.1	27538.2	30220.6	27552.5	30239.2	29646.7	30186.4	27497.2	29592.4
B (mg)	91533.3	91572.9	90789.0	27204.0	27255.0	29938.0	27249.0	29936.8	29343.1	29927.1	27239.0	29334.5
V ₁ (mL)	50.0	50.0	50.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
mg ST/L	8172.0	8104.0	8184.0	8088.6	8091.4	8074.3	8671.4	8640.0	8674.3	7408.6	7377.1	7368.6
Sólidos Suspendidos Totales												
C (mg)	27343.5	30072.6	27383.7	127.5	91683.1	90881.8	92813.9	88285.8	87860.1	125.8	130.5	128.4
D (mg)	27327.5	30057.2	27368.2	113.1	91668.6	90867.2	92789.4	88261.5	87835.0	112.0	116.8	114.9
V ₁ (mL)	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	50.0	50.0	50.0	35.0	35.0	35.0
mg SST/L	457.1	440.0	442.9	411.4	414.3	417.1	490.0	486.0	502.0	394.3	391.4	385.7
Sólidos Disueltos Totales												
E (mg)	27478.4	30138.9	27526.5	88403.8	88035.4	92948.3	93081.5	88546.1	88123.5	92910.4	87947.1	91860.3
F (mg)	27209.0	29870.4	27256.0	88135.1	87767.6	92680.4	92672.5	88138.5	87715.3	92665.2	87702.6	91616.0
V ₁ (mL)	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	50.0	50.0	50.0	35.0	35.0	35.0
mg SDT/L	7697.1	7671.4	7728.6	7677.1	7651.4	7654.3	8180.0	8152.0	8164.0	7005.7	6985.7	6980.0
Sólidos Volátiles												
A o E (mg)	27478.4	30138.9	27526.5	27487.1	27538.2	30220.6	27552.5	30239.2	29646.7	30186.4	27497.2	29592.4
G (mg)	27398.4	30059.3	27446.8	27403.7	27455.6	30137.3	27452.5	30138.5	29546.5	30103.7	27415.6	29509.2
V ₂ (mL)	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
mg SV/L	2285.7	2274.3	2277.1	2382.9	2360.0	2380.0	2857.1	2877.1	2862.9	2362.9	2331.4	2377.1
Sólidos Fijos												
G (mg)	27398.4	30059.3	27446.8	27403.7	27455.6	30137.3	27452.5	30138.5	29546.5	30103.7	27415.6	29509.2
F o B (mg)	27209.0	29870.4	27256.0	27204.0	27255.0	29938.0	27249.0	29936.8	29343.1	29927.1	27239.0	29334.5
V ₁ o V ₂ (mL)	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0	35.0
mg SF/L	5411.4	5397.1	5451.4	5705.7	5731.4	5694.3	5814.3	5762.9	5811.4	5045.7	5045.7	4991.4

Tabla C.3 Prueba de Jarras.

pH	Color Inicial (mg/L Pt-Co)	Dosis de Coagulantes ppm	pH	Color Final (mg/L Pt-Co)	% Remoción
10	3720	20	9.8	1227.6	67%
		50	9.4	1004.4	73%
		100	9.0	930.0	75%
9.4	3720	20	8.7	2120.4	43%
		50	8.2	1636.8	56%
		100	7.9	1822.8	51%
8.5	3720	20	8.1	855.6	77%
		50	7.8	706.8	81%
		100	7.4	1153.2	69%
7.6	3720	20	7.4	706.8	81%
		50	7.3	558.0	85%
		100	6.5	446.4	88%

Tabla C.4 Porcentajes de Remoción por la Coagulación.

Dosis de Coagulante 50 ppm			
Parámetros Analizados	Valores Iniciales	Valores Finales	% de Remoción
pH	7.6	7.3	4%
Color, (mg/L Pt-Co)	3720	558.0	85%
DQO, (mg/L)	3423	308.1	91%
SST, (mg/L)	423	84.6	80%

ANEXO D

CUANTIFICACIÓN DE CAUDAL

Tabla D.1 Valores de Caudales Obtenidos por Muestreo.

Hora	M1 Q(L/s)	M2 Q(L/s)	M3 Q(L/s)	M4 Q(L/s)
8:00 AM	19.3	19.9	16.6	18.9
10:00 AM	17.5	20.1	20.3	19.6
12:00 PM	20.1	20.2	21.0	20.4
2:00 PM	19.8	20.0	20.9	19.9
4:00 PM	20.1	17.0	20.5	20.2
6:00 PM	19.6	18.1	19.3	20.1
8:00 PM	18.0	18.5	19.5	18.9
10:00 PM	16.5	19.3	17.2	18.6
12:00 AM	15.9	14.9	14.3	17.0
2:00 AM	15.6	17.5	17.1	19.9
4:00 AM	14.9	16.6	15.3	17.5
6:00 AM	16.0	16.4	17.7	17.0
Promedio	17.8	18.2	18.3	19.0

Tabla D.2 Datos Históricos de Caudales 2012.

Meses	Consumo de Agua (m ³ /d)	Agua Residual (m ³ /d)	Horas Promedio al Mes Trabajadas
Enero	1877.3	1507.6	22.5
Febrero	1773.6	1595.7	19.4
Marzo	1542.0	1310.7	16.3
Abril	1735.8	1475.4	20.3
Mayo	1549.3	1316.9	23.0
Junio	1880.9	1598.8	21.0
Julio	1336.7	1136.2	14.1
Agosto	1432.5	1217.6	19.0
Septiembre	1856.2	1577.8	22.0
Octubre	2100.2	1785.2	17.3
Noviembre	2005.1	1704.3	24.5
Diciembre	1506.4	1280.4	17.0
Promedio	1711.5	1454.7	19.8

Fuente: Industria Textil S.A

Proyección del Caudal

Tabla D.3 Caudales Proyectados.

Año		Q (L/s)	Q (m ³ /s)	Q (m ³ /h)	Q (m ³ /d)
2013	0	21.0	0.021	75.6	1489.3
2014	1	21.4	0.021	77.1	1519.1
2015	2	21.8	0.022	78.7	1549.5
2016	3	22.3	0.022	80.2	1580.5
2017	4	22.7	0.023	81.8	1612.1
2018	5	23.2	0.023	83.5	1644.3
2019	6	23.6	0.024	85.1	1677.2
2020	7	24.1	0.024	86.8	1710.8
2021	8	24.6	0.025	88.6	1745.0
2022	9	25.1	0.025	90.3	1779.9
2023	10	25.6	0.026	92.2	1815.5
2024	11	26.1	0.026	94.0	1851.8
2025	12	26.6	0.027	95.9	1888.8
2026	13	27.2	0.027	97.8	1926.6
2027	14	27.7	0.028	99.8	1965.1
2028	15	28.3	0.028	101.7	2004.4
Con el 10% SD		31.1	0.031	111.9	2204.9

SD: Sobre diseño

ANEXO E

BALANCES DE CONTAMINANTES

Tabla E.1 Balances en el Desarenador.

	Entran	% Remoción	Remueven	Salen
pH	11.3	-	-	11.3
Temperatura (°C)	40	-	-	37
Color (mg/L Pt-Co)	5543.0	5%	277.1	5265.8
DQO (mg/L)	4297.7	5%	214.9	4082.8
DBO(mg/L)	1439.6	-	-	1439.6
SST (mg/L)	525.1	-	-	525.1
SS (mg/L)	ND	25%	-	ND
Cromo Total (mg/L)	0.042	-	-	0.042
Cromo Hexavalente (mg/L)	0.030	-	-	0.030
Plomo Total (mg/L)	-	-	-	-
Sulfuros (mg/L)	1.1	-	-	1.1
Sulfitos (mg/L)	4.8	-	-	4.8
Zinc (mg/L)	0.900	-	-	0.900
Nitrógeno de Amonio (mg/L)	6.0	-	-	6.0
Fósforo Total (mg/L)	9.6	-	-	9.6
Fenoles (mg/L)	20.3	-	-	20.3
Detergentes (mg/L)	19.8	-	-	19.8
Aceites y Grasas Totales (mg/L)	52.5	25%	13.1	39.4
Nitrógeno Total (mg/L)	38.4			38.4

Tabla E.2 Balances en el Homogenizador.

Parámetros	Entran	Producen/Remueven	Salen
pH	10.0	-	7.6
[HCO ₃] (mg/L)	825.0	55.1	769.9
[CO ₂] (mg/L)	0.155	36.7	36.9
DQO (mg/L)	0.0	-	0.0
DBO(mg/L)	0.0	-	0.0
TSS (mg/L)	525.1	-	525.1
SS (mg/L)	0.0	-	0.0
Aceites y Grasas (mg/L)	0.0	-	0.0

Tabla E.3 Balances en el Sistema de Flotación con Aire Disuelto.

	Entran	% Remoción	Remueven	Salen
pH	7.6			7.4
Temperatura (°C)	35			30
Color (mg/L Pt-Co)	5265.8	85%	4475.9	789.9
DQO (mg/L)	4082.8	91%	3715.3	367.4
DBO(mg/L)	1439.6	80%	1151.6	287.9
SST (mg/L)	525.1	80%	420.1	105.0
SS (mg/L)	ND	90%	ND	ND
Cromo Total (mg/L)	0.042	35%	0.015	0.027
Cromo Hexavalente (mg/L)	0.030	35%	0.011	0.020
Plomo Total (mg/L)	-	35%	-	-
Sulfuros (mg/L)	1.1	85%	0.910	0.161
Sulfitos (mg/L)	4.8	85%	4.1	0.715
Zinc (mg/L)	0.900	35%	0.315	0.585
Nitrógeno de Amonio (mg/L)	6.0	50%	3.0	3.0
Fósforo Total (mg/L)	9.6	55%	5.3	4.3
Fenoles (mg/L)	20.3	95%	19.3	1.0
Detergentes (mg/L)	19.8	90%	17.9	2.0
Aceites y Grasas Totales (mg/L)	39.4	85%	33.5	5.9
Nitrógeno Total (mg/L)	38.4	55%	21.1	17.3

Tabla E.4 Balance en la Coagulación.

Sustancia	Entra (mg/L)	Sustancia		Sale (mg/L)
		Reacionan	Producen	
Al^{+3}	4.1	3.8		0.203
HCO_3^-	769.9	26.1		743.8
CO_2	36.9		18.8	55.7
SO_4^{-2}	1.5		20.4	21.9
		pHo Verificado		pHs
Parámetro	7.6	7.6		7.4
pH				

Tabla E.5 Balances en cada Filtro Percolador.

	Entran	% Remoción	Remueven	Salen
pH	7.4			7.4
Temperatura (°C)	30			28
Color (mg/L Pt-Co)	789.9	90.0%	710.9	79.0
DQO (mg/L)	367.4	64.0%	235.2	132.3
DBO(mg/L)	287.9	68.7%	197.9	90.0
SST (mg/L)	105.0	55.0%	57.8	47.3
SS (mg/L)	ND	-	-	ND
Cromo Total (mg/L)	0.027	-	-	0.027
Cromo Hexavalente (mg/L)	0.020	-	-	0.020
Plomo Total (mg/L)	-	-	-	-
Sulfuros (mg/L)	0.161	-	-	0.161
Sulfitos (mg/L)	0.715	-	-	0.715
Zinc (mg/L)	0.585	-	-	0.585
Nitrógeno de Amonio (mg/L)	3.0	83.3%	2.5	0.500
Fósforo Total (mg/L)	4.3	66.7%	2.9	1.4
Fenoles (mg/L)	1.0	75.0%	0.762	0.254
Detergentes (mg/L)	2.0	35.0%	0.695	1.3
Aceites y Grasas Totales (mg/L)	5.9	65.0%	3.8	2.1
Nitrógeno Total (mg/L)	17.3	83.3%	14.4	2.9

Tabla E.6 Balances en el Sedimentador.

	Entran	% Remoción	Remueve	Salen
pH	7.4	-	-	7.4
Temperatura (°C)	28	-	-	28
Color (mg/L Pt-Co)	79.0	5%	3.9	75.0
DQO (mg/L)	132.3	20%	26.5	105.8
DBO(mg/L)	90.0	35%	31.5	58.5
SST (mg/L)	47.3	35%	16.5	30.7
SS (mg/L)	ND	-	-	ND
Cromo Total (mg/L)	0.027	-	-	0.027
Cromo Hexavalente (mg/L)	0.020	-	-	0.020
Plomo Total (mg/L)	-	-	-	-
Sulfuros (mg/L)	0.161	-	-	0.161
Sulfitos (mg/L)	0.715	-	-	0.715
Zinc (mg/L)	0.585	-	-	0.585
Nitrógeno de Amonio (mg/L)	0.500	-	-	0.500
Fósforo Total (mg/L)	1.4	-	-	1.4
Fenoles (mg/L)	0.254	-	-	0.254
Detergentes (mg/L)	1.3	-	-	1.3
Aceites y Grasas Totales (mg/L)	2.1	-	-	2.1
Nitrógeno Total (mg/L)	2.9	-	-	2.9

F.1 Canal de Entrada**Cálculos del Coeficiente de Forma (K)**

$$k = \frac{Q * n}{c^{8/3} * S^{1/2}} = \frac{0.031 \frac{m^3}{s} * 0.012}{(0.250 \text{ m})^{8/3} * (0.013 \text{ m})^{1/2}} = 0.132$$

Profundidad del Agua para el Canal (d)

$$d = 1.66240k^{0.74232}C = 1.66240(0.1315)^{0.74232} (0.250 \text{ m}) = 0.092 \text{ m}$$

Radio Hidráulico (R)

$$R = \frac{c * d}{c + 2d} = \frac{0.250 \text{ m} * 0.092 \text{ m}}{0.250 \text{ m} + 2(0.092 \text{ m})} = 0.039 \text{ m}$$

Velocidad de Escurrimiento (v)

$$v = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} = \frac{1}{0.012} * (0.039 \text{ m})^{2/3} * (0.013)^{1/2} = 1.1 \frac{m}{s}$$

Altura por Pérdida en el Canal (h)

$$h = s * L = 0.013 * 10 \text{ m} = 0.130 \text{ m}$$

Altura Total del Canal (H_T)

$$H_T = d + BL + h^* = 0.092 \text{ m} + 0.100 \text{ m} + 0.130 \text{ m} = 0.322 \text{ m}$$

Perímetro Húmedo (P_H)

$$P_H = c + 2h^* = 0.250 \text{ m} + 2(0.130 \text{ m}) = 0.894 \text{ m}$$

Área del Canal (A)

$$R = \frac{A}{P_H}$$

$$A = R * P_H = 0.039 \text{ m} * 0.894 \text{ m} = 0.035 \text{ m}$$

F.2 Rejillas

Ancho del Canal (b)

$$b = \left(\frac{c}{s} - 1\right)(s + a) + s = \left(\frac{0.250 \text{ m}}{0.020 \text{ m}} - 1\right)(0.020 \text{ m} + 0.020 \text{ m}) + 0.020 \text{ m} = 0.520 \text{ m}$$

Numero de Barras (N)

$$N = \frac{(b + s)}{(a + s)} = \frac{(0.520 \text{ m} + 0.020 \text{ m})}{(0.020 \text{ m} + 0.020 \text{ m})} = 14$$

Coefficiente (K)

$$K = \frac{Q * n}{b^{8/3} * S^{1/2}} = \frac{0.031 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0.012}{(0.520 \text{ m})^{8/3} * (0.010)^{1/2}} = 0.021$$

Profundidad (d)

$$d = 1.66240 k^{0.74232} * b = 1.66240 * 0.021^{0.74232} * 0.520 \text{ m} = 0.050 \text{ m}$$

Cálculo del Radio Hidráulico (R)

$$R = \frac{b * d}{b + 2d} = \frac{0.520 \text{ m} * 0.050 \text{ m}}{0.520 \text{ m} + 2(0.050 \text{ m})} = 0.042 \text{ m}$$

Velocidad de Escurrimiento (v)

$$v = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2} = \frac{1}{0.012} * (0.042 \text{ m})^{2/3} * (0.010)^{1/2} = 1.0 \text{ m/s}$$

Perdidas en las Rejillas (H)

$$H = \beta * \left(\frac{a}{s}\right)^{4/3} * \frac{V^2}{2g} \text{ Seno}(\phi) = 1.83 * \left(\frac{0.020 \text{ m}}{0.020 \text{ m}}\right)^{4/3} * \frac{\left(1.0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * \left(9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right)} * (\text{sen } 30) \\ = 0.047 \text{ m}$$

Área de las Rejillas (A)

$$A = \frac{Q}{V} = \frac{0.031 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1.0 \text{ m/s}} = 0.031 \text{ m}^2$$

Tirante de Agua (t_a)

$$t_a = \frac{A}{b} = \frac{0.031 \text{ m}^2}{0.520 \text{ m}} = 0.060 \text{ m}$$

Altura de las Rejillas (h)

$$h = y + BL = 0.060 \text{ m} + 0.100 \text{ m} = 0.160 \text{ m}$$

Longitud de las Rejillas (L)

$$L = \frac{hr}{\text{Seno}(\phi)} = \frac{0.160 \text{ m}}{\text{Seno}(45)} = 0.226 \text{ m}$$

Eficiencia de la Rejilla (E_{Fr})

$$E_{Fr} = \frac{S * N + 2(S)}{b} * 100\% = \frac{0.010\text{m} * 14 + 2(0.010\text{m})}{0.520\text{m}} * 100\% = 60\%$$

F.3 Desarenador

Velocidad de Sedimentación

Velocidad Inicial (V_s)

$$\vec{v}_s = 2.5 \text{ cm/s}$$

$$Re = \frac{D_p * \vec{v}_s}{\nu}$$

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.340$$

Velocidad de Sedimentación Recalculada

$$V_s = \sqrt{\frac{4}{3} \times \frac{g}{C_D} (S_g - 1) D_p}$$

Tabla F.1 Iteraciones.

v_{s0} cm/s	Re	Cd	v_s (cm/s)
2.50	5.88	5.66	2.63
2.63	6.20	5.42	2.69
2.69	6.33	5.32	2.72
2.72	6.39	5.28	2.73
2.73	6.41	5.27	2.73

$$V_s = 2.7 \text{ cm/s} = 0.027 \text{ m/s}$$

Velocidad Crítica (V_C)

$$\text{Para } \beta = 0.04, f = 0.03, D_p = 0.02 \text{ cm} = 2 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$V_C = \sqrt{\frac{\beta}{f} g(S_g - 1) D_p} = \sqrt{\frac{0.040}{0.030} * (9.81 \text{ m/s}^2) * (2.5 - 1) * (2 \times 10^{-4} \text{ m})}$$

$$= 0.177 \text{ m/s}$$

Área Superficial de Sedimentación (A_s)

$$A_s = \frac{Q_{af} + Q_{ARL}}{V_C} = \frac{0.031 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} + 3.93 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.180 \text{ m/s}} = 0.175 \text{ m}^2$$

Ancho de la Cámara Desarenadora (w)

$$w = 1.6 \text{ m}$$

Profundidad del Desarenador (d)

$$d = \frac{A_s}{w} + BL + H_A = \frac{0.180 \text{ m}^2}{1.6 \text{ m}} + 0.300 \text{ m} + 0.350 \text{ m} = 0.759 \text{ m}$$

Longitud de la Cámara Desarenadora (L)

$$\frac{V_s}{V_C} = \frac{H}{L}$$

$$L = \frac{H * V_C}{V_s} = \frac{0.760 \text{ m} * 0.180 \text{ m/s}}{0.027 \text{ m/s}} = 4.9 \text{ m}$$

$$L_{\max} = L + L_e + L_s = 4.9 \text{ m} + 0.500 \text{ m} + 0.500 \text{ m} = 5.9 \text{ m}$$

Volumen Total (V_T)

$$V_T = L_{\max} * H * w = 5.9 \text{ m} * 0.761 \text{ m} * 1.6 \text{ m} = 7.2 \text{ m}^3$$

Tiempo de Retención (t_r)

$$t_r = \frac{V_T}{Q} = \frac{7.2 \text{ m}^3}{0.031 \text{ m}^3/\text{s}} = 230.2 \text{ s} \approx 3.8 \text{ min}$$

F.4 Homogenizador

Tabla F.2 Cálculo del Volumen Máximo Acumulado.

Intervalo de Tiempo (Muestreo 3)	Caudal Promedio Horario Qp(m³/s)	Volumen del Efluente Horario,	Volumen Exedido a Almacenar (m³)	Volumen Acumulado (m³)
09:00	0.028	100.9	2.3	2.3
10:00	0.030	109.8	11.2	13.5
11:00	0.031	111.3	12.7	26.2
12:00	0.031	113.3	14.7	40.9
13:00	0.031	112.3	13.7	54.6
14:00	0.031	112.6	14.0	68.7
15:00	0.028	102.3	3.7	72.3
16:00	0.031	110.9	12.3	84.6
17:00	0.031	111.1	12.5	97.1
18:00	0.029	104.4	5.8	102.9
19:00	0.030	106.6	8.0	110.9
20:00	0.029	105.2	6.6	117.5
21:00	0.028	100.9	2.3	119.8
22:00	0.026	93.1	-5.5	114.3
23:00	0.023	81.4	-17.2	97.1
00:00	0.021	77.1	-21.5	75.6
01:00	0.022	78.4	-20.2	55.4
02:00	0.026	92.6	-6.1	49.3
03:00	0.023	83.9	-14.7	34.7
04:00	0.023	82.7	-15.9	18.8
05:00	0.026	92.5	-6.2	12.7
06:00	0.026	95.3	-3.3	9.4
07:00	0.027	98.0	-0.6	8.8
08:00	0.025	89.8	-8.8	0.0
Total	0.657	2366.5		
Promedio	0.027	98.6		

Volumen (V)

$$V = V_{Amax} = 119.8 \text{ m}^3$$

Altura del Tanque (h)

$$h = 7 \text{ m}$$

Área Superficial (As)

$$A_s = \frac{V}{h} = \frac{119.8 \text{ m}^3}{7 \text{ m}} = 17.1 \text{ m}^2$$

Diámetro (D)

$$D: \sqrt{\frac{V}{\pi * h}} = \sqrt{\frac{119.8 \text{ m}^3}{\pi * 7 \text{ m}}} = 4.7 \text{ m}$$

F.5 Neutralización

$$\text{pH} = \text{PKa} + \log \left[\frac{[\text{HCO}_3^-]}{\frac{61}{\text{CO}_2}} \right] \text{ con PKa} = 6.42$$

Tabla F.3 Método de Tanteo para el Cálculo de Concentraciones HCO_3^- y CO_2 .

Encontrando Concentraciones Iniciales por el Método de Tanteo			Ajuste de pH o Neutralización	
$[\text{HCO}_3^-]_o$	$[\text{CO}_2]_o$	pH_o	pH_s	X
300.0	5.0	8.1	7.6	0.835
350.0	4.5	8.2		
400.0	4.0	8.3		
450.0	3.5	8.4	Dosis del H_2SO_4 (mg/L)	
500.0	3.0	8.5	81.8	
550.0	2.5	8.6		
600.0	2.0	8.8	$[\text{HCO}_3^-]_s$	$[\text{CO}_2]_s$
650.0	1.5	8.9	769.9	36.9
700.0	1.0	9.1		
750.0	0.500	9.5	Peso Molecular del H_2SO_4 (mg/L)	
800.0	0.200	9.9	98.0	
825.0	0.160	10.0		

Ajuste de pH y Cantidad de la Sal Requerida

$$\text{pH} = 7.6 = \text{PKa} + \log \left[\frac{[\text{HCO}_3^-]/61 - x}{[\text{CO}_2]/44 + x} \right] = 6.42 + \log \left[\frac{825/61 - x}{0.160/44 + x} \right]$$

$$x = 0.835 \text{ mmol/L}$$

$$[\text{sal}]_{\text{Requerida}} = x * \text{PM}_{\text{sal}} = \frac{0.835 \text{ mmol}}{\text{L}} * 98 \frac{\text{mg}}{\text{mmol}} = 81.8 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

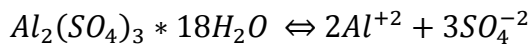
Concentraciones del Ácido y la Base Después de la Neutralización

$$[\text{HCO}_3]_s = [\text{HCO}_3]_0 - x * \text{PM}_{\text{HCO}_3} = 825 - 0.835 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} * 61 \frac{\text{mg}}{\text{mmol}} = 769.9 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

$$[\text{CO}_2]_s = [\text{CO}_2]_0 - x * \text{PM}_{\text{CO}_2} = 0.160 + 0.835 \frac{\text{mmol}}{\text{L}} * 44 \frac{\text{mg}}{\text{mmol}} = 36.9 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

F.6 Coagulación

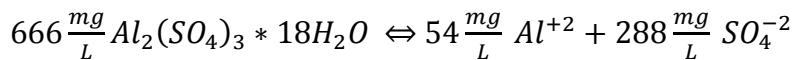
Balances de Entrada y Salida en la Coagulación



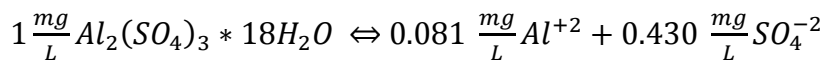
Con base de cálculo 1L

$$M * \text{PM} = \frac{\text{mmol}}{\text{L}} * \frac{\text{mg}}{\text{mmol}} = \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

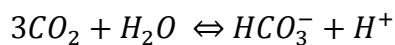
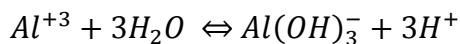
Por Estequiometria



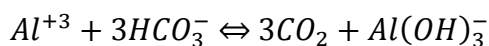
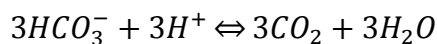
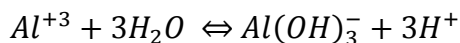
Dividiendo entre 666 se obtiene la ecuación general utilizada para los cálculos SO_4^{-2}



Para los cálculos de CO_2 , HCO_3^- , y pH los balances iónicos

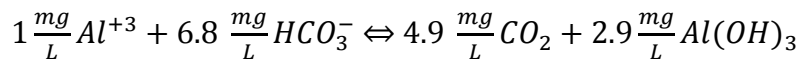


Invirtiendo la ecuación anterior multiplicada por 3 y dividiendo se obtiene;

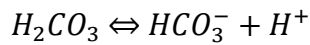


Resolviendo el balance de estequiometria con sus respectivos pesos moleculares y dividiendo entre:

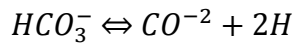
$$PM_{Al^{+3}} = 27 \frac{mg}{L};$$



Primera Ionización



Segunda Ionización



Para CO_2 de 36.9 mg/L y HCO_3^- 769.9 mg/L y $pK_1 = 6.42$

Conversión de mg a mol

$$CO_2 = 36.9 \frac{mg}{L} \div 44 \frac{mg}{mmol} * \frac{mol}{0.001 mmol} = 838.6 \frac{mol}{L}$$

$$HCO_3^- = 769.9 \frac{mg}{L} \div 61 \frac{mg}{mmol} * \frac{mol}{0.001 mmol} = 12621.1 \frac{mol}{L}$$

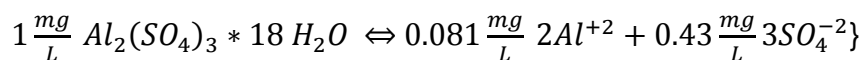
$$pK_1 = 6.42$$

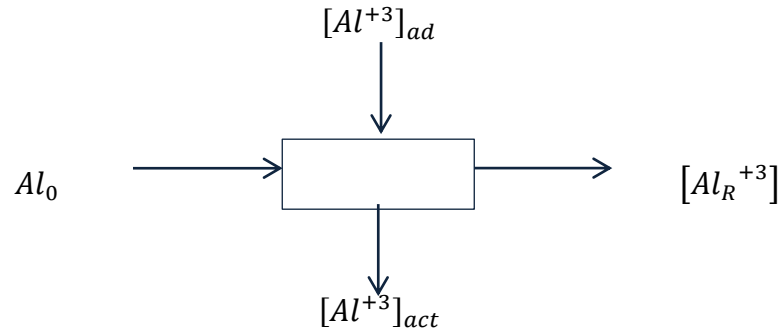
$$pH_0 = pK_1 + \log \frac{HCO_3^-}{CO_2} = 6.42 + \log \frac{769.9 \frac{mg}{mmol}}{36.9 \frac{mg}{mmol}} = 7.6$$

pH real a la entrada

$$pH_0 = 7.6$$

Balance para el Al





Dosis de la Sal Adicionada

$$50 \frac{mg}{L} Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$$

Concentración de Aluminio en la Sal

$$[Al^{+3}]_{ad} = 4 \text{ mg/L}$$

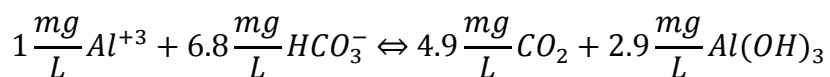
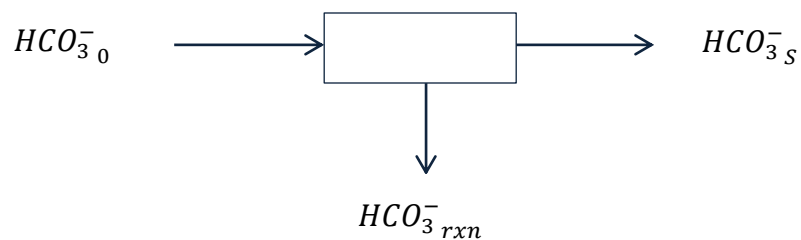
Aluminio Actuando

$$[Al^{+3}]_{act} = [Al^{+3}]_{ad} \cdot \frac{95\%}{100\%} = 4 \frac{mg}{L} \cdot \frac{95\%}{100\%} = 3.9 \text{ mg/L}$$

Aluminio Residual

$$Al_R^{+3} = [Al^{+3}]_{ad} - [Al^{+3}]_{act} = 4 \frac{mg}{L} - 3.9 \frac{mg}{L} = 0.200 \frac{mg}{L}$$

Balance para HCO_3^-



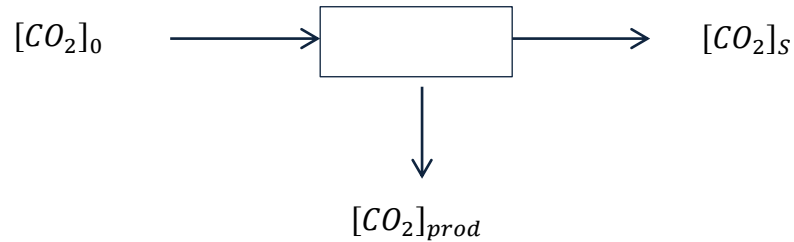
Por estequiometria

$$[HCO_3^-]_{rxn} = [Al^{+3}]_{act} \cdot HCO_3^- = 3.9 \frac{mg}{L} \cdot 6.8 \frac{mg}{L} = 26 \frac{mg}{L}$$

Concentración de HCO_3^- a la salida

$$[HCO_3^-]_s = [HCO_3^-]_0 - [HCO_3^-]_{rxn} = 769.9 \frac{mg}{L} - 26 \frac{mg}{L} = 743.8 \frac{mg}{L}$$

Balances para el CO_2



Utilizando el balance

$$[CO_2]_{prod} = [Al^{+3}]_{act} * CO_2 = 3.9 \frac{mg}{L} * 4.9 \frac{mg}{L} = 18.8 \frac{mg}{L}$$

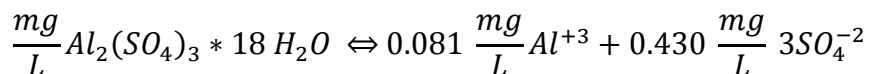
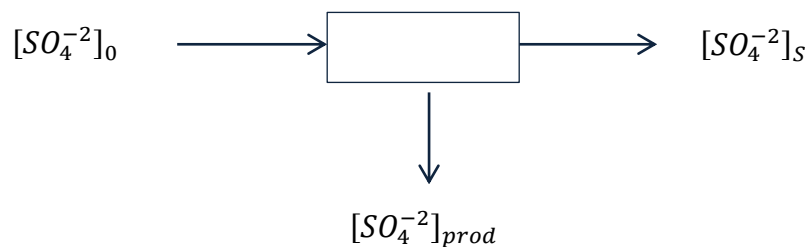
Concentración de CO_2 a la Salida

$$[CO_2]_s = [CO_2]_0 + [CO_2]_{prod} = 36.9 \frac{mg}{L} + 18.8 \frac{mg}{L} = 55.7 \frac{mg}{L}$$

Verificando pH a la Salida

$$pH_s = pK_1 + \log \frac{[HCO_3^-]_s}{[CO_2]_s} = 6.42 + \frac{743.8 \frac{mmol}{mg}}{55.7 \frac{mg}{mmol}} = 7.4$$

Balances para $[SO_4^{-2}]$



$$[SO_4^{-2}]_{prod} = \frac{[Al^{+3}]_{act} * SO_4^{-2}}{Al^{+3}} = \frac{3.9 \frac{mg}{L} * 0.430 \frac{mg}{L}}{0.081 \frac{mg}{L}} = 20.4 \frac{mg}{L}$$

Concentración de SO_4^{-2} a la Salida

$$[SO_4^{-2}]_S = [SO_4^{-2}]_0 + [SO_4^{-2}]_{prod} = 1.5 \frac{mg}{L} + 20.4 \frac{mg}{L} = 21.9 \frac{mg}{L}$$

F.7 Flotación por Aire Disuelto

Tabla F.4 Solubilidad del Aire en Agua a Presiones Atmosférica y Diferentes Temperaturas.

Temperatura (°C)	S_a (cm ³ /L)
0	29.2
10	22.8
20	18.7
30	15.7

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)

$$S_a = \frac{S_{a_2} - S_{a_1}}{T_2 - T_1} (T - T_1) + S_{a_1} = \frac{15.7 \frac{cm^3}{L} - 18.7 \frac{cm^3}{L}}{30^\circ C - 20^\circ C} (28^\circ C - 20^\circ C) + 18.7 \frac{cm^3}{L}$$

$$= 16.3 \frac{cm^3}{L}$$

$$S_a [mL/L] = 16.3 \frac{cm^3 \text{ de aire}}{L \text{ agua}}$$

Concentración de SST a la Entrada (X_0)

$$X_0 = 525.1 \frac{mg}{L} = 0.525 \frac{Kg}{m^3}$$

$$S_a = 16.3 \frac{cm^3 \text{ aire}}{L \text{ agua}} * \frac{1m^3 \text{ aire}}{1 \times 10^6} * \frac{1000 L \text{ agua}}{1 \times 10^6 cm^3 \text{ aire}} = 16.3 \times 10^{-3} \frac{m^3 \text{ aire}}{m^3 \text{ Agua}}$$

$$A^*/S = \frac{1.2S_a(FP - 1)}{X_0}$$

Presión de Descarga

Despejando P

$$P = \left(\frac{1}{F}\right) \left[\frac{\left(\frac{A^*}{S}\right) X_0}{1.2S_a + 1} \right] = \left(\frac{1}{0.5}\right) \left[\frac{(0.005) * 0.525 \frac{Kg}{m^3}}{1.2 \left(16.3 \times 10^{-3} \frac{m^3 \text{ aire}}{m^3 \text{ Agua}}\right) + 1} \right] = 2.27 \text{ atm}$$

Área Superficial Requerida (As)

$$C_s = 0.100 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{min}$$

$$Q_p = 0.032 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 1.9 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$A_s = \frac{Q_p}{C_s} = \frac{1.9 \text{ m}^3/\text{min}}{0.100 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{min}} = 18.9 \text{ m}^2$$

Verificación de la Carga de Sólidos

$$C_{SST} = \frac{Q_p * []_{SST}}{A_s} = \frac{1.9 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} * 525.1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}}{18.9 \text{ m}^2 * 1 \times 10^{-6} \frac{\text{mg}}{\text{Kg}}} = 0.050 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2 - \text{min}}$$

Carga de Sólidos en el Afluente (S)

$$S = []_{SST} * Q = \frac{\left[525.1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 0.032 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 86400 \frac{\text{s}}{\text{d}} \right]}{1000 \frac{\text{mg} - \text{m}^3}{\text{Kg} - \text{L}}} = 1428.2 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}$$

$$A^* = \frac{A^*}{S} * S$$

$$A^* = 0.005 * 1428.2 \frac{\text{Kg}}{\text{d}} = 7.1 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}$$

Volumen de Aire Requerido (Va)

$$V_a = \frac{A^*}{\rho_{\text{aire}}} = \frac{7.1 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}}{1.2998 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 5.5 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$Q_p = 0.032 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 2719.8 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Masa de Sólidos Removidos (M_{SR})

$$M_{SR} = Q_p * X_0 * \%Remoción = 2719.8 \frac{m^3}{d} * 0.525 \frac{Kg}{m^3} * 0.8 = 1142.5 \frac{Kg}{d}$$

$$Q_{L1} = \frac{M_{SR}}{S_g * \rho_a * \%Sólidos} = \frac{1142.5 \frac{Kg}{d}}{1.1 * 1000 \frac{Kg}{m^3} * 0.040} = 26 \frac{m^3}{d}$$

Caudal de diseño a la salida del DAF

$$Q_p^* = Q_p - Q_{L1} = 0.032 \frac{m^3}{s} - \frac{26 \frac{m^3}{d}}{86400 \frac{s}{d}} = 0.031 \frac{m^3}{s}$$

Dimensiones del Tanque

Altura (h)

$$h = 2.5 \text{ m}$$

Volumen del Tanque (V)

$$V = h * A_s = 2.5 \text{ m} * 18.9 \text{ m}^2 = 47.2 \text{ m}^3$$

Longitud (L)

$$L = 5.5 \text{ m}$$

Ancho (W)

$$W = \frac{A_s}{L} = \frac{18.9 \text{ m}^2}{5.5 \text{ m}} = 3.4 \text{ m}$$

F.8 Floculación

Presión de Funcionamiento del DAF (Descarga las Burbujas) (P_d)

$$P_d = 2.3 \text{ atm} = 230 \frac{KN}{m^2}$$

Volumen del Aire en la Descarga del DAF (Va)

$$V_a = 5.5 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Presión Atmosférica (Pa)

$$P_a = 101.3 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}$$

Propiedades del Aire

$$P_c = 37.2 \text{ atm}$$

$$T_c = -140.7 \text{ }^\circ\text{C} = 132.5 \text{ K}$$

$$R = 0.0821 \frac{\text{atm} \cdot \text{L}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

$$a = \frac{27R^2T_c}{64P_c} = 0.001$$

$$b = \frac{RT_c}{8P_c} = 0.012$$

Con la ecuación de Van der Waals y el uso de Matlab se realizaron las iteraciones con el método de Newton Rapson se obtiene el volumen molar a la presión de descarga.

$$\left(P_d + \frac{a}{\bar{V}^2}\right)(\bar{V} - b) = RT$$

Volumen del Aire a la Presión de Descarga de las Burbujas (\bar{V})

$$\bar{V} = 3.75 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$$

$$\bar{V} = \frac{V}{n} \rightarrow n = \frac{V_a}{\bar{V}} = \frac{5.5 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{3.8 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}} = 1464.6 \frac{\text{mol}}{\text{d}}$$

$$n = 1464.6 \frac{\text{mol}}{\text{d}}$$

Con los moles de aire requerido y la presión atmosférica usando las herramientas de Matlab se calcula el volumen molar a presión atmosférica.

Volumen del Aire a la Presión de Atmosféricas de las Burbujas (V_a^*)

$$\bar{V} = 8.5 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$$

$$\bar{V} = \frac{V_a^*}{n} \rightarrow V_a^* = \bar{V} * n = 8.5 \times 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}} * 1464.6 \frac{\text{mol}}{\text{d}} = 12.5 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$V_a^* = 12.5 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 1.4 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Potencia Disipada (Pt)

$$P_t = P_a V_a^* \ln \frac{P_d}{P_a} = 101.3 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} * 1.4 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \ln \frac{230 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}}{101.3 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2}} = 0.012 \text{ KW}$$

$$P_t = 12 \text{ W}$$

Viscosidad del agua residual textil con concentraciones de DQO entre los rangos de (2000 mg/L – 4500 mg/L)

$$\mu = 1.5 \times 10^{-3} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

Volumen del DAF (V)

$$V = 47.2 \text{ m}^3$$

Gradiente de Velocidad (G)

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} = \sqrt{\frac{11.9 \text{ W}}{1.5 \times 10^{-3} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} * 47.2 \text{ m}^3}} = 84.5 \text{ s}^{-1}$$

Iteraciones con Matlab

```
% Solución de la Ecuación de Van der Walls para el volumen del aire en  
el DAF con Newton Raphson
```

```
% Método de Newton Rhapsion
```

```
clear all
```

```
P=input('ingrese P en atm \n');  
T=input('ingrese T en Kelvin \n');  
R=0.028;  
Tc=input('ingrese Tc en Kelvin \n');  
Pc=input('ingrese Pc en atm \n');  
a=27*R^2*Tc/(64*Pc);  
b=R*Tc/(8*Pc);  
u=1;w=0;
```

```
syms v
```

```
f = P*v^3+(u*b*P-b*P-R*T)*v^2+(w*b*b*P-u*b*b*P-u*b*R*T+a)*v+(-w*P*b^3-  
R*T*w*b*b-a*b);
```

```
df = diff(f);
```

```
v = R*T/P;
```

```
h=1;i=1;
```

```
while abs(h) >= 0.01  
    fv = eval(f);  
    dfv =eval(df);  
    vn = v - (fv/dfv);  
    h = 100*(vn - v)/v;  
    v = vn;  
    i= i+1;
```

```
end
```

```
disp(['El volumen del gas es: v = ',num2str(v),' L/mol'])
```

F.9 Filtro Percolador

Radio del Filtro (R)

$$R = 1.5 \text{ m}$$

Profundidad (D)

$$D = 2.5 \text{ m}$$

Eficiencia Total del Filtro (E)

$$E = \frac{DBO_{5o} - DBO_{5f}}{DBO_{5o}} * 100 = \frac{287.9 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 90 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{298.9 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} * 100 = 68.7\%$$

$$E1 + E2 = 0.6874 = 68.7\%$$

DBO₅ después de los Filtros

$$DBO_5 = 287.9 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - \left(287.9 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 0.687\right) = 90 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Dicho valor se encuentra dentro del rango permisible del Art. 43 del Decreto 33-95 lo que indica que la eficiencia esperada del filtro es aceptable.

Factor de Recirculación (F)

$$F = \frac{1 + r}{(1 + 0.1 * r)^2} = \frac{1 + 1.5}{(1 + 0.1 * 1.5)^2} = 1.9$$

Carga de DBO en el Filtro 1 (W₁)

$$W_1 = Q * DBO_5 = \left(\left(2214 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right) * (287.9 \text{ mg/L})\right) * \left(1 \times 10^{-6} \frac{\text{Kg}}{\text{mg}}\right) * \left(\frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}\right)$$

$$W_1 = 636.3 \frac{\text{Kg DBO}}{\text{d}}$$

Volumen del Filtro 1 (V₁)

$$E = \frac{100}{1 + 0.532 \sqrt{\frac{W_1}{V_1 F_R}}}$$

$$V_1 = \frac{W_1 * (0.532)^2}{F_R \left(\frac{E_1 - 1}{0.532} \right)^2} = \frac{636.3 \frac{\text{Kg DBO}}{d}}{1.9 \left(\frac{44.1 - 1}{0.532} \right)^2} = 59.3 \text{ m}^3$$

Área del Filtro 1 (A₁)

$$V_1 = A_1 * h$$

$$A_1 = \frac{V_1}{h} = \frac{59.2 \text{ m}^3}{2.5 \text{ m}} = 23.7 \text{ m}^2$$

Diámetro del Filtro (d₁)

$$A_1 = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4A_1}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 23.7 \text{ m}^2}{\pi}} \approx 5.5 \text{ m}$$

Verificación de la Carga en el F1 (C_{DBO1})

$$C_{\text{DBO}_1} = \frac{W_1}{V_1} = \frac{636.3 \frac{\text{Kg DBO}}{d}}{59.3 \text{ m}^3} = 10.7 \text{ Kg/m}^3 - d$$

Carga Hidráulica (HLR₁)

$$\text{HLR}_1 = (1 + F_R) * \frac{Q}{A_1} = (1 + 1.9) * \frac{2214 \frac{\text{m}^3}{d}}{23.7 \text{ m}^2} = 269.6 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 - d}$$

Filtro 2

Volumen del Filtro 2 (V₂)

$$E_2 = \frac{100}{1 + \frac{0.532}{1 - E} \sqrt{\frac{W_2}{V_2 F_R}}}$$

Carga de DBO en el Filtro 2 (W₂)

$$W_2 = W_1 * \left[1 - \frac{\%E}{100} \right] = 636.3 \frac{\text{Kg DBO}}{d} * \left[1 - \frac{68.7}{100} \right] = 199.0 \frac{\text{Kg DBO}}{d}$$

Volumen del Filtro 2 (V_2)

$$V_2 = \frac{W_2}{F \left(\left(\frac{100}{E_2} \right) * \left(\frac{1 - \frac{E_2}{100}}{0.532} \right)^2 \right)} = \frac{199.0 \frac{\text{Kg DBO}}{\text{d}}}{1.9 \left(\left(\frac{100}{44.1} \right) * \left(\frac{1 - \frac{44.1}{100}}{0.532} \right)^2 \right)} = 59.3 \text{ m}^3$$

Área del Filtro 2 (A_2)

$$V_2 = A_2 * h$$

$$A_2 = \frac{V_2}{h} = \frac{59.3 \text{ m}^3}{2.5 \text{ m}} = 23.7 \text{ m}^2$$

Diámetro (d_2)

$$A_2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4A_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 23.7 \text{ m}^2}{\pi}} = 5.5 \text{ m}$$

Verificación de la Carga en el Filtro 2 (C_{DBO_2})

$$C_{\text{DBO}_2} = \frac{W_2}{V_2} = \frac{199 \frac{\text{Kg DBO}}{\text{d}}}{59.3 \text{ m}^3} = 3.4 \text{ Kg/m}^3 - \text{d}$$

Carga Hidráulica en el Filtro 2 (HLR_2)

$$\text{HLR}_2 = (1 + F) * \frac{Q}{A_2} = (1 + 1.9) * \frac{2214 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{23.7 \text{ m}^2} = 269.6 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 - \text{d}}$$

F.10 Sedimentador

Caudal Individual (Q_i)

$$Q_i = \frac{Q}{2} = \frac{0.031 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{2} = 0.016 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Área Individual de los Sedimentadores (A_i)

$$A_i = \frac{Q_i}{V_{\text{sup}}} = \frac{0.016 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{700 \frac{\text{gl}}{\text{ft}^2 \cdot \text{d}}} * \frac{1 \frac{\text{gln}}{\text{ft}^2 \cdot \text{d}}}{4.72 \times 10^{-7} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}} = 47.3 \text{ m}^2$$

Diámetro del Sedimentador (D)

$$D = D_i + \text{Incremento} = \sqrt{\frac{A_{i_s} * 4}{\pi}} + 1 \text{ m} = \sqrt{\frac{47.28 \text{ m}^2 * 4}{\pi}} + 1 \text{ m} = 8.8 \text{ m}$$

Volumen del Sedimentador (V)

$$V = Q_{i_s} \times \theta_d = 0.016 \text{ m}^3/\text{s} * 1.5 \text{ h} * 3600 \text{ s/h} = 84.2 \text{ m}^3$$

Profundidad (h)

$$h = \frac{V_s}{A_{i_s}} = \frac{84.3 \text{ m}^3}{47.3 \text{ m}^2} = 1.8 \text{ m}$$

Diámetro del Vertedero (D_v)

$$D_v = 7 \text{ m}$$

Longitud de la Periferia (L_p)

$$L_p = D_v * \pi = 7 \text{ m} * \pi = 22 \text{ m}$$

Carga en el Vertedero (C_v)

$$C_v = \frac{Q_{i_s}}{L_p} = \frac{0.016 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{22 \text{ m}} * 3600 \text{ s} = 2.6 \text{ m}^3/\text{m} - \text{h}$$

Número de Vertederos (N_v)

$$N_v = L_p * \frac{100}{d * 2.3} = 22 \text{ m} * \frac{100}{8.8 \text{ m} * 2.3} = 108$$

Caudal Individual por Vertederos (Q_{iv})

$$Q_{iv} = \frac{Q_{is}}{Nv} = \frac{0.016 \frac{m^3}{s} * 3600 \frac{s}{h} * 24 \frac{h}{d}}{108} = 12.4 \frac{m^3}{d}$$

Masa de Lodos (M_{SST})

$$M_{SST} = Q * SST_R = 0.031 \frac{m^3}{s} * 86400 \frac{s}{d} * 16.5 \frac{Kg}{m^3} = 44.6 \frac{Kg}{d}$$

Caudal de Lodos (Q_L)

$$Q_L = \frac{M_{SST}}{S_g * \rho_a * \% S_s} = \frac{44.6 \frac{Kg}{d}}{(1.03 * 1000 \frac{Kg}{m^3})(0.020)} = 1.7 \frac{m^3}{d}$$

Caudal de Agua Residual a la Salida (Q_F)

$$Q_F = Q - Q_L = 0.031 \frac{m^3}{s} - \frac{2.17 \frac{m^3}{d}}{86400 \frac{s}{d}} = 0.031 \frac{m^3}{s}$$

F.11 Cuantificación de los Lodos Producidos

Lodos Primarios por SST (L_{SST1})

$$L_{SST1} = Q * [SST]_{Af1} * \%Remocion$$

$$L_{SST1} = \left(2720 \frac{m^3}{d}\right) * \left(525.1 \frac{mg}{L}\right) * \left(\frac{1000 L}{1 m^3}\right) * \left(\frac{1 \times 10^{-6} Kg}{1 mg}\right) * 0.80 = 1142.5 \frac{Kg}{d}$$

Concentración de SST en el Efluente Primario ($[SST]_{Ef1}$)

$$[SST]_{ef1} = 525.1 \frac{mg}{L} * \left(1 - \frac{80\%}{100\%}\right) = 105 \frac{mg}{L}$$

Lodos Generados en Sedimentador Secundario por SST

Lodos Secundarios por SST (L_{SST2})

$$L_{SST2} = Q * (SST_{ef1} - SST_{ef2})$$

$$L_{SST2} = \left(2720 \frac{m^3}{d}\right) * \left(105.0 \frac{mg}{L} - 30.7 \frac{mg}{L}\right) * 1000 \frac{Kg * L}{m^3 * mg} = 202.1 \frac{Kg}{d}$$

Lodos por DBO Producidos en el Tratamiento Biológico

DBO en el Efluente de la Sedimentación Primaria (DBO_{ef1})

$$\text{DBO}_{\text{ef1}} = 1439.6 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * (1 - 0.850) = 287.9 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

DBO Deseado en el Efluente Secundario (DBO_{ef2})

$$\text{DBO}_{\text{ef2}} = 30.7 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Lodos Biológicos por DBO (L_{DBO})

$$\begin{aligned} L_{\text{DBO}} &= Q * (\text{DBO}_{\text{ef1}} - \text{DBO}_{\text{ef2}}) * Y \\ &= \left(2720 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}\right) * \left(287.9 - 30.7 \frac{\text{mg}}{\text{L}}\right) * \left(\frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}\right) * \left(\frac{1 \times 10^{-6} \text{ Kg}}{1 \text{ mg}}\right) \\ &\quad * 0.25 \frac{\text{Kg SST}}{\text{Kg DBO}} = 156 \frac{\text{Kg SST}}{\text{d}} \end{aligned}$$

Cantidad de Lodo Secundario Total (L_{T2})

$$L_{\text{T2}} = L_{\text{SST}_2} + L_{\text{DBO}} = 202.1 \frac{\text{Kg}}{\text{d}} + 156 \frac{\text{Kg}}{\text{d}} = 358.1 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}$$

Sólidos Totales Removidos en la Línea del Agua (L_T)

$$L_{\text{T}} = L_{\text{SST}_1} + L_{\text{SST}_2} = 358.1 \frac{\text{kg}}{\text{d}} + 1142.5 \frac{\text{Kg}}{\text{d}} = 1500.6 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}$$

Caudal de Lodos Primarios (Q_{L1})

$$Q_{\text{L1}} = \frac{L_{\text{SST}_1}}{\% \text{ Sólidos} * \rho * s_g} = \frac{1142.5 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}}{0.04 * 1.25 * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 22.9 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Caudal de Lodos Secundarios (Q_{L2})

$$\begin{aligned} Q_{\text{L2}} &= \frac{L_{\text{T2}}}{\% \text{ Sólidos} * \rho * s_g} \\ Q_{\text{L2}} &= \frac{358.1 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}}{0.02 * 1.03 * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} = 17.4 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \end{aligned}$$

Caudal de Lodos Total (Q_{LT})

$$Q_{LT} = Q_{L1} + Q_{L2}$$

$$Q_{LT} = 22.9 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} + 17.4 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 40.2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

F.12 Espesador

Área del Espesador por Gravedad (A)

$$A = \frac{Q_L}{C_h} = \frac{40.2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{4 \frac{\text{m}^3}{\text{d}-\text{m}^2}} = 10.1 \text{ m}^2$$

Diámetro del Espesador por Gravedad (D)

$$D = \sqrt{\frac{A * 4}{\pi}} + \text{Incremento} = \sqrt{\frac{10.1 \text{ m}^2 * 4}{\pi}} + 1 \text{ m} = 4.6 \text{ m}$$

Volumen del Espesador (V)

$$V = Q_L * t_R = 40.2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 6 \text{ h} * \frac{1 \text{ d}}{24 \text{ h}} = 10.1 \text{ m}^3$$

Profundidad (h)

$$h = \frac{A}{V} = \frac{10.1 \text{ m}^2}{10.1 \text{ m}^3} = 1 \text{ m}$$

Cantidad de Lodos a Producir (CL_P)

$$CL_P = Q_L * \rho_a * S_g * \% \text{Sólidos} = 40.2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1.1 * 0.250 = 1519.7 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}$$

Concentración de Sólidos a la Entrada ($[SST]_e$)

$$[SST]_e = \frac{CL_P}{Q_L} = \frac{1519.7 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}}{40.2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}} * \frac{1 \times 10^6 \frac{\text{mg}}{\text{Kg}}}{1000 \frac{\text{L}}{\text{m}^3}} = 37772 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

Caudal de Lodos a 25% de Sólidos (Q_{LR})

$$Q_{LR} = \frac{CL_p}{S_g * \rho_a * \%Sólidos} = \frac{1519.7 \frac{Kg}{d}}{1.1 * 1000 \frac{Kg}{m^3} * 0.250} = 5.8 \frac{m^3}{d}$$

Cantidad de Agua Reducida del Lodo (Q_{ARL})

$$Q_{ARL} = Q_L - Q_{LR} = 40.2 \frac{m^3}{d} - 5.8 \frac{m^3}{d} = 34 \frac{m^3}{d} = 3.9 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Porcentaje del Caudal Reducido ($\%Q_R$)

$$\%Q_R = \frac{Q_L - Q_{LR}}{Q_L} * 100\% = \frac{40.2 \frac{m^3}{d} - 5.8 \frac{m^3}{d}}{40.2 \frac{m^3}{d}} * 100\% = 86\%$$

Factor de Concentración (F_c)

$$F_c = \frac{\%Sólidos Secos}{\%Sólidos Secos a la Entrada} = \frac{25}{3.6} = 7$$

Concentración de Sólidos a la Salida ($[SST]_s$)

$$[SST]_s = \frac{CL_p}{Q_L} = \frac{1519.7 \frac{Kg}{d}}{5.8 \frac{m^3}{d}} * \frac{1 \times 10^{-06} \frac{mg}{Kg}}{1000 \frac{L}{m^3}} = 262500 \frac{mg}{L}$$

F.13 Filtro de Bandas

Producción de Lodos Semanal

Flujo de Lodos en Base Seca (Q_{Ls})

$$Q_{Ls} = Q_L * S_g * \rho_a = 5.8 \frac{m^3}{d} * 1.1 * 1000 \frac{Kg}{m^3} * 6 \frac{d}{wk} = 36472.2 \frac{Kg}{wk}$$

Sólidos Secos Producidos (SSP)

$$\begin{aligned} \text{SSP} &= Q_L * S_g * \rho_a * \% \text{Sólidos} = 5.8 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 1.1 * 1000 \text{ Kg} * 0.250 * 6 \frac{\text{d}}{\text{wk}} \\ &= 9118 \frac{\text{Kg}}{\text{wk}} = 1519.7 \frac{\text{Kg}}{\text{d}} = 63.3 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \end{aligned}$$

Carga Métrica de Sólidos (CM_S)

$$\text{CM}_S = \frac{\text{SSP}}{W_e} = \frac{1519.7 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}}{1.2 \text{ m}} = 1266.4 \frac{\text{Kg}}{\text{m} - \text{d}}$$

Flujo Óptimo en la Banda (F_{OB})

$$\text{F}_{\text{OB}} = \frac{Q_L}{24} = \frac{5.8 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{24} = 0.2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Carga Hidráulica de la Banda (H_{LB})

$$\text{H}_{\text{LB}} = \frac{\text{F}_{\text{OB}}}{W_e} = \frac{0.480 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}}{1.2 \text{ m}} = 0.200 \frac{\text{m}^3}{\text{h} - \text{m}}$$

Dosis del Polímero (D_{Polimero})

$$\text{D}_{\text{Polimero}} = \frac{Q_{\text{pm}} * \rho_a * \% \text{ polimero}}{W_e * \text{CM}_S} = \frac{0.790 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 999.4 \text{ Kg/m}^3 * 0.002}{1.2\text{m} * \left(\frac{1266.4 \frac{\text{Kg}}{\text{m} - \text{d}}}{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{ton}}} \right)} = 1.05 \frac{\text{Kg}}{\text{ton}}$$

Recuperación de los Lodos

Caudal de la Torta de Lodos (q)

$$q = \frac{Q_L * \% \text{SST}}{\% \text{SST}_{\text{torta}} * S_{\text{gtorta}}} = \frac{5.8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} * 0.250}{0.350 * 1.1} = 0.160 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 3.8 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Caudal del Filtrado (q_f)

$$q_f = Q_L - q = 5.8 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} - 3.8 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} = 2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

Carga de SST en la Torta (C_{SST_T})

$$C_{SST_T} = q * S_{g_{torta}} * \rho_a * \%SST_{torta} = 3.8 \frac{m^3}{d} * 1.1 * 1000 \frac{Kg}{m^3} * 0.350 = 1447.3 \frac{Kg}{d}$$

Concentración de SST en el Filtrado (C_{SST_f})

$$C_{SST_f} = SSP - C_{SST_T} = 1519.7 \frac{Kg}{d} - 1447.3 \frac{Kg}{d} = 72.4 \frac{Kg}{d}$$

Carga Métrica del Filtrado (C_{M_f})

$$C_{M_f} = \frac{C_{SST_f}}{W_{banda}} = \frac{72.4 \frac{Kg}{d}}{1.2 m} = 60.3 \frac{Kg}{d-m}$$

Eficiencia de Remoción (E_R)

$$E_R = \frac{SSP - C_{SST_f}}{SSP} \times 100\% = \frac{1519.7 \frac{Kg}{d} - 72.37 \frac{Kg}{d}}{1519.7 \frac{Kg}{d}} \times 100\% = 95.2\%$$

Alternativa 1: Costos de tratamiento de agua residual con ENACAL

Carga de Contaminantes

$$C_C = Q * [ST, DQO] = \frac{m^3}{año} * \frac{Kg}{m^3} = \frac{Kg}{año} \quad (G.1)$$

Cobro por Tratamiento de Carga de DQO

$$Cobro_{DQO} = 0.060 * C_{DQO} = \frac{\$}{Kg} * \frac{Kg}{año} = \frac{\$}{año} \quad (G.2)$$

Cobro por Tratamiento de Carga de ST

$$Cobro_{ST} = 0.070 * C_{ST} = \frac{\$}{Kg} * \frac{Kg}{año} = \frac{\$}{año} \quad (G.3)$$

Los costos por tratamiento del agua residual para los 15 años del horizonte del proyecto.

Tabla G.1 Costos por Tratamiento de Aguas Residuales con ENACAL.

Año	Total al Año
2014	\$176,788.5
2015	\$360,648.5
2016	\$367,861.5
2017	\$375,218.7
2018	\$382,723.1
2019	\$390,377.6
2020	\$398,185.1
2021	\$406,148.8
2022	\$414,271.8
2023	\$422,557.2
2024	\$431,008.4
2025	\$439,628.6
2026	\$448,421.1
2027	\$457,389.6
2028	\$466,537.3
Total	\$5,937,766.0

Alternativa 2: Costos de ejecución del proyecto

Costos de Inversión

Tabla G.2 Costos de Inversión.

	Unidades	Costo Unitario	Inversión	Vida Util años
Percolador	2	\$147,893.6	\$295,787.2	25
DAFF& Floculación / Coagulación	1	\$238,095.3	\$238,095.3	20
Sedimentador	2	\$52,991.7	\$105,983.4	25
Tanque de Homogenización	1	\$100,000.0	\$100,000.0	25
Rejillas	1	\$659.9	\$659.9	20
Canal de Entrada	1	\$500.0	\$500.0	20
Desarenador	1	\$15,000.0	\$15,000.0	20
Espesador	1	\$5,146.4	\$5,146.4	25
Filtro Banda	1	\$20,000.0	\$20,000.0	15
Tolva de Deposición de Lodos	2	\$10,000.0	\$20,000.0	20
Bombas y Accesorios (Tuberías Valvulas)	-	\$50,000.0	\$50,000.0	15
Instalaciones y Obras Civiles	-	-	\$100,000.0	
Camión de Carga	1	\$15,000.0	\$15,000.0	15
Bodega y Oficinas de Control	1	\$25,000.0	\$25,000.0	
Subtotal		\$680,286.9	\$991,172.2	
Inversión por Imprevistos + Capital de Trabajo		-	\$100,000.0	
Total			\$1,091,172.2	20.42

Depreciación y Valor de Salvamento

Tabla G.3 Depreciación y Valor de Salvamento.

Año	Valor de Edificaciones	Valor de los Activos Fijos	Costos de Depreciación
2013	\$25,000.00	\$966,172.24	\$0.00
2014	\$24,250.00	\$919,041.89	\$47,130.35
2015	\$23,500.00	\$871,911.53	\$47,130.35
2016	\$22,750.00	\$824,781.18	\$47,130.35
2017	\$22,000.00	\$777,650.83	\$47,130.35
2018	\$21,250.00	\$730,520.47	\$47,130.35
2019	\$20,500.00	\$683,390.12	\$47,130.35
2020	\$19,750.00	\$636,259.77	\$47,130.35
2021	\$19,000.00	\$589,129.41	\$47,130.35
2022	\$18,250.00	\$541,999.06	\$47,130.35
2023	\$17,500.00	\$494,868.71	\$47,130.35
2024	\$16,750.00	\$447,738.35	\$47,130.35
2025	\$16,000.00	\$400,608.00	\$47,130.35
2026	\$15,250.00	\$353,477.65	\$47,130.35
2027	\$14,500.00	\$306,347.30	\$47,130.35
2028	\$13,750.00	\$259,216.94	\$47,130.35
VS		\$272,966.94	\$706,955.30

Costos de Operación y Mantenimiento

Tabla G.4 Costos de Operación y Mantenimiento.

Año	Costos por Energía	Costos por Combustible	Costos por Químicos	Costo por Análisis de Laboratorio	Costos de Operación	Costos de Mantenimiento
2014	\$8,453.8	\$1,968.8	\$6,259.6	\$948.0	\$17,630.1	\$2,644.5
2015	\$9,031.3	\$2,067.2	\$12,770.0	\$948.0	\$24,816.4	\$3,722.5
2016	\$9,599.9	\$2,170.5	\$13,025.8	\$948.0	\$25,744.2	\$3,861.6
2017	\$10,161.4	\$2,279.1	\$13,286.8	\$948.0	\$26,675.2	\$4,001.3
2018	\$10,717.2	\$2,393.0	\$13,552.9	\$948.0	\$27,611.2	\$4,141.7
2019	\$11,268.9	\$2,512.7	\$13,824.5	\$948.0	\$28,554.0	\$4,283.1
2020	\$11,817.6	\$2,638.3	\$14,101.4	\$948.0	\$29,505.3	\$4,425.8
2021	\$12,364.4	\$2,770.2	\$14,383.9	\$948.0	\$30,466.5	\$4,570.0
2022	\$12,910.3	\$2,908.7	\$14,672.1	\$948.0	\$31,439.1	\$4,715.9
2023	\$13,456.3	\$3,054.2	\$14,966.0	\$948.0	\$32,424.5	\$4,863.7
2024	\$14,003.1	\$3,206.9	\$15,265.9	\$948.0	\$33,423.9	\$5,013.6
2025	\$14,551.6	\$3,367.2	\$15,571.7	\$948.0	\$34,438.5	\$5,165.8
2026	\$15,102.4	\$3,535.6	\$15,883.7	\$948.0	\$35,469.7	\$5,320.5
2027	\$15,656.3	\$3,712.4	\$16,201.9	\$948.0	\$36,518.6	\$5,477.8
2028	\$16,213.8	\$3,898.0	\$16,526.5	\$948.0	\$37,586.3	\$5,637.9
Total	\$185,308.2	\$42,482.8	\$210,292.6	\$14,220.0	\$452,303.6	\$67,845.5

Costos por Uso de Reactivos Químicos en el Tratamiento

Tabla G.5 Requerimiento de Químicos.

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ (Kg/m ³)	H_2SO_4 (Kg/m ³)	Polimero 0.2% wt (kg/mton)
5.0×10^{-02}	8.2×10^{-02}	1.1
\$/kg`	\$/kg	\$/kg
0.340	0.100	0.750

Tabla G.6 Costos por Químicos.

Año	Q(m³/d)	QL(m³/d)	CL (ton/año)	Al ₂ (SO ₄) ₃ *18H ₂ O (\$/Año)	H ₂ SO ₄ (\$/Año)	Polímero (\$/Año)	Costos (\$/Año)
2014	446796.0	1236.4	1297.3	\$0.0	\$0.0	\$0.0	\$0.0
2015	227866.0	630.8	661.9	\$3,873.7	\$1,864.6	\$521.2	\$6,259.6
2016	464846.6	1287.3	1350.8	\$7,902.4	\$3,803.8	\$1,063.7	\$12,770.0
2017	474143.5	1313.6	1378.3	\$8,060.4	\$3,879.9	\$1,085.4	\$13,025.8
2018	483626.4	1340.4	1406.5	\$8,221.6	\$3,957.5	\$1,107.6	\$13,286.8
2019	493298.9	1367.8	1435.2	\$8,386.1	\$4,036.7	\$1,130.2	\$13,552.9
2020	503164.9	1395.7	1464.5	\$8,553.8	\$4,117.4	\$1,153.3	\$13,824.5
2021	513228.2	1424.2	1494.3	\$8,724.9	\$4,199.7	\$1,176.8	\$14,101.4
2022	523492.7	1453.2	1524.8	\$8,899.4	\$4,283.7	\$1,200.8	\$14,383.9
2023	533962.6	1482.9	1556.0	\$9,077.4	\$4,369.4	\$1,225.3	\$14,672.1
2024	544641.8	1513.2	1587.7	\$9,258.9	\$4,456.8	\$1,250.3	\$14,966.0
2025	555534.7	1544.0	1620.1	\$9,444.1	\$4,545.9	\$1,275.8	\$15,265.9
2026	566645.4	1575.6	1653.2	\$9,633.0	\$4,636.9	\$1,301.9	\$15,571.7
2027	577978.3	1607.7	1686.9	\$9,825.6	\$4,729.6	\$1,328.4	\$15,883.7
2028	589537.8	1640.5	1721.3	\$10,022.1	\$4,824.2	\$1,355.6	\$16,201.9
2029	601328.6	1674.0	1756.5	\$10,222.6	\$4,920.7	\$1,383.2	\$16,526.5
Total	8100092.1	22487.3	23595.2	\$130,106.0	\$62,626.9	\$17,559.6	\$210,292.6

Costos de Energía

Tabla G.7 Costos de Energía por cada Unidad de Tratamiento.

Año	DAF		Percolador		Filtro de Banda		Bombeo Lodos	
	Consumo Total Anual (KWh/año)	Costo Total	Consumo Total Anual (KWh/año)	Costo Total	Consumo Total Anual (KWh/año)	Costo Total	Consumo Total Anual (KWh/año)	Costo Total
2014	22786.6	\$6,553.0	4557.3	\$1,310.6	1410.9	\$405.7	641.3	\$184.4
2015	23242.3	\$7,000.5	4648.5	\$1,400.1	1439.7	\$433.6	654.4	\$197.1
2016	23707.2	\$7,441.0	4741.4	\$1,488.2	1469.1	\$461.1	667.8	\$209.6
2017	24181.3	\$7,876.0	4836.3	\$1,575.2	1499.0	\$488.2	681.4	\$221.9
2018	24664.9	\$8,306.6	4933.0	\$1,661.3	1529.6	\$515.1	695.3	\$234.2
2019	25158.2	\$8,733.9	5031.6	\$1,746.8	1560.9	\$541.9	709.5	\$246.3
2020	25661.4	\$9,158.9	5132.3	\$1,831.8	1592.7	\$568.5	724.0	\$258.4
2021	26174.6	\$9,582.4	5234.9	\$1,916.5	1625.2	\$595.0	738.7	\$270.4
2022	26698.1	\$10,005.3	5339.6	\$2,001.1	1658.4	\$621.5	753.8	\$282.5
2023	27232.1	\$10,428.1	5446.4	\$2,085.6	1692.2	\$648.0	769.2	\$294.5
2024	27776.7	\$10,851.6	5555.3	\$2,170.3	1726.8	\$674.6	784.9	\$306.6
2025	28332.3	\$11,276.3	5666.5	\$2,255.3	1762.0	\$701.3	800.9	\$318.8
2026	28898.9	\$11,702.8	5779.8	\$2,340.6	1798.0	\$728.1	817.3	\$331.0
2027	29476.9	\$12,131.7	5895.4	\$2,426.3	1834.6	\$755.1	833.9	\$343.2
2028	30066.4	\$12,563.3	6013.3	\$2,512.7	1872.1	\$782.3	851.0	\$355.6
Total	394058.1	\$143,611.5	78811.6	\$28,722.3	24471.1	\$8,920.0	11123.2	\$4,054.5

Tabla G.8 Precio de Energía para el Horizonte del Proyecto.

Año	Precio \$ /KW
2014	0.29
2015	0.30
2016	0.31
2017	0.33
2018	0.34
2019	0.35
2020	0.36
2021	0.37
2022	0.37
2023	0.38
2024	0.39
2025	0.40
2026	0.40
2027	0.41
2028	0.42

Tabla G.9 Requerimiento de Energía.

Unidad	Req. de Energía (KWh/10 ³ *m ³)
Percolador	0.010
Sistema de Flotación por Aire Disuelto	0.050
Filtro de Banda	1.1
Bombeo de Agua Residual	0.050
Bombeo de Lodos	0.500

Análisis de Laboratorio

Tabla G.10 Costos de Análisis de Laboratorio.

Parámetros	Precio de Análisis
pH	\$2.0
Color (mg/L Pt-Co)	\$5.0
DQO (mg/L)	\$15.0
DBO (mg/L)	\$15.0
SST (mg/L)	\$6.5
SS (mg/L)	\$6.5
Cromo Total (mg/L)	\$25.0
Cromo Hexavalente (mg/L)	\$25.0
Plomo Total (mg/L)	\$25.0
Sulfuros (mg/L)	\$10.0
Sulfitos (mg/L)	\$10.0
Zinc (mg/L)	\$25.0
Nitrógeno de Amonio (mg/L)	\$10.0
Fósforo Total (mg/l)	\$10.0
Fenoles (mg/L)	\$10.0
Detergentes (mg/L)	\$15.0
Aceites y Grasas Totales (mg/L)	\$12.0
Nitrógeno Total (mg/L)	\$10.0
Sub-Total	\$237.0
Total Anual	\$948.0

Costos por Combustible

Tabla G.11 Requerimiento de Combustible

Consumo (Km/L)	Consumo (L/d)
7.9	6.3
Distancia Total (Km/d)	Consumo (L/Año)
50.0	1892.7

Tabla G.12 Costos de Combustibles.

Año	Precio del Combustible (\$/L)	Costo Total de Combustible (\$/año)
2014	\$1.0	\$1,968.8
2015	\$1.1	\$2,067.2
2016	\$1.1	\$2,170.5
2017	\$1.2	\$2,279.1
2018	\$1.3	\$2,393.0
2019	\$1.3	\$2,512.7
2020	\$1.4	\$2,638.3
2021	\$1.5	\$2,770.2
2022	\$1.5	\$2,908.7
2023	\$1.6	\$3,054.2
2024	\$1.7	\$3,206.9
2025	\$1.8	\$3,367.2
2026	\$1.9	\$3,535.6
2027	\$2.0	\$3,712.4
2028	\$2.1	\$3,898.0
Total		\$42,482.8

Costos Administrativos

Tabla G.13 Costos Salariales.

Cargo	Cantidad	Grado de Academico	Salario Anual \$
Jefe de la planta	1	Ingeniero Químico	\$6,500.0
Operadores	3	Técnicos Electromecánicos	\$13,650.0
Ayudantes	4	Bachiller	\$6,240.0
		Sub Total	\$26,390.0
		Extras	\$1,500.0
		Costos Administrativos \$/año	
		\$27,390.00	
		Total	\$418,350.0

Cálculo de la Tasa Mínima Aceptable de Retorno TMAR

Para este caso se cuenta con la oportunidad de un acuerdo con la institución bancaria BANPRO con la capacidad de financiar un 85% del presupuesto de inversión que requiere este proyecto.

$$\text{TMAR Mixta} = \text{TMAR}_{\text{Inversionistas}} * \% \text{ Aporte} + \text{TMAR}_{\text{Banco}} * \% \text{ Aporte} \quad (\text{G.5})$$

Tabla G.14 TMAR para un Financiamiento del 85% de la inversión.

Entidad	Aportación %	Rendimiento pedido %	Promedio Ponderado
Accionistas	15.0	9.1	1.4
Financiera	85.0	15.0	12.75
		TMAR Mixta (%) =	15.3

Indicadores Financieros

Tabla G.15 Costos Totales por Tratamiento de Agua Residual con ENACAL. (Alternativa Nula)

Año	Costos Totales del Pago por Medio del Contrato a ENACAL															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Costos por Tratamiento con ENACAL																
Costo Totales	\$0.0	\$176,788.5	\$360,648.5	\$367,861.5	\$375,218.7	\$382,723.1	\$390,377.6	\$398,185.1	\$406,148.8	\$414,271.8	\$422,557.2	\$431,008.4	\$439,628.6	\$448,421.1	\$457,389.6	\$466,537.3
VAC	\$0.0	\$168,530.5	\$496,273.3	\$814,955.6	\$1124,827.8	\$1426,133.4	\$1719,109.3	\$2003,985.8	\$2280,986.8	\$2550,330.0	\$2812,227.1	\$3066,883.9	\$3314,500.7	\$3555,272.0	\$3789,387.1	\$4017,030.0
CAUE																\$384,398.3

Tabla G.16 Costos Totales para la Alternativa de Ejecución del Proyecto. (Alternativa 2)

Año	Costos Totales de la Alternativa de Ejecución del Proyecto con Financiamiento															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
(+) Costos de Operación	-	\$17,630.1	\$24,816.4	\$25,744.2	\$26,675.2	\$27,611.2	\$28,554.0	\$29,505.3	\$30,466.5	\$31,439.1	\$32,424.5	\$33,423.9	\$34,438.5	\$35,469.7	\$36,518.6	\$37,586.3
(+) Costos de Mantenimiento	-	\$2,644.5	\$3,722.5	\$3,861.6	\$4,001.3	\$4,141.7	\$4,283.1	\$4,425.8	\$4,570.0	\$4,715.9	\$4,863.7	\$5,013.6	\$5,165.8	\$5,320.5	\$5,477.8	\$5,637.9
(+) Costos de Administración	-	\$27,390.0	\$27,390.0	\$27,390.0	\$27,390.0	\$27,390.0	\$27,390.0	\$27,390.0	\$27,390.0	\$27,390.0	\$27,390.0	\$27,390.0	\$27,390.0	\$27,390.0	\$27,390.0	\$27,390.0
(+) Costos Finc. (Pago a Principal)	-	\$139,124.5	\$129,849.5	\$120,574.5	\$111,299.6	\$102,024.6	\$92,749.6	\$83,474.7	\$74,199.7	\$64,924.7	\$55,649.8	\$46,374.8	\$37,099.9	\$27,824.9	\$18,549.9	\$9,275.0
(+) Costos Finc. (pago a intereses)	-	\$61,833.1	\$61,833.1	\$61,833.1	\$61,833.1	\$61,833.1	\$61,833.1	\$61,833.1	\$61,833.1	\$61,833.1	\$61,833.1	\$61,833.1	\$61,833.1	\$61,833.1	\$61,833.1	\$61,833.1
(+) Costos Por Carga Residual	-	\$5,830.54	\$11,894.31	\$12,132.20	\$12,374.84	\$12,622.34	\$12,874.78	\$13,132.28	\$13,394.92	\$13,662.82	\$13,936.08	\$14,214.80	\$14,499.10	\$14,789.08	\$15,084.86	\$15,386.56
(-) Valor de Salvamento	\$272,966.9															
Inversion Tangibles/Intangibles	\$991,172.2															
Capital de Trabajo	\$21,823.4															
Inversion a Imprevistos	\$78,176.6															
Inversión Total	\$1091,172.2															
Prestamo (Financiamiento)	\$927,496.4															
Costos Totales Ct	\$163,675.8	\$254,452.7	\$259,505.8	\$251,535.7	\$243,574.0	\$235,622.9	\$227,684.7	\$219,761.1	\$211,854.2	\$203,965.7	\$196,097.1	\$188,250.1	\$180,426.4	\$172,627.2	\$164,854.2	\$115,858.1
VAC	\$163,675.8	\$384,363.4	\$579,567.2	\$743,668.4	\$881,488.9	\$997,119.0	\$1094,026.6	\$1175,149.9	\$1242,976.9	\$1299,613.0	\$1346,838.7	\$1386,158.7	\$1418,843.6	\$1445,966.0	\$1468,430.2	\$1454,737.6
CAUE																\$252,405.2