



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE CHIMBORAZO  
UBICADA EN LA CIUDAD DE AMBATO”**

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

**TIPO: PROYECTO TÉCNICO**

**Presentado para optar por el grado académico de:**

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA: JESSENIA LILIBETH CHAMORRO TORRES**

**DIRECTOR: ING. DANIEL ANTONIO CHUQUIN VASCO**

**Riobamba – Ecuador**

**2019**

**©2019, Jessenia Lilibeth Chamorro Torres**

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

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

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: el presente trabajo técnico de **“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE CHIMBORAZO UBICADA EN LA CIUDAD DE AMBATO”** de responsabilidad de la señorita Jessenia Lilibeth Chamorro Torres ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

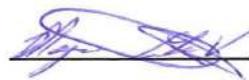
**FECHA**

Ing. Daniel Antonio Chuquin Vasco  
**DIRECTOR DEL TRABAJO**  
**DE TITULACIÓN**



2019/06/27

Ing. Mayra Paola Zambrano Vinuesa  
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



2019/06/27

## DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

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

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

Riobamba, 27 de Junio del 2019



Jessenia Lilibeth Chamorro Torres

C.I. 210055399-5

“Yo, Jessenia Lilibeth Chamorro Torres, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

---

JESSENIA LILIBETH CHAMORRO TORRES

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mi hija Paulette Morales, quien ha sido mi inspiración y fortaleza para continuar en este proceso de aprendizaje tanto académico como personal.

***JESSY***

## AGRADECIMIENTO

Primeramente, dar gracias a Dios por no abandonarme, por estar para mí en todo momento de dificultad, por darme la esperanza ante cualquier adversidad, por permitir culminar esta etapa de vida profesional, y regalarme una bendecida familia.

A mis padres Nancy Torres y Milton Chamorro, por el apoyo que me brindan día a día, por todas las enseñanzas que hasta el día de hoy las puedo reflejar en mi hija, gracias por ayudarme a ser una mejor persona, por el amor y consejos brindados, a mi compañero de vida Paul, quien ha sido mi soporte, quien con su amor me anima a continuar y no decaer en situaciones difíciles, gracias por creer en mí y permitir que este sueño se haga realidad.

A mis hermanos, con quienes he compartido momentos buenos y difíciles, Anita, Daniel, Jefferson, Juliza, y por cada enseñanza que obtengo de cada uno, por su cariño, confianza y lealtad, a mis sobrinos Jhostin y Nicolás que son parte fundamental en mi vida, a mi princesa Paulette por enseñarme que para amar no hay límites, y que cada sacrificio tiene su merecida recompensa.

Agradezco de una manera muy especial a Alfarina Cevallos quien se convirtió en mi segunda madre, desde el primer día que me permitió ingresar a su familia, por todo el apoyo y consejos brindados durante todo este tiempo.

A mi Director de trabajo de titulación el Ing. Daniel Chuquin como también a la Ing. Mayra Zambrano, quienes, a más de ser unas personas de gran calidad humana, fueron un apoyo y soporte en la realización del presente trabajo.

Finalmente quiero agradecer a mis docentes que fueron parte de esta etapa de vida profesional por sus conocimientos académicos impartidos, así como a mis amigas, Jessica B, Maribel M, Johana O, Erika Z, Viviana V, Lisbeth D, Liliana O, Ma. Francisca M, Gabriela T, por cada momento compartido, apoyo demostrado y por cada abrazo brindado, de igual manera a la Dra. Ginita por su paciencia y conocimientos impartidos.

**JESSY**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	xvii
<b>ABSTRACT</b> .....	xviii
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Identificación del Problema</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Justificación del proyecto</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Línea de base del Proyecto</b> .....	<b>3</b>
<i>1.3.1 Reconocimiento del lugar de investigación</i> .....	<i>3</i>
<i>1.3.1.1 Aguas residuales</i> .....	<i>3</i>
<i>1.3.1.2 Clasificación de las aguas residuales</i> .....	<i>4</i>
<i>1.3.1.3 Curtiembre</i> .....	<i>5</i>
<i>1.3.2 Proceso de producción en la curtiembre “Chimborazo”</i> .....	<i>5</i>
<i>1.3.2.1 Ribera</i> .....	<i>5</i>
<i>1.3.2.2 Etapa de Curtido</i> .....	<i>6</i>
<i>1.3.2.3 Etapa de Postcurtido</i> .....	<i>6</i>
<i>1.3.3 Principales Parámetros utilizados en la caracterización de las Aguas Residuales en la Industria de Curtiembre</i> .....	<i>7</i>
<i>1.3.3.1 Potencial hidrogeno (pH)</i> .....	<i>7</i>
<i>1.3.3.2 Temperatura</i> .....	<i>7</i>
<i>1.3.3.3 Turbiedad</i> .....	<i>7</i>
<i>1.3.3.4 Sólidos Totales</i> .....	<i>8</i>
<i>1.3.3.5 Sólidos Suspendidos Totales</i> .....	<i>8</i>
<i>1.3.3.6 Cromo hexavalente</i> .....	<i>8</i>
<i>1.3.3.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i> .....	<i>8</i>
<i>1.3.3.8 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)</i> .....	<i>8</i>
<i>1.3.4 Marco legal</i> .....	<i>8</i>
<i>1.3.4.1 Suplemento, Código orgánico de integral penal, Registro N° 180, 2014</i> .....	<i>8</i>
<i>1.3.4.2 Ley de Gestión Ambiental, Registro oficial N° 245, 1999</i> .....	<i>9</i>
<i>1.3.4.3 Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)</i> .....	<i>9</i>
<b>1.4 Beneficiarios directos e indirectos</b> .....	<b>9</b>
<i>1.4.1 Directos</i> .....	<i>9</i>
<i>1.4.2 Indirectos</i> .....	<i>10</i>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. OBJETIVOS DEL PROYECTO</b> .....	<b>11</b>

<b>2.1 Objetivo General .....</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos .....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>3. ESTUDIO TÉCNICO .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Localización del proyecto .....</b>	<b>12</b>
<b>3.1.1 Localización Geográfica .....</b>	<b>12</b>
<b>3.2 Ingeniería del Proyecto .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.1 Tipo de estudio.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2.2 Métodos y Técnicas .....</b>	<b>13</b>
3.2.2.1 Métodos.....	13
3.2.2.2 Técnicas .....	14
<b>3.2.3 Muestreo .....</b>	<b>19</b>
<b>3.2.4 Estado actual del sistema de tratamiento de agua residual de la etapa de curtido en la curtiembre “Chimborazo” .....</b>	<b>19</b>
3.2.4.1 Tanque 1- Filtrado y adición de PAC.....	20
3.2.4.2 Tanque 2-Segundo filtración.....	21
3.2.4.3 Tercer tanque .....	22
3.2.4.4 Aireación y agitación .....	23
3.2.4.5 Insumos químicos usados en la obtención de cuero en la curtiembre “Chimborazo” ...	24
3.2.4.6 Producción y residuos contaminantes generados en el proceso de curtiembre .....	25
<b>3.2.5 Datos experimentales .....</b>	<b>25</b>
3.2.5.1 Datos tomados del caudal.....	25
3.2.5.2 Caracterización Físico-Química del agua residual-etapa curtido .....	27
<b>3.2.6 Pruebas de tratabilidad (Dosificación).....</b>	<b>27</b>
3.2.6.1 Elección del coagulante .....	28
3.2.6.2 Elección pH óptimo.....	29
3.2.6.3 Elección de la dosis de PAC a pH constante de 9,3 .....	30
3.2.6.4 Elección de la dosis óptima de PAC a pH constante de 9,3 .....	31
3.2.6.5 Elección de la dosis del floculante a 80ppm de PAC y pH constante de 9,3 .....	32
3.2.6.6 Elección de la dosis del floculante a 80ppm de PAC y pH constante de 9,3 .....	33
<b>3.2.7 Propuesta de Rediseño de la Actual Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la etapa de Curtido en la curtiembre “Chimborazo” .....</b>	<b>34</b>
3.2.7.1 Caudal de diseño.....	35
3.2.7.2 Dimensionamiento del sistema de rejillas.....	35
3.2.7.3 Dimensionamiento tanque de aireación.....	39
3.2.7.4 Dimensionamiento del tanque de floculación y coagulación.....	47
3.2.7.5 Dimensionamiento sedimentador rectangular.....	53

3.2.7.6 Dimensionamiento del segundo tanque de aireación .....	57
3.2.7.7 Dimensionamiento para la Filtración.....	60
<b>3.3 Resultados .....</b>	<b>66</b>
3.3.1 Dimensionamiento del rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	66
3.3.2 Resultado del tratamiento de aguas residuales .....	69
3.3.3 Comparación de resultados de Agua Residual antes y después del Tratamiento .....	70
3.3.4 Porcentaje de remoción.....	70
3.3.4.1 Porcentaje de remoción de turbiedad.....	71
3.3.4.2 Porcentaje de remoción sólidos suspendidos.....	71
3.3.4.3 Porcentaje de remoción sólidos totales .....	72
3.3.4.4 Porcentaje de remoción de cromo hexavalente .....	72
3.3.4.5 Porcentaje de remoción de cromo total .....	73
3.3.4.6 Porcentaje de remoción de DBO <sub>5</sub> .....	73
3.3.4.7 Porcentaje de remoción de DQO.....	73
<b>3.4 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria .....</b>	<b>74</b>
3.4.1 Requerimiento de materiales y equipos para el muestreo y medición de caudal de aguas residuales.....	74
3.4.2 Requerimiento de equipos y métodos para caracterización físico- químico del agua residual.....	75
<b>3.5 Análisis de Costo/beneficio del proyecto .....</b>	<b>75</b>
3.5.1 Costo del rediseño del sistema de tratamiento de agua residual .....	75
3.5.2 Costos de Químicos .....	76
<b>3.6 Análisis .....</b>	<b>76</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>79</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ABREVIATURAS

<b>COT</b>	Carbono orgánico total
<b><math>Q_p</math></b>	Caudal punta
<b><math>Q_{servida}</math></b>	Caudal servido
<b><math>n</math></b>	Coefficiente de rugosidad de Manning
<b><math>Conc_{PAC}</math></b>	Concentración de PAC óptimo en la prueba de jarras
<b><math>C</math></b>	Carga en función de la contribución per cápita
<b><math>K_1</math></b>	Constante para el caudal medio diario
<b><math>DBO_5</math></b>	Demanda bioquímica de oxígeno
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b><math>D_{N-100}</math></b>	Dosificación de chemfloc N-100
<b><math>D_{PAC}</math></b>	Dosificación de policloruro de aluminio (PAC-P25A)
<b><math>D_{PAC\ Jarras}</math></b>	Dosis óptima de PAC en la prueba de jarras
<b><math>D_c</math></b>	Dotación del agua consumida a partir de la medición de caudal
<b><math>f_{cr}</math></b>	Factor capacidad relativa
<b>FLA</b>	Filtro lento de arena
<b><math>G</math></b>	Gradiente de velocidad
<b>HTH</b>	Hipoclorito de calcio
<b><math>Pa</math></b>	Población actual
<b><math>Pf</math></b>	Población futura
<b>RH</b>	Radio hidráulico
<b>S.T. A.R</b>	Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales
<b>SS</b>	Sólidos en suspensión
<b>TULSMA</b>	Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente
<b><math>Trh</math></b>	Tiempo de retención
<b>Vd</b>	Volumen del digestor
<b><math>V_{TM}</math></b>	Volumen del tanque mezclador en litros
<b><math>V_{P\ Jarras}</math></b>	Volumen vaso de precipitación prueba de jarras

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3:</b> Localización Geográfica de la Curtiembre “Chimborazo” .....	12
<b>Tabla 2-3:</b> Medición de caudal.....	14
<b>Tabla 3-3</b> Método HACH 2130-B.....	14
<b>Tabla 4-3</b> Método HACH DR 2800 .....	15
<b>Tabla 5-3</b> Método STANDARD METHODS 4500-B .....	15
<b>Tabla 6-3</b> Método HACH DR 2540 D .....	15
<b>Tabla 7-3</b> Método APHA 2540 B .....	16
<b>Tabla 8-3</b> Método HACH DR 2800 .....	16
<b>Tabla 9-3:</b> Método HACH DR 2800.....	17
<b>Tabla 10-3:</b> Standard Methods *5210 B .....	17
<b>Tabla 11-3:</b> Standard Methods *5220 D .....	18
<b>Tabla 12-3:</b> Recolección de muestra.....	19
<b>Tabla 13-3:</b> Dimensión actual primera partición-tanque 1 .....	21
<b>Tabla 14-3:</b> Dimensión actual segunda partición-tanque 1 .....	21
<b>Tabla 15-3:</b> Dimensión actual tanque 2 .....	22
<b>Tabla 16-3:</b> Dimensión actual tanque 3 .....	22
<b>Tabla 17-3:</b> Dimensión actual tanque 4 .....	23
<b>Tabla 18-3:</b> Insumos químicos usados en cada proceso, en la curtiembre “Chimborazo” .....	24
<b>Tabla 19-3:</b> Residuos contaminantes generados .....	25
<b>Tabla 20-3:</b> Aforo del caudal de agua residual curtiembre “Chimborazo” .....	26
<b>Tabla 21-3:</b> Resultados análisis agua residual de “Curtido” .....	27
<b>Tabla 22-3</b> Análisis y selección de Coagulante .....	28
<b>Tabla 23-3</b> Análisis y selección de Coagulante. ....	28
<b>Tabla 24-3:</b> Elección del coagulante .....	29
<b>Tabla 25-3:</b> Elección pH óptimo .....	29
<b>Tabla 26-3:</b> Dosis de PAC a pH 9,3.....	30
<b>Tabla 27-3:</b> Elección de la dosis óptima de PAC.....	31
<b>Tabla 28-3:</b> Elección de floculante .....	32
<b>Tabla 29-3:</b> Dosis óptima de floculante aniónico .....	33
<b>Tabla 30-3:</b> Condiciones de diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica .....	35
<b>Tabla 31-3:</b> Coeficiente de pérdida para rejillas .....	38
<b>Tabla 32-3:</b> Relación entre diámetro y caudal. ....	45
<b>Tabla 33-3:</b> Tipos de difusores.....	46
<b>Tabla 34-3:</b> Régimen y eficiencia .....	46

<b>Tabla 35-3:</b> Parámetros de diseño para mezcladores de turbina .....	49
<b>Tabla 36-3:</b> Número de potencia para diferente tipo de impulsores .....	49
<b>Tabla 37-3:</b> Dosificación de químicos .....	50
<b>Tabla 38-3:</b> Parámetros de diseño para pantalla difusora .....	53
<b>Tabla 39-3:</b> Parámetros diseño de filtro .....	61
<b>Tabla 40:</b> Parámetro de diseño de laterales.....	65
<b>Tabla 41-3:</b> Dimensionamiento de sistema de rejillas .....	66
<b>Tabla 42-3:</b> Dimensionamiento de un sistema de aireación.....	66
<b>Tabla 43-3:</b> Diseño sistema de agitación en el tanque de floculación y coagulación .....	67
<b>Tabla 44-3:</b> Dimensionamiento sistema de sedimentación .....	67
<b>Tabla 45-3:</b> Dimensionamiento segundo tanque de aireación .....	68
<b>Tabla 46-3:</b> Dimensionamiento tanque de filtración.....	68
<b>Tabla 47-3:</b> Resultado de pruebas de tratabilidad .....	69
<b>Tabla 48-3:</b> Comparación del agua antes y después del tratamiento .....	70
<b>Tabla 49-3:</b> Porcentaje remoción de turbiedad.....	71
<b>Tabla 50-3:</b> Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos .....	71
<b>Tabla 51-3:</b> Porcentaje de remoción de sólidos totales .....	72
<b>Tabla 52-3:</b> Porcentaje de remoción de cromo hexavalente .....	72
<b>Tabla 53-3:</b> Porcentaje de remoción de cromo total .....	73
<b>Tabla 54-3:</b> Porcentaje de remoción de DBO <sub>5</sub> .....	73
<b>Tabla 55-3:</b> Porcentaje de remoción de DQO.....	73
<b>Tabla 56-3:</b> Norma técnica para la medición del caudal.....	74
<b>Tabla 57-3:</b> Materiales y equipos-toma de caudal .....	74
<b>Tabla 58-3</b> Materiales, Equipos y Reactivos para Pruebas de Coagulación, Floculación y Sedimentación.....	75
<b>Tabla 59-3 :</b> Determinación de los costos del Sistema de Tratamiento de aguas residuales.....	75
<b>Tabla 60-3:</b> Costos Químicos.....	76

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-3:</b> Localización de la PTAR Curtiembre “Chimborazo” .....	12
<b>Figura 2-3:</b> Bombo de curtido.....	20
<b>Figura 3-3:</b> Tubería de distribución del agua residual .....	20
<b>Figura 4-3:</b> Tanque de llegada agua residual-primer compartimento/filtro.....	21
<b>Figura 5-3:</b> Segunda compartición/adición de PAC .....	21
<b>Figura 6-3:</b> Segundo tanque/Filtrado por carbón activado y cuarzo .....	22
<b>Figura 7-3:</b> Tercer tanque.....	23
<b>Figura 8-3:</b> Tanque de aireación y agitado.....	23
<b>Figura 9-3:</b> Descarga del efluente hacia la quebrada .....	24
<b>Figura 10-3:</b> Toma de caudal .....	26
<b>Figura 11-3:</b> Sistema actual y propuesta para el tratamiento del agua residual en la etapa de curtido .....	34
<b>Figura 12-3:</b> Diferentes formas de rejillas .....	38
<b>Figura 13-3:</b> Tanque de sedimentación rectangular.....	53
<b>Figura 14-3:</b> Esquema de las capas de un tanque de sedimentación.....	53
<b>Figura 15-3:</b> Dimensiones del Sistema de filtración.....	61
<b>Figura 16-3:</b> Composición lecho filtrante.....	64

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Caudal de entrada al Sistema.....	27
<b>Gráfico 2-3:</b> pH óptimo.....	30
<b>Gráfico 3-3:</b> Dosis óptimo de PAC.....	32
<b>Gráfico 4-3:</b> Selección de floculante.....	33
<b>Gráfico 5-3:</b> Dosis óptima de floculante anionico .....	33
<b>Gráfico 6-3</b> Diferencia de agua residual y tratada.....	70
<b>Gráfico 7-3</b> Remoción de turbiedad.....	71
<b>Gráfico 8-3</b> Remoción sólidos suspendidos .....	71
<b>Gráfico 9-3</b> Remoción sólidos totales .....	72
<b>Gráfico 10-3</b> Remoción de cromo hexavalente.....	72
<b>Gráfico 11-3:</b> Remoción de cromo total .....	73
<b>Gráfico 12-3:</b> Remoción de $\text{DBO}_5$ .....	73
<b>Gráfico 13-3:</b> Remoción de DQO .....	74

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo A.** Estado actual de la planta

**Anexo B.** Test de jarras

**Anexo C.** Caracterización Físico-química del agua inicial

**Anexo D.** Caracterización Físico-química del agua tratada

**Anexo E.** TULSMA, Tabla 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

**Anexo F.** Planos del sistema de tratamiento de aguas residuales

**Anexo G.** Aval de Curtiembre Chimborazo

**Anexo H.** Certificación de entrega de Trabajo de Titulación y capacitación

## RESUMEN

Se rediseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales para la Curtiembre Chimborazo ubicada en la ciudad de Ambato con finalidad de cumplir con la normativa ambiental y obtener agua tratada con los parámetros dentro de los límites permisibles del TULSMA, Registro Oficial, Acuerdo Ministerial N. 028 tabla 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Debido a que en el proceso de obtención del cuero, el punto donde existe mayor contaminación del agua es en la etapa de curtido, de donde se tomó tres muestras una por cada mes (Enero, Febrero y marzo); la caracterización físico-químico permitió identificar los siguientes parámetros que se encuentran fuera del rango según la Norma de Calidad Ambiental de Descarga de Efluentes: pH, Turbiedad, Sólidos Suspendedos y Totales, Cromo Hexavalente, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno. Se procedió a realizar pruebas de tratabilidad por el método de test de jarra con, Policloruro de aluminio (PAC) y Floculante aniónico, para la regulación de pH se aplicó Cal. Al identificar las variables de diseño, se dimensionaron los equipos acordes a los tratamientos físico-químicos del agua residual, las cuales son: Sistema de rejillas, Tanque de Aireación 1, Tanque de floculación y coagulación, Sedimentador rectangular, Tanque de aireación 2 y Filtro de componentes granulados. El diseño seleccionado fue validado con los resultados de la caracterización final del agua residual y los porcentajes promedio de remoción de los parámetros de las tres muestras: Turbiedad 99,46%, Sólidos suspendidos 99,78%, Sólidos Totales 97,36%, Cromo Hexavalente 85,96%, Cromo Total 98,49%, Demanda Bioquímica de Oxígeno 99,06% y Demanda Química de Oxígeno 98,25%. Se recomienda implementar el sistema de tratamiento de aguas residuales, evitando así seguir descargando el agua contaminada proveniente de la etapa de curtido.

**Palabras claves:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGIA QUÍMICA>, <SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES> <AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL> <TEST DE JARRA (MÉTODO)> <CURTIEMBRE> <AMBATO (CANTÓN)>



## ABSTRACT

A wastewater treatment system was redesigned for the Chimborazo Tannery located in the city of Ambato in order to comply with environmental regulations and obtain water treated with the parameters within the permissible limits of TULSMA, Official Registry, Ministerial Agreement No. 028 Table 9, Limits of discharge to a corps of freshwater. Because in the process of obtaining leather, the point where there is greater contamination of water is in the stage of tanning, from where three samples were taken for each month (January, February and March); the physical-chemical characterization allowed to identify the following parameters that are outside the range according to the Environmental Quality Standard for Effluent Discharge: pH, Turbidity, Suspended and Total Solids, Hexavalent Chromium, Biochemical Oxygen Demand and Chemical Oxygen Demand. It was proceeded to perform treatability tests by the jar test method with, aluminum polychloride (PAC) and anionic flocculants, for the regulation of Ph., lime was applied. When identifying the design variables, the equipment according to the physical-chemical treatments of the wastewater was dimensioned, which are: System of grids, Aeration Tank 1, Flocculation and coagulation tank, Rectangular settling tank, aeration tank 2 and filter of granular components. The selected design was validated with the results of the final characterization of the residual water and the average percentages of removal of the parameters of the three samples: Turbidity 99.46%, Suspended solids 99.78%, Total Solid 97.36%, Hexavalent Chromium 85 , 96%, Total Chromium 98.49%, Biochemical Oxygen Demand 99.06% and Chemical Oxygen Demand 98.25%. It is recommended to implement the wastewater treatment system, thus avoiding further discharge of contaminated water from the tanning stage.

**Keywords:** <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <WASTEWATER TREATMENT SYSTEM> <RESIDUAL INDUSTRIAL WATER> <TEST DE JARRA (METHOD)> <TANNERY> <AMBATO (CANTON)>



## **CAPÍTULO I**

### **1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.1 Identificación del Problema**

Un estudio de la ecología en la industria explica que el sector industrial a nivel global en la actualidad exige grandes retos para mejorar los procesos productivos en la transformación de materias primas en productos terminados, esta evolución incluye el hecho de mitigar los impactos ambientales generados por estas transformaciones, estos son requisitos fundamentales en los nuevos sistemas de gestión de la producción (Thomas, 2014, p12).

Por consiguiente este concepto también se aplica a la industria de la curtiembre, ya que en la actualidad existe gran variabilidad de productos y por ende los mercados se vuelven competitivos como es el caso de los mercados Europeos y Norteamericanos, los cuales exigen que la producción tenga el menor impacto sobre el ambiente, esto lo están logrando mediante el remplazo de sustancias químicas en las etapas de pelambre, calero y curtido así como también el aprovechamiento de los residuos generados, con el concepto de evitar desperdiciar energía y sustancias que puedan servir para otros procesos productivos (Thomas, 2014, p13).

En el estudio del desarrollo tecnológico de la industria curtiembre indica que, en el país, estas metodologías aún no están aplicando lo que está generando pérdida de competitividad y bajas en la exportación de cuero terminado y productos confeccionados, como resultado de este fenómeno se está afectando a la economía nacional ya que la industria curtiembre aporta alrededor del 1% al producto interno bruto según datos recopilados por el INEC, se interpreta que estas pérdidas se están dando por el uso de tecnologías tradicionales que no aprovechan en la totalidad las sustancias adicionadas y se tiene que realizar las operaciones unitarias con exceso de sustancias químicas, que son desechadas en los efluentes y los residuos sólidos ocasionando que se invierta mayor cantidad de recursos y no se obtengan resultados óptimos (INEC, 2017).

En el proceso de curtiembre los químicos añadidos en las diferentes etapas se solubilizan en el agua y se desechan, afectando la calidad del agua, en especial se ve asociado a este fenómeno que los iones disueltos en el agua y las impurezas de la piel generan un aumento en el índice de sólidos solubles, suspendidos y totales, aumentando además la demanda bioquímica de oxígeno y la

demanda química de oxígeno por el material orgánico, producto de operaciones como el pelambre, descarnado y dividido (Pellerin, 2016, p30).

Los parámetros anteriormente mencionados afectan de manera que el agua no logra cumplir con los índices de calidad establecidos por la normativa nacional, ocasionando que no puedan ser enviados a cuerpos de agua dulce ya que elevaría la carga contaminante de los mismos y generaría daños en la flora y en la fauna (Pellerin, 2016, p30).

Con lo que es fundamental que se resuelvan los problemas ambientales generados por la curtiembre “Chimborazo” todo con el afán de que los cueros producidos en dicha curtiembre puedan ser comercializados en mercados que exigen que todos los procesos se hagan en armonía con el ambiente, estos mercados tienen mayor poder adquisitivo lo que mejorara las ganancias de la empresa.

## **1.2 Justificación del proyecto**

La curtiembre “Chimborazo” es una empresa mediana ubicada en la zona centro del país, específicamente en el cantón de Ambato sector Puerto Arturo, su fuente de economía proviene de la producción de pieles bovinas y ovinas destinadas para la confección de calzado, marroquinería, prendas de vestir y otros artículos de cuero, con lo cual la producción mensual ronda las 1000 bandas. En la empresa se realizan todas las etapas de producción de obtención de cuero, comenzando desde la etapa de salado y terminando en cueros tinturados.

En la actualidad la planta cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales pero que no está en funcionamiento debido a su mal diseño, por lo que todos los efluentes líquidos producidos en la planta son depositados directamente a un cuerpo de agua dulce público o al canal de riego que pasa por los alrededores de la planta sin ningún tipo de estudio o tratamiento que valide el contenido del efluente contaminando que se está generando, a más de ello no se lleva a cabo una caracterización físico-químico que determine su composición sustancial que certifique que no se está ocasionando daños a los cuerpos dulces donde desemboca.

Este problema no resuelto está provocando quejas de los moradores que cuentan con hogares o sembradíos aledaños a la empresa, por otro lado con los nuevos ajustes a la normativa ambiental en el país la planta industrial puede enfrentar multas derivadas de la contaminación generada, lo que no es conveniente para la planta ya que podría traer consigo pérdidas económicas o el cese de actividades.

La inversión económica que se ha realizado en la implementación del sistema de tratamiento de aguas, al momento no está dando réditos económicos, por lo que se hace fundamental que se proponga un rediseño en donde se establezcan las condiciones de operación, así como también que se detalle cada operación y para qué sirve cada equipo que está instalado.

Este rediseño permitirá potenciar las condiciones de operación de la planta y optimizar los recursos con finalidad de mitigar los impactos ambientales generados por la curtiembre “Chimborazo”, con esto se busca que el agua contaminada durante la operación de curtido después de los tratamientos físico-químicos cumpla con la norma técnica establecida para poder depositar el agua residual en cuerpos de agua dulce circundantes a la planta.

Esto beneficiará no solo al gerente propietario de la planta, sino que además logrará beneficiar a los trabajadores que están expuestos a los contaminantes en especial a los iones sulfuro que están demostrados que por inhalación o exceso de concentración en la sangre producen daños en la salud y en ocasiones la muerte por intoxicación y también ayudará a los barrios aledaños a la planta industrial.

### **1.3 Línea de base del Proyecto**

#### ***1.3.1 Reconocimiento del lugar de investigación***

La Curtiembre Chimborazo ubicada en la Ciudad de Ambato viene realizando actividades de curtiembre desde el año 2000. Mediante un Estudio de impacto ambiental Expost mediante resolución N°183, obtuvo su licencia Ambiental el 23 de diciembre de 2015, la misma que fue otorgada por el Ministerio del Ambiente.

#### **1.3.2 Marco metodológico**

##### ***1.3.1.1 Aguas residuales***

Las aguas residuales son generadas por la utilización de aguas ya sean de origen natural o a su vez de redes provenientes de la red pública de agua potable, y después tienden a ser transportadas por el sistema de alcantarillado al ser utilizadas en plantas, industrias y domésticamente, en ocasiones suelen desembocar en efluentes de agua dulce como ríos, lagos, entre otras (Ortega Trejo, 2015, p. 22).

Se consideran aguas residuales ya que en su composición transportan una serie de elementos contaminantes para el ambiente, producidos por causas generales o de manera general por actividades realizadas por el ser humano como en la industria agropecuaria, industria química, entre otras.

#### *1.3.1.2 Clasificación de las aguas residuales*

Según los contaminantes que forman parte del fluido se puede considerar que puede darse de origen natural o artificial, este último puede darse en forma directa o indirecta según la actividad que realice el hombre. A continuación se mencionan los tipos de aguas contaminadas más comunes atendiendo a las causas o actividades que las originan.

- ✓ **Aguas residuales domésticas:** Son aguas que comúnmente se generan en hogares y zonas de trabajo como oficinas, centros comerciales ya sean privadas o públicas. En su composición destaca la carga de aguas fecales, aguas con detergentes, grasas, entre otras. Cuentan con un alto contenido de microorganismos patógenos, para medir este contenido se lo realiza mediante tres tipos de indicadores, tales como: *Coliformes*, *Streptococos Fecales* y *Clostridium sulfiti-reductores*.
- ✓ **Aguas residuales de origen agrícola:** Se generan con ayuda de aguas fluviales y aguas de riego, al arrastrar los contaminantes agrícolas usados en la agricultura. Las principales fuentes de descarga de estas aguas son depurar, afectando a la fauna y flora registrada en esa zona. Estas aguas están formadas por dos fuentes principales de contaminantes, tales como orgánicos como las heces y orinas de los animales, e inorgánicos por el uso de pesticidas, abonos artificiales, fungicidas, entre otras.
- ✓ **Aguas industriales:** Procedentes de actividades industriales, a medida que crece la zona industrial, como innovaciones se generan diferentes tipos de aguas industriales. Se vuelve inevitable la generación de estas aguas, debido que en cada industria está de por medio el uso de agua, ya sea como aguas de proceso, limpieza, refrigeración y calefacción. De forma general las aguas residuales industriales se caracterizan por su variedad porque cada industria será un caso especial al contar con diferentes procesos de obtención de productos terminados. A diferencia de aguas domésticas las aguas industriales en su composición cuentan con productos químicos inorgánicos como metales pesados (Hg, Cd, Cr, Ni, Cu, Pb), también es normal la aparición de elevadas concentraciones de sales generadas en el sistema de refrigeración y caldera.

- ✓ **Aguas pecuarias:** Son aguas procedentes de la actividad ganadera, una de los principales problemas es que el ganado al deambular libremente no puede ser tabulada para su tratabilidad y por ende su control es difícil. A más de ello en la zona agrícola es común la utilización del estiércol como abono natural. Así como las aguas domésticas contienen un alto contenido de materia orgánica y microorganismo patógeno que pueden ocasionar afecciones a la salud (Seguro, 1998, p. 18).

### *1.3.1.3 Curtiembre*

Se designa así al lugar donde se realiza el curtido, es decir el procedimiento donde las pieles de los animales se convierten en cuero. A lo largo de miles de años el hombre fue aprendiendo a tratar las pieles con los efectos curtientes que cuentan algunas cortezas y madera, así como colorantes adecuados para de tinturado del cuero (Tayupanda Pagalo, 2010, p.22).

En nuestro país el curtido de pieles se ha vuelto un punto fundamental en el desarrollo económico, desde el inicio del proceso que parte del faenamiento del animal hasta la obtención del cuero, y para su posterior utilización en productos de cuero como zapatos, carteras, entre otras.

Durante años se ha concentrado la mayoría de curtiembres del país en la provincia de Tungurahua, más específicamente en el cantón Ambato, transformando en cuero las pieles para consumo local y nacional principalmente direccionado a la producción de calzado.

Ahora bien las curtiembres así como otras empresas e industrias no son ajenas al uso de agua para su procesamiento, sobre todo se tienen gran consumo de este fluido en las etapas de ribera, principalmente en el pelambre y curtido, ocasionando problemas de contaminación ambiental considerando que además se consume grandes cantidades de reactivos químicos involucrados en el proceso de elaboración del cuero como la Cal, Sales de Cromo, Cloruro de Sodio, Sulfuro de Sodio y Solventes (Aguilar, 2016, p.33).

### ***1.3.2 Proceso de producción en la curtiembre “Chimborazo”***

#### *1.3.2.1 Ribera*

- ✓ **Recepción de las pieles:** Las pieles son apiladas en la zona de recepción según sea el proveedor para que posteriormente sean clasificadas según el tamaño, cicatrices, cortes y tupe.
- ✓ **Remojo:** Como partida se tiene un lavado con la finalidad de retirar impurezas presentes en las pieles como sangre, microorganismos impregnados, sal, estiércol y con la finalidad que la piel vuelva a retomar la humedad se la deja en remojo. Este proceso está caracterizado por

generar un alto consumo de agua que va entre los valores de porcentajes en peso de 200 a 400 en cada producción (Aguilar, 2016, p.24).

- ✓ **Desencalado y purgado:** El desencalado se lo realiza con la idea de remover la cal y el sulfuro, con la finalidad que durante la etapa de curtido pueda existir alteraciones para posteriormente luego aplicar productos neutralizantes tales como ácidos orgánicos tamponados, peróxido de hidrógeno, bisulfito de sodio, entre otras. A lo largo de esta etapa el consumo de agua es alto. Mientras que el purgado se emplea enzimas proteolíticas que permiten un aflojamiento y una pequeña pectización de la estructura del colágeno, además de limpiar a las pieles de restos de grasas, pelo y proteínas no estructuradas (Saenz, 2007, p.13).
- ✓ **Piquelado:** Es el proceso precurtido de las pieles o también determinada como la etapa de la preparación química previo al curtido, empleando el uso cloruro de sodio y ácido fórmico, generando un aporte de protones, permitiendo la difusión del curtiente hacia el interior de la piel por la acción de enlazarse con el grupo carboxilo (Aguilar, 2016, p.24).

#### *1.3.2.2 Etapa de Curtido.*

La etapa del curtido comprende en la estabilización de la estructura que comprende la estructura de colágeno que compone al cuero con cromo III ( $\text{Cr}^{+3}$ ), convirtiéndola en un material durable y con una acción resistente al paso del tiempo como es la putrefacción. Para mantener el medio ácido se emplea el uso de soluciones de formiato de sodio y sulfato básico de cromo. El consumo de agua a diferencia de las etapas anteriores no tiene mayor magnitud pero puede llegar a tener un valor de 200% en peso dependiendo la cantidad de producción de piel a tratar (Aguilar, 2016, p.19).

#### *1.3.2.3 Etapa de Postcurtido*

- ✓ **Recurtido:** Proceso adicional al curtido para mejorar la fijación del cromo. Convirtiéndose en un proceso fundamental ya que este influirá directamente con el engrase, teñido y acabado del cuero.
- ✓ **Teñido:** Es la etapa donde se imparte color al cuero ya sea superficial o totalmente. Dependiendo la coloración que se desea obtener se añade anilinas para la pigmentación de la piel.
- ✓ **Engrasado:** En esta etapa con finalidad de otorgar al cuero una lubricación superficial, blandura y flexibilidad, resistencia a los desgarros, permeabilidad al aire y vapor de agua, e

impermeabilización al agua, la cantidad de agua usada en esta etapa tiene un aproximado de uso del 100% en peso de cuero a producir (Aguilar, 2016, p.14).

### ***1.3.3 Principales Parámetros utilizados en la caracterización de las Aguas Residuales en la Industria de Curtiembre***

En el parque industrial del Cantón Ambato existe una normativa ambiental que notifica a cada planta de curtiembre existente, que debe cumplir con un análisis físico-químico de las aguas contaminadas procedentes de su proceso de obtención del cuero antes de ser descargadas a los efluentes de agua dulce cercanos a la misma. A más de la normativa interna del parque industrial existen entidades encargadas que se dé cumplimiento de la norma TULSMA, libro VI, Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

#### ***1.3.3.1 Potencial hidrogeno (pH)***

En el proceso obtención de cuero el pH tiende a variar, en la etapa de ribera debido a la adición de sulfuro y cal según sea la piel de animal a tratar, el pH se encuentra entre 11 y 12. Posteriormente se da un cambio drástico del pH en la etapa de curtido haciendo que disminuya entre valores de 3,6-3,9 dependiente cual sea el químico que se use en esta etapa, esta última tiende a causar mayores efectos adversos a la vida acuática.

#### ***1.3.3.2 Temperatura***

La temperatura es un agente que se encuentra adherido al cambio de las demás características del agua residual. La temperatura de la disponibilidad final de estas aguas puede variar debido a la zona donde se encuentre ubicado, es decir en zonas frías se encuentra de 15 a 20°C. Al cambiar la temperatura el efluente cambia la concentración de saturación del oxígeno disuelto, así como la actividad bacteriana inmersa en las aguas contaminadas haciendo que la velocidad de reacción cambie. En zonas más cálidas el agua residual suele estar entre 25 y 35°C.

#### ***1.3.3.3 Turbiedad***

Es una característica óptica que describe la opacidad o claridad del agua debido a la presencia de partículas en suspensión o material coloidal. La turbiedad afecta los acuíferos al reducir la concentración de oxígeno y por dispersar la luz solar (Nihonkasetu, 2017, p.24).

#### *1.3.3.4 Sólidos Totales*

Materia que se obtiene al realizar un proceso de evaporación la muestra de agua residual a 103-105°C de temperatura.

#### *1.3.3.5 Sólidos Suspendidos Totales*

Son los sólidos que pueden ser retenidos en un filtro estándar. Aquí se encuentran partículas que se encuentran en proceso de curtiembre al ser lavadas las pieles. Estos sólidos al estar en reposo en el agua no tienden a sedimentarse sino estar en estado de flotación.

#### *1.3.3.6 Cromo hexavalente*

En una planta de curtiembre es común el uso de cromo trivalente en forma de sales minerales. Durante el proceso de curtido el cromo trivalente se oxida a cromo hexavalente el cual tanto para seres humanos como en animales puede causar anomalías en la salud, al contener una alta toxicidad (Aguilar, 2016).

#### *1.3.3.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)*

Parámetro utilizado para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente. Tanto en la etapa de lavado en el curtido se usa tensoactivos, también el uso de ácidos orgánicos y ésteres aumentan la presencia de DQO (Aguilar, 2016, p.19).

#### *1.3.3.8 Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)*

Es la cantidad de oxígeno necesario para que los microorganismos puedan lograr degradar la materia orgánica biodegradable en presencia de aire, los resultados de este parámetro se toman después de cinco días. En las aguas de curtiembre la presencia de sangre, grasa, pelo contenidas en la piel incrementan considerablemente la carga de DBO<sub>5</sub>.

### ***1.3.4 Marco legal***

#### *1.3.4.1 Suplemento, Código orgánico de integral penal, Registro N° 180, 2014*

En esta ley se tipifican los delitos contra el Patrimonio Cultural, contra el Medio Ambiente y las Contravenciones Ambientales, además de sus respectivas sanciones:

Art. 437 B. “El que infringiera las normas sobre protección ambiental, vertiendo residuos de cualquier naturaleza, por encima de los límites fijados de conformidad con la ley, si tal acción causare o pudiese causar perjuicio o alteraciones a la flora, la fauna, el potencial genético, los recursos hidrobiológicos o la biodiversidad, será reprimido con prisión de uno a tres años, si el hecho no constituyera un delito más severamente reprimido.

Art. 437 K. “Además otorga potestad al sistema judicial para ordenar, como medida cautelar, la suspensión inmediata de la actividad contaminante, así como la clausura definitiva o temporal del establecimiento, sin perjuicio de lo que pueda ordenar la autoridad competente en materia ambiental” (Asamblea Nacional, 2014, p.69).

#### *1.3.4.2 Ley de Gestión Ambiental, Registro oficial N° 245, 1999*

Art. 22, determina que “Los sistemas de manejo ambiental en los contratos que requiere estudios de impacto ambiental y en las actividades para las que se hubiere otorgado licencia ambiental, podrán ser evaluados en cualquier momento, a solicitud del Ministerio del ramo o las personas afectadas” (Ley de Gestión Ambiental, 1999, p.38).

#### *1.3.4.3 Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA)*

Registró Oficial, Edición Especial N° 387, 4 de noviembre de 2015, Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

### **1.4 Beneficiarios directos e indirectos**

#### *1.4.1 Directos*

- El principal beneficiario de la realización del presente trabajo de investigación será el gerente propietario de la curtiembre Chimborazo, logrando disminuir el impacto ambiental generado por su empresa y aumentando la rentabilidad en los procesos de curtido.
- Otros de los beneficiarios directos de la investigación, serán los trabajadores de la planta, ya que se evitará que estén expuestos a la presencia de contaminantes que puedan generar daños en su salud.
- También se beneficiarán los pobladores del sector aledaño a la empresa, ya que se evitará que el agua con exceso de contaminantes sea depositada en el agua que ellos consumen para

actividades de agricultura y otras actividades asociadas que están generando pérdida de productividad al momento.

#### ***1.4.2 Indirectos***

- Los habitantes del cantón Ambato y de la provincia de Tungurahua se verán beneficiados por la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, ya que con esto se evitará dañar la flora y fauna, así como también no disminuir la calidad del agua de los sectores rurales que captan el agua para distintos usos.
- Los consumidores finales del cuero, ya que se mejorará la calidad del cuero y también disminuir los costos de producción, haciendo más asequible los productos realizados utilizando como materia prima cuero.
- El Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Tungurahua se verá beneficiado con la implementación del presente trabajo, ya que ellos al momento se encuentran buscando mecanismos para evitar la contaminación generada por las curtiembres, mejorando así la calidad de vida de los pobladores.

## CAPÍTULO II

### 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

#### 2.1 Objetivo General

Rediseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales proveniente de la operación de curtido para la curtiembre “CHIMBORAZO” ubicada en la ciudad de Ambato.

#### 2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Realizar la caracterización físico-química del efluente proveniente de la operación de Curtido.
- ✓ Determinar las variables del proceso y tipos de tratamiento del efluente para el rediseño de la planta de tratamiento de agua residual.
- ✓ Realizar las pruebas de tratabilidad del efluente que no cumplan con la normativa vigente.
- ✓ Realizar los cálculos de Ingeniería para el rediseño de la planta de tratamiento de agua del efluente.
- ✓ Validar el rediseño a través de la caracterización del efluente previamente tratado, según norma vigente.

## CAPÍTULO III

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1 Localización del proyecto

##### 3.1.1 Localización Geográfica

El presente trabajo técnico se llevó a cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales perteneciente a la curtiembre “Chimborazo”. Ubicado en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, parroquia Unamuncho, sector Puerto Arturo Km 13 vía a Quito.

**Tabla 1-3:** Localización Geográfica de la Curtiembre “Chimborazo”

País	<b>Ecuador</b>
Región	Sierra
Provincia	Tungurahua
Cantón	Ambato
Coordenadas UTM	X: -1,184397 Y: -78,589913
Altitud	2800 m.s.n.m
Clima	Posee un clima templado y frio en ciertas épocas la temperatura promedio entre 12 y 18°C.

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.



**Figura 1-3:** Localización de la PTAR Curtiembre “Chimborazo”  
Fuente: Google maps, 2019.

## 3.2 Ingeniería del Proyecto

### 3.2.1 Tipo de estudio

El presente estudio al tratarse de un trabajo técnico de tipo descriptivo con enfoque cuantitativo, debido que se empleó varias estrategias de adición de datos, el muestreo y su posterior estudio y/o análisis, implicando así la utilización de técnicas experimentales que permitan determinar los factores operacionales tales como el método volumétrico y gravimétrico.

### 3.2.2 Métodos y Técnicas

#### 3.2.2.1 Métodos

Para el rediseño de la planta de tratamiento que existe en la actualidad en la curtiembre “Chimborazo” se ha considerado los siguientes métodos investigativos:

- ✓ **Método inductivo:** Este método se basa en un estudio que va de lo particular a lo general, este método nos brinda la capacidad de establecer el estado de funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales. Mediante la realización de un muestreo del efluente contaminado y consiguiente caracterización físico-química que permitirá identificar los parámetros que se encuentran fuera de normativa, los cuales nos ofrece la guía al momento de establecer el proceso de tratamiento adecuado para el rediseño de la actual planta de tratamiento.
- ✓ **Método deductivo:** Este método nos da la iniciativa de ir de los conocimientos generales a lo específico, es decir a conocimientos más actuales, generando posibles soluciones al problema presente en la planta de aguas residuales y por ende al agua contaminada que destruye al ambiente. Mediante los resultados obtenidos del análisis físico-químico y su comparación con los límites permisibles de la norma establecida del TULSMA, se determinó el rediseño adecuado del sistema de tratamiento del efluente sin depurar.
- ✓ **Método experimental:** Este método es práctico ya que es aplicado en el laboratorio mediante el uso de equipos, materiales e instrumentos que ayuden a eliminar los contaminantes presentes en el agua, por lo que se encuentra relacionada directamente con los parámetros de caracterización del agua residual, indicando los mejores resultados de remoción y eficiencia de cada equipo, determinando así el tratamiento más adecuado para el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre “Chimborazo”.

### 3.2.2.2 Técnicas

#### ✓ Técnica in situ

Caudal: La medición del caudal para la planta de tratamiento de aguas residuales de la curtiembre “Chimborazo” se llevó a cabo por el método volumétrico, se debe tener en cuenta que este fue medido solo del efluente correspondiente a la etapa de curtido. A continuación se muestra la técnica aplicada:

**Tabla 2-3: Medición de caudal**

Fundamento	Materiales	Reactivos	Técnica	Cálculo
<b>El método volumétrico se define como el volumen de líquido mediante el transcurso de tiempo.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Recipiente volumétrico.</li> <li>✓ Cronómetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agua residual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Medir con un cronometro el tiempo que tarda en llenarse el recipiente volumétrico con el agua residual.</li> </ul>	$Q = \frac{V}{t}$ <p>Donde “V” es el volumen del balde y “t” el tiempo obtenido con el cronómetro.</p>

Fuente: Standard Methods 17

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

#### ✓ Análisis de Laboratorio

Los análisis de las aguas residuales fueron llevadas a cabo en el Laboratorio de Control de Calidad de Aguas de la Facultad de Ciencias perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Las técnicas aplicadas para este propósito se basarán en el manual “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” y mediante el Manual de Análisis de Agua, método HACH.

#### ✓ Turbidez

**Tabla 3-3 Método HACH 2130-B**

Concepto	Materiales	Reactivos	Técnica	Cálculo
<b>Determina la intensidad del color ya sea antes y después del tratamiento, identificando cualquier impureza que pueda estar suspendida en el efluente.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Turbidímetro</li> <li>✓ Celda</li> <li>✓ Pizeta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Agua residual</li> </ul>	Colocar en la celda el agua residual, colocarlo la celda en el turbidímetro y medir.	Leer de manera directa el resultado en el equipo, las unidades dadas por el mismo es en NTU.

Fuente: STANDARD METHODS, 1996.

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

✓ **Conductividad**

**Tabla 4-3** Método HACH DR 2800

Concepto	Materiales/Equipo	Reactivos	Procedimiento	Cálculo
<b>Capacidad de un cuerpo para medir el paso de la corriente a través de él, Varía con la temperatura.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Vasos de precipitación</li> <li>✓ Limpiadores</li> <li>✓ Conductímetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agua residual</li> <li>✓ Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ En el vaso de agua se agrega 100ml de agua residual</li> <li>✓ Varias veces lavar el electrodo con agua destilada</li> <li>✓ Colocar el electrodo en el agua residual y medir presionando READ</li> </ul>	Lectura directa.

**Fuente:** STANDARD METHODS, 1996.

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

✓ **Potencial de Hidrógeno, pH**

**Tabla 5-3** Método STANDARD METHODS 4500-B

Concepto	Materiales/equipo	Reactivo	Técnica	Cálculo
<b>Nos indica la acidez o alcalinidad de agua.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ pH-metro</li> <li>✓ Vaso de precipitación de 100ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agua residual</li> <li>✓ Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Calibrar el pH-metro</li> <li>✓ Colocar en el vaso de precipitación el agua residual</li> <li>✓ Sumergir el electrodo y agitar por breve segundos</li> <li>✓ Poner READ</li> </ul>	Lectura Directa

**Fuente:** STANDARD METHODS, 1996.

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

✓ **Sólidos Totales Disueltos**

**Tabla 6-3** Método HACH DR 2540 D

Concepto	Materiales/equipo	Reactivo	Técnica	Cálculo
<b>Representa el material soluble y coloidal.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Filtro</li> <li>✓ Bomba de succión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agua residual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pesamos el filtro.</li> <li>✓ Colocamos en la bomba de succión.</li> <li>✓ Agregar el agua poco a poco hasta que se filtre por completo</li> <li>✓ Llevar la parte sólida a evaporación del resto sólido a 103-105°C, dejar enfriar en el desecador y pesar.</li> </ul>	<p>Los sólidos totales se determina con la siguiente ecuación:</p> $mg\ de\ \frac{STD}{L} = \frac{((A - B) * 1000)}{Volumen\ de\ muestra\ en\ ml}$ <p>Dónde            A=Peso del filtro + residuo seco en mg            B= Peso del filtro en mg</p>

**Fuente:** STANDARD METHODS, 1996.

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

✓ **Sólidos Totales**

**Tabla 7-3** Método APHA 2540 B

Concepto	Materiales	Reactivo	Técnica	Cálculo
Se coloca una cantidad de muestra en una placa y se lo lleva a secado a 103-105°C y pesado posteriormente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Capsulas de porcelana.</li> <li>✓ Desecador.</li> <li>✓ Balanza</li> <li>✓ Mufla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agua residual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Calentar la capsula limpia durante una hora a temperatura 103-105°C.</li> <li>✓ Trasferir un volumen conocido de muestra y dejar q se evapore completamente</li> <li>✓ Pesar la capsula</li> <li>✓ Repetir el ciclo hasta que el peso sea constante</li> </ul>	Para determinar los sólidos totales se aplica la siguiente ecuación. $mg\ de\ \frac{ST}{L} = \frac{((A - B) * 1000)}{Volumen\ de\ muestra\ en\ ml}$ Dónde A=Peso del residuo seco + cápsula en mg B= Peso de la cápsula en mg

**Fuente:** STANDARD METHODS, 1996.

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

✓ **Cromo Total**

**Tabla 8-3** Método HACH DR 2800

Concepto	Materiales	Reactivos	Técnica	Cálculo
	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml.</li> <li>✓ Placa caliente</li> <li>✓ Baño maría y gradilla</li> <li>✓ Cubetas de 25 mL.</li> <li>✓ Pipeta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sobres de reactivo ácido en polvo</li> <li>✓ Sobres de ChromaVer 3 en polvo</li> <li>✓ Sobres de reactivo cromo 1</li> <li>✓ Sobres de reactivo cromo 2</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Muestra de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Llenar una cubeta circular de 25 ml con agua de la muestra, añadir el contenido de un sobre de reactivo cromo 1, tapar la cubeta y agitar con rotación para mezclar, posteriormente colocar en un baño de agua hirviendo por el lapso de 5 minutos, luego de este tiempo retirar la muestra preparada y enfriar la cubeta hasta 25 °C utilizando agua corriente, una vez enfriada la muestra añadir un sobre de reactivo cromo 2 en polvo a la cubeta, tapar la cubeta e invertir para mezclar, luego añadir el contenido de un sobre de reactivo acido en polvo en la cubeta, tapar la cubeta y agitar con rotación para mezclar, posteriormente añadir el contenido de un sobre de reactivo ChromaVer 3 en polvo a la cubeta, tapar la cubeta y agitar con rotación para mezclar..</li> <li>✓ Seleccionar en la pantalla: <b>Cero</b>, la pantalla indicará: 0 mg/L Cr.</li> <li>✓ Seleccionar en la pantalla: <b>Medición</b>. El resultado aparecerá en mg/ L Cr.</li> </ul>	Los mg/L Cr que aparecen en la pantalla.

**Fuente:** STANDARD METHODS, edición 17.

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

✓ **Cromo Hexavalente**

**Tabla 9-3: Método HACH DR 2800**

Fundamento	Materiales	Reactivos	Técnica	Cálculo
<b>Este cromo puede encontrarse en forma de cromatos.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cubetas de análisis, cuadrada, de una pulgada, 10 ml.</li> <li>✓ Pipetas de 10 mL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sobres de ChromaVer 3 en polvo</li> <li>✓ Muestra de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Preparar la muestra; llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml con muestra y añadir el contenido de un sobre de reactivo ChromaVer 3 en polvo. Agitar con rotación para mezclar.</li> <li>✓ En presencia de cromo hexavalente, aparecerá un color violeta.</li> <li>✓ Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar OK. Comienza un periodo de reacción de 5 minutos.</li> <li>✓ Seleccionar en la pantalla: Cero, la pantalla indicará: 0.000mg/L Cr<sup>6+</sup>.</li> <li>✓ Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte portacubetas con la marca de llenado hacia la derecha.</li> <li>✓ Seleccionar en la pantalla: Medición. El resultado aparecerá en mg/L Cr<sup>6+</sup>.</li> </ul>	Los mg/ L Cr que aparecen en la pantalla.

**Fuente:** STANDARD METHODS, 1996.

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

✓ **DBO**

**Tabla 10-3: Standard Methods \*5210 B**

Fundamento	Equipo/materiales	Reactivos	Técnica	Cálculo
<b>Determina la cantidad de oxígeno necesario para llegar a degradar la materia orgánica de una muestra de agua usando una población microbiana heterogénea.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Botellas winkler de 300ml</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Agitador magnético</li> <li>✓ Probeta</li> <li>✓ Balón aforado de 100ml</li> <li>✓ Tapa de sello</li> <li>✓ Cabezales de medición</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Muestra de agua residual</li> <li>✓ Ampolla de nutrientes</li> <li>✓ Escamas de hidróxido de potasio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ En un balón aforado diluir 10ml de la muestra con 100 ml de agua destilada.</li> <li>✓ Hacer este procedimiento una vez más hasta obtener 200ml de muestra diluida.</li> <li>✓ Colocar 150 ml de la dilución en la botella winkler y añadir una ampolla de nutrientes e introducir el agitador magnético.</li> <li>✓ En el tapón colocar una escama de hidróxido de potasio y sellar la botella con el mismo.</li> <li>✓ Enroscar el cabezal de medición y encender.</li> <li>✓ Colocar la botella en la incubadora de aire y esperar un periodo de 5 días.</li> <li>✓ Transcurrido el tiempo indicado tomar la lectura de los datos obtenidos en el cabezal de medición y anotar.</li> </ul>	Lectura directa.

**Fuente:** STANDARD METHODS, 1996.

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

✓ **DQO**

**Tabla 11-3:** Standard Methods \*5220 D

<b>Fundamento</b>	<b>Equipo/Materiales</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Técnica</b>	<b>Cálculo</b>
Este método define la cantidad de un oxidante específico que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Espectrofotómetro</li> <li>✓ Termorreactor</li> <li>✓ Gradilla</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Vaso de precipitación</li> <li>✓ Viales de 16 mm de diámetro</li> <li>✓ Paños para limpiar los viales</li> <li>✓ Tapas rosca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Agua destilada.</li> <li>-Muestra de agua residual doméstica.</li> <li>-Solución patrón de absorbancia.</li> <li>-Solución patrón ftalato ácido de potasio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Agitar el vial de la solución patrón y ubicar en la gradilla.</li> <li>-Tomar 2 ml de muestra para verter en el vial.</li> <li>-Tapar y homogenizar el contenido.</li> <li>-Encender el termorreactor a la temperatura de <math>148 \pm 2^\circ\text{C}</math> y colocar el vial durante 2 horas.</li> <li>-Terminada la reacción en el tiempo indicado, dejar enfriar.</li> <li>-Limpiar las paredes externas del vial con agua destilada y secar con un paño seco y limpio.</li> <li>-Seleccionar el método en el espectrofotómetro y calibrar con la solución patrón.</li> <li>-Colocar el vial con la muestra y medir. Leer los resultados y anotar.</li> </ul>	Lectura directa.

**Fuente:** STANDARD METHODS, 1996

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.2.3 Muestreo

El muestreo es un proceso que consiste en recolectar la cantidad necesaria de muestra, que posteriormente será enviado a análisis o estudio de su composición físico-química y microbiológica, las muestras obtenidas pueden ser de agua doméstica, agua pluvial, agua doméstica, agua industrial, entre otras.

Cada muestreo se llevó a cabo en base a la Norma Técnica NTE INEN 2169:2013. Que se trata de calidad del agua y muestreo previo a la caracterización. El muestreo realizado es un muestreo simple el cual aporta una información de calidad del efluente en un punto y momento dado, se lo aplico directamente del bombo de curtido, el cual gira por 20 minutos con la piel a curtir y que posteriormente después de dicho tiempo se deja reposar por 5 min, donde se tomó las muestras mediante el uso de recipientes de vidrio de color ámbar, debidamente limpios y etiquetados donde se identifique la fecha, hora y lugar de procedencia del agua residual, con finalidad de transportar las muestras y no sufran alteraciones se lo transporte en un cooler provisto de hielo. Las fechas de muestreo se pueden ver a continuación en la Tabla 12-3

**Tabla 12-3:** Recolección de muestra

Lugar de muestreo	Tipo de efluente/etapa	Fecha y Hora	Total de muestras
Bombo de curtido	Agua residual/Curtido	07 de Enero, 7:00am	1
		27 de Febrero, 7:00am	1
		27 de Marzo, 7:00am	1

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Servicios Ambientales (UNACH) para su caracterización en parámetros como: Cromo Hexavalente y Cromo Total, y a su vez al Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH para la caracterización de los parámetros restantes, así como de realizar el test de jarras con el fin de determinar la dosificación optima de químicos que permitan cumplir con los límites exigidos por la normativa del TULSMA.

### 3.2.4 Estado actual del sistema de tratamiento de agua residual de la etapa de curtido en la curtiembre “Chimborazo”

La planta de tratamiento de aguas residuales en la actualidad no cumple con su función de mejorar la calidad del agua, existiendo altos contenidos de químicos en su descarga ocasionando problemas ambientales a las aguas dulces donde desemboca.

En la curtiembre “Chimborazo” la disposición de las aguas residuales generadas en cada etapa de obtención de cuero se tratan por separado, siendo la más problemática la de la etapa de curtido al adicionar cromo trivalente, que posteriormente se oxidará y será desechada en el agua residual proveniente del bombo de curtido el mismo que se puede ver a continuación.



**Figura 2-3:** Bombo de curtido  
Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

La capacidad del bombo es máxima de 100 pieles y 200 bandas (cuero partido por la mitad), ahora bien, el agua del bombo usada en el proceso curtido se deja caer a una piscina debajo del mismo y se direcciona mediante una tubería hacia la zona de distribución de tratamiento de aguas residuales de cada proceso, esto se realiza mediante el uso de tubería que se conecta y desconecta según sea la necesidad, como se puede ver a continuación en la Figura 3-3.



**Figura 3-3:** Tubería de distribución del agua residual  
Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

#### 3.2.4.1 Tanque 1- Filtrado y adición de PAC

Una vez direccionada el agua residual proveniente del bombo esta entra a un tanque que cuenta con dos compartimientos, la primera compartición de tamaño (1,9x1,47x1,20)m adecuado con un filtro improvisado de lonas con finalidad de separar los sólidos de mayor tamaño, seguidamente pasa al segundo compartimiento de tamaño (2,1x1,47x1,10)m donde se añade Policloruro de Aluminio (PAC) al efluente contaminado dejando que repose por 2 días, como se puede ver a continuación en las Figuras 4-3 y 5-3.

**Tabla 13-3:** Dimensión actual primera partición-tanque 1

Dimensión	Valor	Unidad
Altura	1,47	<i>m</i>
Ancho	1,2	<i>m</i>
Largo	1,9	<i>m</i>
Volumen	3,35	<i>m</i> <sup>3</sup>

**Fuente:** Curtiembre “Chimborazo”, 2019.

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.



**Figura 4-3:** Tanque de llegada agua residual-primer compartimento/filtro

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

**Tabla 14-3:** Dimensión actual segunda partición-tanque 1

Dimensión	Valor	Unidad
Altura	1,47	<i>m</i>
Ancho	1,2	<i>m</i>
Largo	2,1	<i>m</i>
Volumen	3,70	<i>m</i> <sup>3</sup>

**Fuente:** Curtiembre “Chimborazo”, 2019.

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.



**Figura 5-3:** Segunda compartición/adición de PAC

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

#### 3.2.4.2 Tanque 2-Segundo filtración

Una vez pasado el tiempo de retención en el primer tanque pasa a un segundo filtrado a un tanque de dimensiones de (1,1x0,55x2,1)m, donde se realiza de manera improvisada un filtrado mediante una primera capa formada por lonas, seguidamente el agua desciende por una segunda capa formada por carbón activado y cuarzo. Como se puede ver a continuación en la Figura 6-3.

**Tabla 15-3:** Dimensión actual tanque 2

Dimensión	Valor	Unidad
Altura	0,55	m
Ancho	1,1	m
Largo	2,1	m
Volumen	3,40	m <sup>3</sup>

**Fuente:** Curtiembre “Chimborazo”, 2019.

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.



**Figura 6-3:** Segundo tanque/Filtrado por carbón activado y cuarzo

**Realizado por:** Jessenia Chamorro

#### 3.2.4.3 Tercer tanque

El efluente pasa a un tercer tanque de dimensiones (1,85x0,86 x2,10)m , mediante tuberías con orificios por donde descende el efluente anteriormente tratado con PAC y filtrado, en esta etapa el administrador de la planta dio a conocer que el agua cuenta con una disminución de los parámetros pero no lo suficiente para poder entrar en la normativa exigida, el tanque se puede ver en la Figura 7-3 como se encuentra en la actualidad.

**Tabla 16-3:** Dimensión actual tanque 3

Dimensión	Valor	Unidad
Altura	0,86	m
Ancho	1,85	m
Largo	2,1	m
Volumen	3,34	m <sup>3</sup>

**Fuente:** Curtiembre “Chimborazo”, 2019.

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.



**Figura 7-3:** Tercer tanque

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

#### 3.2.4.4 Aireación y agitación

El efluente se dirige hacia un cuarto tanque que cuenta con las siguientes dimensiones (2,52x1,44x2,20)m, en el cual existe la presencia de un aireador ubicado en la parte inferior del tanque, a más de ello se denota la presencia de un agitador ya que es aquí donde se realiza la adición de cal con la finalidad de establecer un pH óptimo para la descarga del agua contaminada, así como la adición de cloro para reducir la carga de microorganismos presentes por la presencia de material orgánico.

**Tabla 17-3:** Dimensión actual tanque 4

Dimensión	Valor	Unidad
Altura	1,44	m
Ancho	2,2	m
Largo	2,52	m
Volumen	7,98	m <sup>3</sup>

**Fuente:** Curtiembre “Chimborazo”

**Realizado por:** Jessenia Chamorro



**Figura 8-3:** Tanque de aireación y agitado

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

Se debe tener en cuenta que en la actualidad en la planta de tratamiento de aguas residuales para la etapa de curtido, las cantidades de químicos que son dispuestas para el tratamiento son

consideradas sin ningún previo estudio, es decir son agregadas de manera que en ninguna descarga de agua tienen la misma cantidad para su tratamiento.

Por último, las aguas tratadas por medio de este tratamiento son enviadas desde el cuarto tanque hacia la quebrada ubicada en la parte posterior de la planta de curtiembre como se puede visualizar en la Figura 9-3.



**Figura 9-3:** Descarga del efluente hacia la quebrada  
Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

#### 3.2.4.5 Insumos químicos usados en la obtención de cuero en la curtiembre “Chimborazo”

A lo largo de la cadena de producción se da la aplicación insumos químicos que son necesarios para la transformación de la piel del animal en cuero, generando contaminación y una repercusión para el ambiente. A continuación en la Tabla 18-3 se puede observar los insumos implicados en el proceso de curtido y post-curtido:

**Tabla 18-3:** Insumos químicos usados en cada proceso, en la curtiembre “Chimborazo”

PROCESO	DESCRIPCION	TIPO	% REFERIDO AL PESO
<b>CURTIDO</b>	Tenso activos		0.2
	Desenclantes	Sulfato de amonio	2
	Rindentes (purga)	Enzimática	0.1
	Sal		6
	Ácido Fórmico		1.5
	Sal de cromo		5
	Grasa	Sintética	0.5
	Basificantes		0.4
<b>POST-CURTIDO</b>	Neutralizantes	Formiato de sodio	1
	Recurtientes minerales	Cromo	2
	Grasas	Sintética	9
	Colorantes	Básicos	8
	Ácido Fórmico		2

**Fuente:** Curtiembre “Chimborazo”, 2019.  
**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.2.4.6 Producción y residuos contaminantes generados en el proceso de curtiembre

Los desechos que se generan en una curtiembre son variables en el número de constituyentes, de acuerdo a la materia prima, proceso que realiza y del producto final a obtener. Generalmente los residuos que se presentan son pedazos de sangre, pedazos de piel, estiércol, pelo, pedazos de carne, sal común, sales, sales de cromo y sulfuros, entre otros.

Los desechos contaminantes generados en una curtiembre pueden ser gaseosos, sólidos u líquidos este último son los que representan una mayor significación, presentando una carga orgánica expresada en DBO<sub>5</sub>. La curtiembre “Chimborazo” presenta los siguientes contaminantes líquidos tal como se puede observar en la Tabla 19-3

**Tabla 19-3:** Residuos contaminantes generados

<b>Etapa</b>	<b>Proceso</b>	<b>Contaminante</b>
<b>Recepción materia prima</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Recibir la carnaza.</li> <li>✓ Rebajar el Gamuzon.</li> </ul>	Residuos de sulfuro y de cal
<b>Remojo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Dejar remojar la carnaza con 100% de agua y anilina.</li> <li>✓ Esperar durante 30 horas.</li> </ul>	Descargas con colorantes
<b>Desencalado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agregar sulfato de amonio y bisulfito de sodio, en cierta cantidad de agua.</li> <li>✓ Insertar la carnaza remojada.</li> <li>✓ Lavar la piel con agua al 100%.</li> <li>✓ Realizar otro lavado al 100%.</li> </ul>	Descargas con presencia de nitrógeno amoniacal
<b>Piquedo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Generar una solución de ácido fórmico, sal en grano y agua.</li> <li>✓ Insertar la carnaza previamente lavada.</li> </ul>	Aguas residuales acidas Sal
<b>Curtido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agrega una sal de cromo a la solución del piquelado.</li> <li>✓ Perchar el cuero.</li> <li>✓ Dejar secar al sol.</li> <li>✓ Envió a rebajar.</li> </ul>	Aguas residuales acidas, con cromo disuelto y sal
<b>Recurtido</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Realizar una solución de sal de cromo, formiato y agua.</li> <li>✓ Insertar en cuero.</li> <li>✓ Secar el cuero al sol.</li> <li>✓ Envió a estacar el cuero.</li> <li>✓ Lijado del cuero.</li> </ul>	Aguas residuales con formiato y sales de cromo
<b>Teñido-engrasado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Acidular el baño con ácido fórmico</li> <li>✓ Insertar el cuero</li> <li>✓ Lavar con agua</li> <li>✓ Dejar secara al sol</li> </ul>	Aguas residuales con anilinas y ácidos grasos

**Fuente:** Curtiembre “Chimborazo”, 2019.

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019

### 3.2.5 Datos experimentales

#### 3.2.5.1 Datos tomados del caudal

Para determinar el caudal del agua residual proveniente de la etapa de curtido, se aplicó el método volumétrico, esto se llevó a cabo en la tubería que conecta la salida del efluente contaminado al

actual sistema de tratamiento de agua residual con el bombo de curtido, como se puede ver en la Figura 10-3.



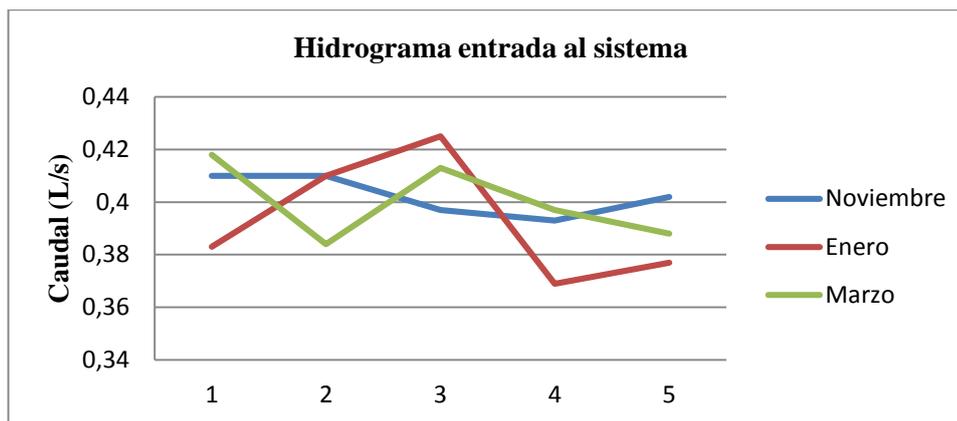
**Figura 10-3:** Toma de caudal  
Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

Se procedió a determinar el caudal con ayuda de un recipiente graduado de 6 litros, tomando el tiempo de llenado de este volumen con ayuda de un cronómetro. En los meses que se pueden ver a continuación en la Tabla 20-3

**Tabla 20-3:** Aforo del caudal de agua residual curtiembre “Chimborazo”

Mes	Muestra	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
Enero	1	6	14,65	0,410
	2	6	14,62	0,410
	3	6	15,13	0,397
	4	6	15,26	0,393
	5	6	14,92	0,402
Febrero	1	6	15,65	0,383
	2	6	14,62	0,410
	3	6	14,13	0,425
	4	6	16,25	0,369
	5	6	15,93	0,377
Marzo	1	6	14,35	0,418
	2	6	15,62	0,384
	3	6	14,54	0,413
	4	6	15,12	0,397
	5	6	15,45	0,388
Promedio caudal (L/s)				0,398
Promedio caudal (m <sup>3</sup> /día)				34,42

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.



**Gráfico 1-3:** Caudal de entrada al Sistema  
Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.2.5.2 Caracterización Físico-Química del agua residual-etapa curtido

La caracterización de las aguas residuales provenientes de la etapa de curtido se centró en los principales parámetros fuera de normativa, con finalidad de obtener valores reales se realizó un promedio de las tres caracterizaciones realizadas como se puede ver a continuación en la Tabla 21-3.

**Tabla 21-3:** Resultados análisis agua residual de “Curtido”

Determinación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Limite	Unidades
	7 de Enero	27 de Febrero	27 de Marzo		TULSMA/ Tabla 9	
pH	3,53	3,2	3,28	3,34	6-9	-
Turbiedad	630	468	485,98	567,27	.	NTU
Temperatura	22	21,9	21,9	21,93	Condición natural $\pm 3$	$^{\circ}\text{C}$
Conductividad	6,91	4,72	4,95	5,53	-	mS/cm
Sólidos Suspendidos	202	269,7	222	231,23	130	mg/L
Sólidos Totales	13428	13606	13303	13445,67	1600	mg/L
Cromo Hexavalente	0,6	0,58	0,53	0,57	0,5	mg/L
Cromo Total	526,4	533,65	641,77	567,27	-	mg/L
DBO <sub>5</sub>	8100	6800	4700	6533,33	100	mg/L
DQO	13000	11100	9758	11286	200	mg/L

**Fuente:** Laboratorio de Servicios Ambientales (UNACH)

Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.2.6 Pruebas de tratabilidad (Dosificación)

Las pruebas de tratabilidad se llevaron a cabo mediante pruebas de jarras utilizando coagulantes como Sulfato de Aluminio, Cloruro Férrico y Policloruro de Aluminio, así como cal y polímeros tales como: Aniónico, catiónico y no iónico, Todos estos químicos a diferentes concentraciones y dosificaciones (Volúmenes) , con el fin de determinar cuál es el mejor tratamiento a realizar.

Mediante pruebas de Test de Jarras con los químicos antes mencionados se simularon diferentes procesos de coagulación, floculación y sedimentación, con el fin de remover el material orgánico e inorgánico en suspensión en el efluente descarga en la etapa de curtido de la curtiembre “Chimborazo”.

### 3.2.6.1 Elección del coagulante

La dosificación y elección del coagulante óptimo se lo realizó, tomando en cuenta diferentes dosis a un PH de 9, en 1 Litro de muestra de agua residual, donde se determinó la diferencia del comportamiento frente a cada dosis.

**Tabla 22-3** Análisis y selección de Coagulante

# MUESTRA	COAGU-LANTE	Ppm	Después de 1 hora de reposo		Después de 2 horas de reposo		Después de 3 horas de reposo		FLOCULOS
			pH	NTU	Ph	NTU	pH	NTU	
1	PAC	50	8,5	301	8,3	317	7,6	318	(++)
2	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	50	8	500	6,9	499	5,88	486	(-)
3	FeCl <sub>3</sub>	50	8,4	493	7,3	478,9	6.61	481	(+)

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019

Se realizó la prueba de tratabilidad con dosis de referencia empezando con 50 ppm a un pH igual a 9, cabe recalcar que este pH es considerado dentro del límite base de tratabilidad y descarga. Siendo los mejores resultados los del Policloruro de Aluminio.

**Tabla 23-3** Análisis y selección de Coagulante.

# MUESTRA	COAGU-LANTE	Ppm	Después de 1 hora de reposo		Después de 2 horas de reposo		Después de 3 horas de reposo		FLOCULOS
			pH	NTU	Ph	NTU	pH	NTU	
1	PAC	100	8,6	294	8,1	285	7,8	284	(++)
2	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	100	8	487	7,1	486	6,35	477	(+)
3	FeCl <sub>3</sub>	100	8,2	488	7,4	480	6,1	472	(+)

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019

Una vez observada la diferencia de los coagulantes frente a las dosis aplicadas se pudo deducir una dosis patrón que fue de 200ppm para analizar como un valor constante para los tres coagulantes.

A continuación, se muestran las pruebas realizadas con diferentes coagulantes a 200ppm cada uno y con un pH constante de 9, en un volumen de 1 litro de agua residual, como se puede ver a continuación en la Tabla 24-3.

**Tabla 24-3:** Elección del coagulante

# MUESTRA	COAGULANTE	Ppm	Después de 1 hora de reposo		Después de 2 horas de reposo		Después de 3 horas de reposo		FLOCULOS
			pH	NTU	Ph	NTU	pH	NTU	
1	PAC	200	8,6	222	8,5	213	8,3	209,11	(+++)
2	Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	200	8	287,3	7,8	275	7,41	270	(+)
3	FeCl <sub>3</sub>	200	8,4	264	8,2	253,01	7,8	250	(++)

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019

Dónde:

(+++); Se forma más rápido los flóculos, compactos y sedimentados.

(++); Formación rápida de flóculos pero no es su totalidad, no se sedimentan completamente.

(+); Mayor tiempo de formación de flóculos, floc pequeños y no es compacto.

Según la Tabla 24-3 se puede denotar que el coagulante que tuvo mejor eficiencia en remoción de turbiedad es el Policloruro de Aluminio, por lo cual será elegido para las pruebas a diferentes concentraciones del mismo.

### 3.2.6.2 Elección pH óptimo

Una vez obtenido el coagulante se llevó a cabo la elección del pH más adecuado de partida para el sistema de tratamiento de agua residual. Se debe tener en cuenta que el pH fue regulado con cal en cada muestra como se puede ver a continuación en la Tabla 25-3.

**Tabla 25-3:** Elección pH óptimo

# MUESTRA	pH inicial	Ppm (PAC)	Después de 1 hora de reposo		Después de 2 horas de reposo		Después de 3 horas de reposo		FLOCULOS
			pH	NTU	Ph	NTU	pH	NTU	
1	8,4	200	8	288	7,7	278	7,5	263	(-)
2	8,7	200	8,5	247	8,3	238	8,1	227	(+)
3	9	200	8,6	222	8,5	213	8,3	209,11	(+++)
4	9,3	200	9,2	219,07	9,1	208	8,5	196	(+++)
5	9,6	200	9,3	221	9,2	210	8,6	201	(++)
6	9,9	200	9,5	233	9,3	230	8,39	215	(++)

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019

Dónde:

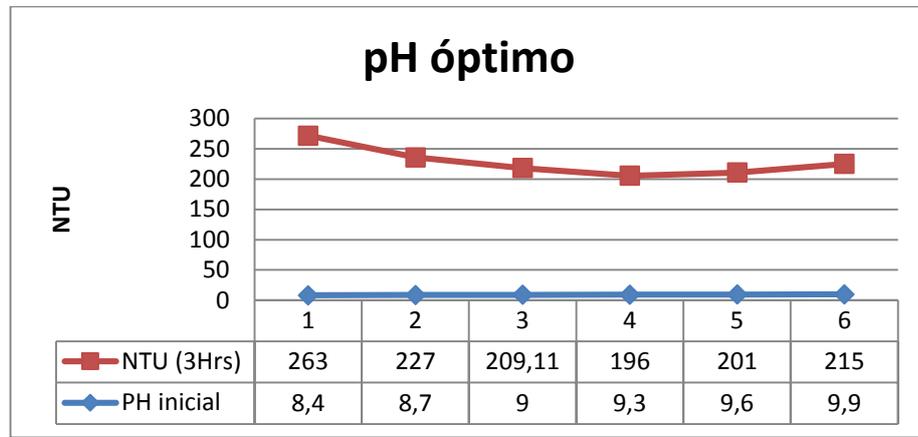
(+++); Se forma más rápido los flóculos, compactos y sedimentados.

(++); Formación rápida de flóculos pero no es su totalidad, no se sedimentan completamente.

(+); Mayor tiempo de formación de flóculos, floc pequeños y no es compacto.

(-); no se generan flóculos.

Como se muestra en la Gráfica 3-3 el pH óptimo es 9,3 perteneciente a la muestra 4, el cual permite que se dé la mayor remoción de solidos suspendidos, esto se comprueba con el valor del parámetro de turbiedad obtenido en el turbidimetro.



**Gráfico 2-3:** pH óptimo

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.2.6.3 Elección de la dosis de PAC a pH constante de 9,3

Una vez obtenido el pH óptimo se trabajó en la elección de la dosis del PAC, debido al antecedente de valor obtenido de cromo hexavalente en la caracterización inicial del efluente contaminado, constituyendo en un rango de concentración de 10 hasta 200ppm. Donde a lo largo de 3 horas se verificará en las muestras cual tiene mayor efecto de remoción de turbiedad. Como se observa en la Tabla 26-3.

**Tabla 26-3:** Dosis de PAC a pH 9,3.

# MUESTRA	pH inicial	ppm (PAC)	Después de 1 hora de reposo		Después de 2 horas de reposo		Después de 3 horas de reposo		FLOCULOS
			pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	
1	9,3	10	9,1	188	9,1	176	8,6	165	(++)
2	9,3	50	9,2	110	8,73	102	8,34	95,03	(+++)
3	9,3	100	9,1	150,06	8,7	143	8,41	139	(+++)
4	9,3	150	9,2	185	9	162	8,7	158	(++)
5	9,3	200	9,2	219,07	9,1	208	8,5	196	(++)

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

Dónde:

(+++); Se forma más rápido los flóculos, compactos y sedimentados.

(++); Formación rápida de flóculos pero no es su totalidad, no se sedimentan completamente.

(+); Mayor tiempo de formación de flóculos, floc pequeños y no es compacto

### 3.2.6.4 Elección de la dosis óptima de PAC a pH constante de 9,3

Al considerar que el rango de dosificación según la Tabla 26-3 es amplio se llevó a cabo una nueva elección de dosis de PAC entre un rango de 50 y 100ppm, ya que según la tabla antes mencionada fueron los que dieron mejor resultado de remoción de sólidos y es necesario encontrar rangos de dosificación mínimos pero eficientes para la coagulación por razones de valores establecidos en los parámetros iniciales de caracterización del efluente contaminante. En la Tabla 27-3 se puede observar la elección de la dosis óptima de PAC para el tratamiento de agua de curtido.

**Tabla 27-3:** Elección de la dosis óptima de PAC

# MUESTRA	pH inicial	ppm (PAC)	Después de 1 hora de reposo		Después de 2 horas de reposo		Después de 3 horas de reposo		FLOCULOS
			pH	NTU	Ph	NTU	pH	NTU	
1	9,3	50	9,2	110	8,73	102	8,34	95,03	(++)
2	9,3	60	9,1	108	9	126	8,7	93	(++)
3	9,3	70	9,1	146	8,9	139	8,6	123,6	(++)
4	9,3	80	9,2	100,1	9,1	85	8,63	74	(+++)
5	9,3	90	9,2	139,3	9,1	103	8,8	121	(++)
6	9,3	100	9,1	150,06	8,7	143	8,41	139	(++)

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

Dónde:

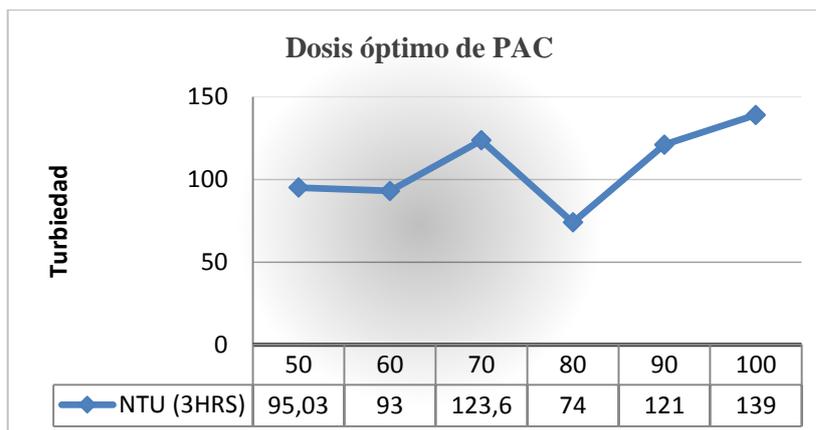
(+++); Se forma más rápido los flóculos, compactos y sedimentados.

(++); Formación rápida de flóculos pero no es su totalidad, no se sedimentan completamente.

(+); Mayor tiempo de formación de flóculos, floc pequeños y no es compacto.

(-); No hay formación de floculos

A lo largo de 3 horas y con ayuda de test de jarras se puede observar en la Tabla 27-3 se obtiene la dosis óptima, siendo esta de 80ppm para el PAC, como se puede ver a continuación en la Grafica 4-3.



**Gráfico 3-3:** Dosis óptimo de PAC  
Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.2.6.5 Elección de la dosis del floculante a 80ppm de PAC y pH constante de 9,3

Con finalidad de aglomerar las partículas desestabilizadas en flóculos se añade floculante que ayude con esta finalidad. Por lo cual se hace una selección entre floculantes aniónicos, catiónicos y no iónicos como se puede ver a continuación en la Tabla 28-3.

**Tabla 28-3:** Elección de floculante

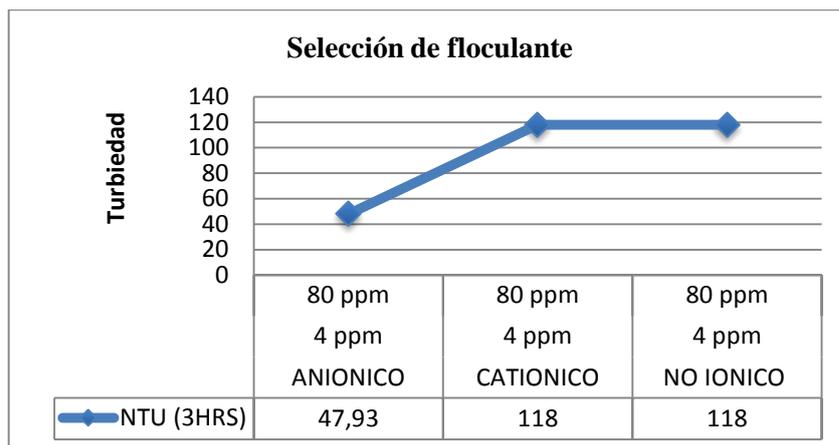
# MUESTRA	Floculante	Dosis Floculante (ppm)	PAC (ppm)	Después de 1 hora de reposo		Después de 2 horas de reposo		Después de 3 horas de reposo		FLOCULOS
				pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	
1	Aniónico	4	80	9	58,5	8,7	51	8,53	48,3	(+++)
2	Catiónico	4	80	9	110	9,8	109	8,57	109	No reacciona
3	No iónico	4	80	9	110	8,7	120	8,5	123	No reacciona

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

Dónde:

(+++); Se forma más rápido los flóculos, compactos y sedimentados. El agua tratada clarificando así mejores resultados en cuanto a turbiedad.

De los floculantes aplicados en cada muestra se tiene que el que tiene mejor eficiencia en la aglomeración de flóculos es el floculante aniónico, a diferencia de los otros dos floculantes no reaccionan en el agua residual de curtido. A continuación en la gráfica 5-3.



**Gráfico 4-3:** Selección de floculante  
Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.2.6.6 Elección de la dosis del floculante a 80ppm de PAC y pH constante de 9,3

**Tabla 29-3:** Dosis óptima de floculante aniónico

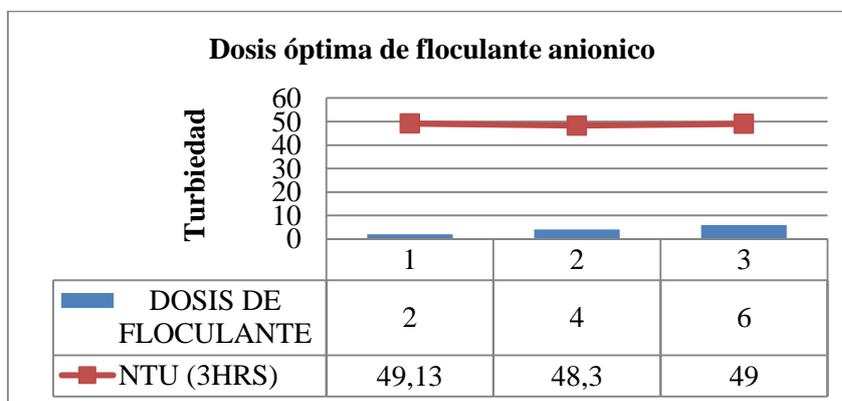
# MUESTRA	Floculante	Dosis Floculante (ppm)	PAC (ppm)	Después de 1 hora de reposo		Después de 2 horas de reposo		Después de 3 horas de reposo		FLOCULOS
				pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	
1	Aniónico	2	80	9	64	8,8	62,05	8,62	49,13	(+++)
2	Aniónico	4	80	8,8	58,5	8,85	51	8,6	48,3	(+++)
3	Aniónico	6	80	9	57	8,71	48,5	8,66	123	(+++)

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

Dónde:

(+++); Se forma más rápido los flóculos, compactos y sedimentados.

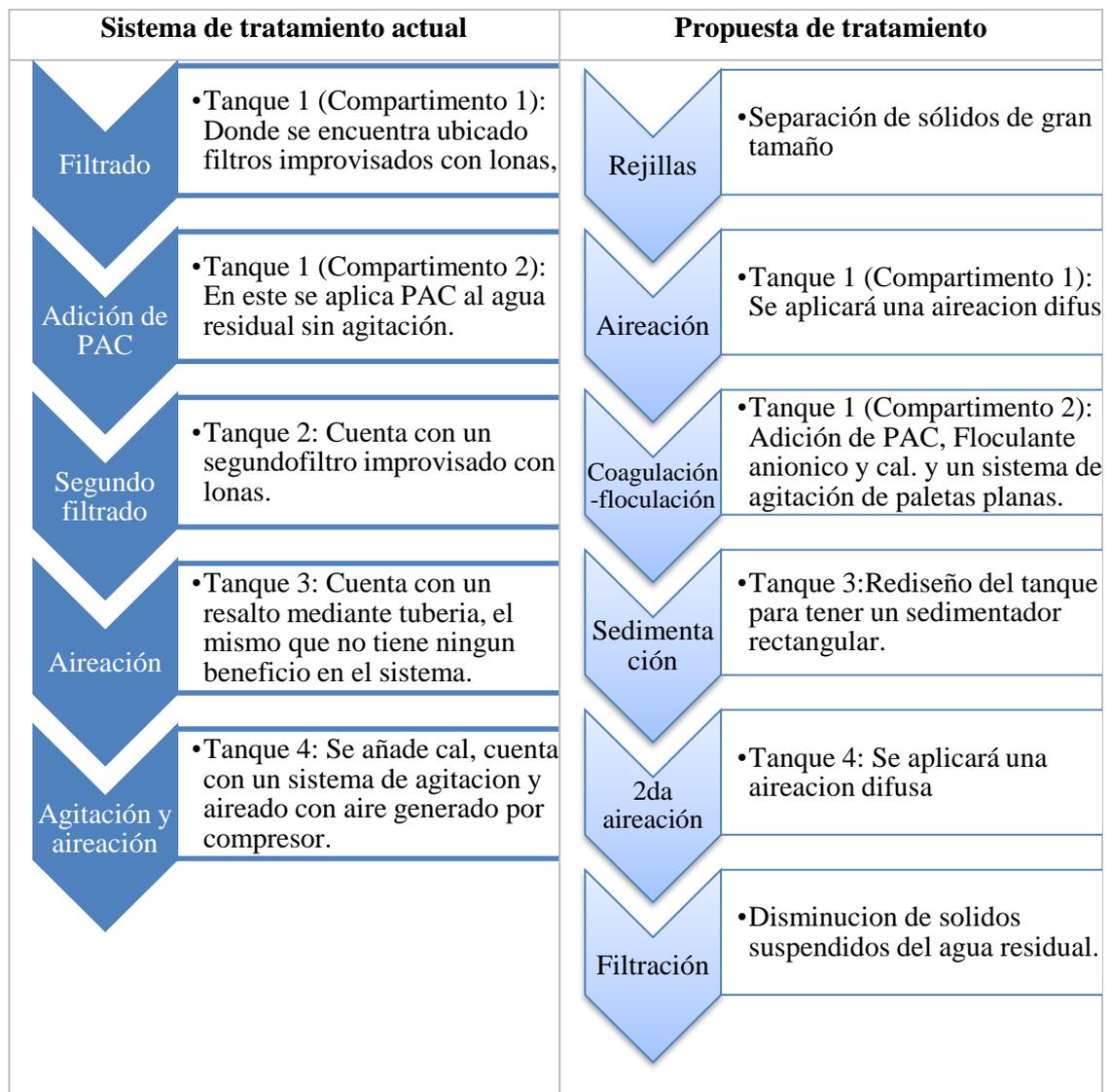
Al realizar el análisis de la dosis óptima de floculante aniónico se tiene que de las dosis aplicadas el mejor resultado nos da con 4 ppm de dosificación, como se puede ver en la Tabla 29-3, formando flóculos sedimentables de manera que cuentan con una turbiedad similar, pero por costos se tiene como dosis óptima de 2ppm.



**Gráfico 5-3:** Dosis óptima de floculante aniónico  
Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.2.7 Propuesta de Rediseño de la Actual Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la etapa de Curtido en la curtiembre “Chimborazo”

Para la realización del rediseño al sistema actual que no cumple su principal objetivo que es de remover los contaminantes, se partió con la medición del caudal y la caracterización del agua residual perteneciente a la etapa de curtido. A partir de estos datos se llega a determinar que unidades serán rediseñadas y cuáles son los sistemas nuevos diseñados que formaran parte del sistema de tratamiento teniendo en cuenta el espacio físico para su disposición. Con la finalidad que el agua residual se encuentre dentro de los límites permisibles exigidos por el TULSMA, Tabla 9.Descarga a un efluente de agua dulce.



**Figura 11-1:** Sistema actual y propuesta de tratamiento del agua residual en la etapa de curtido  
**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.2.7.1 Caudal de diseño

$$Q_D = 0,398 \frac{L}{s}; 34,42 \frac{m^3}{día}$$

**Ecuación (1)**

### 3.2.7.2 Dimensionamiento del sistema de rejillas

El cribado es un sistema que ayuda a la remoción de sólidos suspendidos de gran tamaño que son arrastrados por el agua residual, este sistema remueve material flotante mayores a 5mm. Impidiendo que se produzca taponamientos en las tuberías y sistemas posteriores de depuración del agua contaminante, además de ayudar al aumento de la eficiencia de cada unidad.

Se puede reducir o eliminar un aproximado de 5% a 20 % de sólidos en suspensión. (Guzmán, 2013)

**Tabla 30-3:** Condiciones de diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica

Condiciones	Unidad	Limpieza manual	Limpieza mecánica
<b>Tamaño de la barra:</b>			
<b>Anchura</b>	<i>mm</i>	5-15	5-15
<b>Profundidad</b>	<i>mm</i>	25-37.5	25-37.5
<b>*Separación entre barras</b>	<i>mm</i>	25-50	15-75
<b>Pendiente en relación a la vertical</b>	<i>Grados</i>	60-45	0-60
<b>Velocidad de aproximación</b>	<i>m/s</i>	0.30-0.60	0.6-1.1
<b>Perdida de carga admisible</b>	<i>mm</i>	150	150

Fuente: Norma RAS, 2000.

De acuerdo a la limpieza existen dos tipos:

- Rejillas de limpieza manual

Cuentan ángulos de inclinación que oscilan entre 60-80° para formar las rejas, separadas entre unas con otras formando barras para retención de sólidos grandes, por lo que su limpieza es de fácil retiro de los sólidos.

- **Área libre del paso de agua,  $A_L$ :**

Aplicando la Norma RAS 2000, la velocidad de flujo ( $v$ ) considerado para el dimensionamiento de rejillas de limpieza manual será el valor de  $0.45 \frac{m}{s}$ .

$$A_L = \frac{Q_D}{v}$$

**Ecuación (2)**

**Datos:**

$A_L$ : Área libre del paso de agua ( $m^2$ )

$Q_D$ : Caudal de diseño ( $m^3/s$ );  $3.87 \times 10^{-4} m^3/s$

$v$ : Velocidad de flujo ( $m/s$ );  $0.45 m/s$  (Valor considerado en la Tabla 30-3)

$$A_L = \frac{3.98 \times 10^{-4} m^3/s}{0.45 m/s}$$

$$A_L = 0.00088 m^2$$

- **Altura del tirante en el canal,  $h_{a'}$ :**

Se asumió el valor de 0.2m y despejando la altura del tirante en el canal.

$$h_{a'} = \frac{A_L}{B}$$

**Ecuación (3)**

**Datos:**

$h_{a'}$ : Altura del tirante en el canal ( $m$ )

$A_L$ : Área libre del paso de agua ( $m^2$ );  $0.00088 m^2$

$B$ : Ancho del canal ( $m$ ); 0.2 m

$$h_{a'} = \frac{0.00088 m^2}{0.2m}$$

$$h_{a'} = 0.0044 m$$

- **Altura del tirante de construcción,  $h_a$ :**

Para evitar desbordamiento del fluido en el canal se toma un valor de 0.3 como factor de seguridad, la altura del canal que transportará el agua de curtido hacia el tanque de aireación se obtiene con la siguiente ecuación:

$$h_a = h_{a'} + h_s$$

**Ecuación (4)**

**Datos:**

$h_{a'}$ : = Altura del tirante en el canal ( $m$ ); 0.0044 m

$h_s$ : Altura de seguridad ( $m$ ); 0.3 m

$$h_a = 0.0044 \text{ m} + 0.3 \text{ m}$$

$$h_a = \mathbf{0.3044 \text{ m}}$$

- **Longitud de las barras,  $L_b$ :**

Considerando la Norma RAS 2000, se consideró el valor de  $60^\circ$  inclinación de las barras para el diseño del sistema de rejillas.

$$L_b = \frac{h_a}{\text{Sen } \theta}$$

**Ecuación (5)**

**Datos:**

$L_b$ : Longitud de las barra (m)

$h_a$ : Altura del tirante de construcción (m); 0.3044 m

$\theta$ : Ángulo de inclinación de las barras (grados);  $60^\circ$  (Valor considerado en la Tabla 30-3)

$$L_b = \frac{0.3044 \text{ m}}{\text{Sen } 60}$$

$$L_b = \mathbf{0.35 \text{ m}}$$

- **Número de barras,  $N_b$ :**

Mediante consideración de los valores dados en criterios de diseño de la Norma RAS 2000 y Metcalf & Eddy 1995, se tomó los valores de 0.025 m para la separación entre las barras y de  $1.00 \times 10^{-2}$  m de espesor de las mismas.

$$N_b = \frac{B}{e + S}$$

**Ecuación (6)**

**Datos:**

$B$ : Ancho del canal (m); 0.2 m

$S$ : Separación entre las barras (m); 0.025 m (Valor considerado en la Tabla 30-3)

$e$ : Espesor de las barras(m);  $1.00 \times 10^{-2}$  m (Valor considerado en la Tabla 30-3)

$$N_b = \frac{0.2 \text{ m}}{1.00 \times 10^{-2} \text{ m} + 0.025 \text{ m}}$$

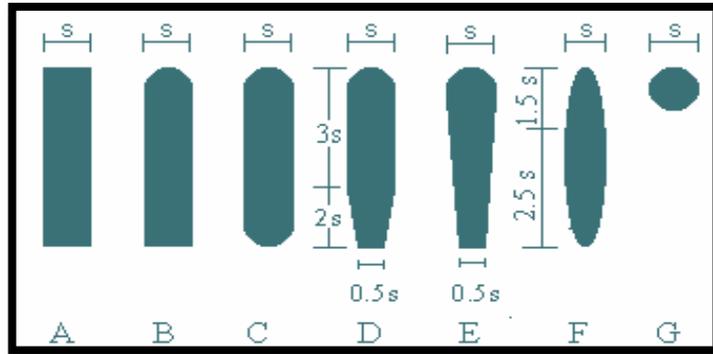
$$N_b = \mathbf{5,7 \cong 5 \text{ barras}}$$

Para el cálculo de pérdida de carga se usan con los datos expuesto en el siguiente cuadro:

**Tabla 31-3:** Coeficiente de pérdida para rejillas

Sección transversal							
Forma	A	B	C	D	E	F	G
$\beta$	2.48	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

Fuente: Norma RAS, 2000, Pp 51.



**Figura 12-3:** Diferentes formas de rejillas

Fuentes: RAS, 2000

- **Pérdida de carga,  $H$ :**

Se considera diseñarla en forma circular, como se puede observar en la figura 12-3, por lo que se considera el uso de factor de seguridad de la forma G de la tabla 31-3, siendo el valor de este 1.79. Valor basado en la Norma RAS 2000.

$$H = \beta \left( \frac{S}{e} \right)^{4/3} \left( \frac{v^2}{2g} \right) \text{Sen } \theta$$

**Ecuación (7)**

**Datos:**

$\beta$ : Factor dependiente de la forma de barras(adimensional); 1.79 (Valor considerado en la Tabla 31-3)

$S$ : Separación entre las barras (m); 0.025 m (Valor considerado en la Tabla 30-3)

$e$ : Espesor de las barras (m);  $1.00 \times 10^{-2}$  m (Valor considerado en la Tabla 30-3)

$v$ : Velocidad de flujo ( $m/s$ );  $0.45 m/s$  (Valor considerado en la Tabla 30-3)

$g$ : Gravedad ( $m/s^2$ ) =  $9.8 m/s^2$

$\theta$ : Ángulo de inclinación de las barras (grados);  $60^\circ$  (Valor considerado en la Tabla 30-3)

$$H = 1.79 \left( \frac{0,025 \text{ m}}{1.00 \times 10^{-2} \text{ m}} \right)^{4/3} \times \left( \frac{0,45^2}{2 * 9.8 \text{ m/s}^2} \right) \text{Sen } 60$$

$$H = 0.05m < 0,15 m \text{ admisibles } *$$

### 3.2.7.3 Dimensionamiento tanque de aireación

#### **-Aireación**

El agua se pone en contacto con el aire modificando las concentraciones de sustancias volátiles contenidas en ella. Su principal función en aguas residuales es de proveer oxígeno y mezcla en los procesos de tratamiento biológico aerobios.

Los equipos que generalmente son utilizados en el tratamiento de aguas residuales suelen ser de tres tipos:

- ✓ Equipos de aireación difusa, es decir, es dispersado a través del tanque de aireación en forma de burbujas.
- ✓ Sistema de agitación de paletas mediante el uso de turbinas generando aireación.
- ✓ Sistema de aireación artificial, el aire es generado mediante el uso de equipos motores generando una turbulencia superficial.

El rediseño contará con equipos de aireación difusa, es decir, ocupando compresores que inyecten aire bajo presión mediante el uso de tubos o conductos con orificios contenidos en el mismo, estos conductos son ubicados en la parte inferior del tanque de aireación generando burbujas en el agua residual. Mientras el tamaño del orificio sea menor mayor será la eficiencia del sistema de aireación. En caso de ser la presión baja se usan sopladores directos o de presión positiva (Romero, 2002. Pp. 389).

Los difusores generan burbujas mediante orificios o poros. Los orificios que generalmente son usados son los de poro fino de 2 a 5mm, seguidos por los de poro semifino de 6 a 10mm y poro grueso >10mm (Zofranca et al., 2012). Los poros que cuentan con mayor eficiencia son los de burbuja fina.

#### **• Volumen tanque de aireación**

Con el fin de brindar uso a los tanques existentes en el actual sistema de tratamiento de aguas residuales proveniente de la etapa de curtido, se ha tomado la decisión de añadir un sistema de aireación en el tanque 1 (primer compartimiento) que cuenta con un volumen de  $3,35m^3$ .

$$V_{T.A} = a_{T.A} * l_{T.A} * H_{T.A}$$

**Ecuación (8)**

Dónde:

$a_{T.A}$ : Ancho de tanque de aireación; 1,2m (Valor considerado en la **Tabla 13-3**)

$l_{T.A}$ : Largo tanque de aireación; 1,9m (Valor considerado en la **Tabla 13-3**)

$H_{T.A}$ : Altura tanque de aireación; 1,47m (Valor considerado en la **Tabla 13-3**)

$$V_{T.A} = 1,2m * 1,9m * 1,47m$$

$$V_{T.A} = 3,35m^3$$

- **Cálculo para el diseño del compresor**

El diseño del compresor tiene relación con diversos parámetros que logren definir la potencia del mismo, que logre alimentar de aire al agua residual. Los parámetros inmersos para su dimensionamiento son el tamaño de tanque, temperatura, caudal y DBO<sub>5</sub>.

- **Cálculo de inyección de aire para el agua de curtido**

El cálculo del caudal de aire que necesitará el agua residual proveniente de la etapa de curtido se lleva a cabo en función del DBO<sub>5</sub> que alimenta el sistema de tratamiento del efluente contaminado, mediante la siguiente ecuación:

$$DBO_5 \left( \frac{Kg}{dia} \right) = DBO_5 * Q$$

**Ecuación (9)**

**Dónde:**

DBO<sub>5</sub>: Demanda Biológica de Oxígeno; 6533,33 mg/L (Valor considerado de la **Tabla 21-3**)

Q: Caudal de diseño; 34,42  $\frac{m^3}{dia}$

$$DBO_5 \left( \frac{Kg}{dia} \right) = 6533,33 \frac{mg}{L} * \frac{1 Kg DBO_5}{1x10^6 mg DBO_5} * \frac{1000 L}{1m^3} * \frac{34,42m^3}{dia}$$

$$DBO_5 \left( \frac{Kg}{dia} \right) = 224,87 \frac{Kg DBO_5}{dia}$$

- El caudal de aire que va ser suministrado:

$$Q_{Aire} = 224,87 \frac{KgDBO_5}{dia} * \frac{154 m^3 aire}{1 KgDBO_5} * \frac{1 dia}{24 h} * \frac{1 h}{60 min}$$

$$Q_{Aire} = 24,05 \frac{m^3 aire}{min}$$

- **Cálculo de la presión hidrostática**

Tomando en cuenta que la altura del tanque 1 (primer compartimiento) es de 1,47m y teniendo en cuenta la densidad del agua ha 20°C, se tiene la presión con la siguiente ecuación:

$$P_{H_2O} = \rho * g * h$$

**Ecuación (10)**

Dónde:

$\rho$ : Densidad del agua a 20°C;  $998 \frac{Kg}{m^3}$

$g$ : Gravedad:  $9,8 \frac{m}{s^2}$

$h$ : Altura del tanque: 1,47m

$$P_{H_2O} = 998 \frac{Kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2} * 1,47m$$

$$P_{H_2O} = 14,38 \times 10^3 Pa$$

$$P_{H_2O} = 14,38 \times 10^3 Pa * \frac{1 atm}{101325 Pa} * \frac{14,7 psi}{1 atm}$$

$$P_{H_2O} = 2,08 psi$$

- **Presión absoluta**

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{H_2O}$$

**Ecuación (11)**

Dónde:

$P_{atm}$ : Presión atmosférica; 14,7 psi

$P_{atm}$ : Presión hidrostática; 2,08 psi

$$P_{abs} = 14,7 psi + 2,08 psi$$

$$P_{abs} = 16,78 psi$$

- **Variación térmica del aire de compresión**

$$\Delta T_{ad} = \frac{T_1}{\eta} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

**Ecuación (12)**

**Dónde:**

$T_1$ : Temperatura ambiente; 20°C

$P_2=P_{abs}$ : Presión absoluta; 16,78 psi

$P_1 = P_{atm}$ : Presión atmosférica; 14,7 psi

$\eta$ : Eficiencia compresor; 75%

$$\Delta T_{ad} = \frac{273 + 20^\circ\text{C}}{0,75} \left[ \left( \frac{16,78}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$\Delta T_{ad} = \frac{20^\circ\text{C}}{0,75} \left[ \left( \frac{16,78}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$\Delta T_{ad} = 14,91^\circ\text{C}$$

- **Temperatura de la salida del aire**

$$T_2 = T_1 + \Delta T_{ad}$$

**Ecuación (13)**

**Dónde:**

$T_1$ : Temperatura ambiente; 20°C

$\Delta T_{ad}$ : Variación térmica del aire de compresión; 14,91°C

$$T_2 = 20^\circ\text{C} + 14,91^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 34,91^\circ\text{C}$$

- **Variación de caudal a tener en cuenta para que no afecte el proceso**

$$Q_1 = \frac{T_1 P_2 Q_{Aire}}{P_1 T_2}$$

**Ecuación (14)**

**Dónde:**

$T_1$ : Temperatura ambiente: 20 °C

$P_2=P_{abs}$ : Presión absoluta; 16,78 psi

$P_1 = P_{atm}$ : Presión atmosférica; 14,7 psi

$Q_{Aire}$ : Caudal de aire suministrado; 24,05  $\frac{m^3 \text{aire}}{\text{min}}$

$T_2$  : Temperatura salida del aire; 34,91°C

$$Q_1 = \frac{(20\text{ °C})(16,78\text{ psi})(24,05 \frac{m^3\text{ aire}}{\text{min}})}{(14,7\text{ psi})(34,91\text{ °C})}$$
$$Q_1 = 15,73 \frac{m^3\text{ aire}}{\text{min}}$$

- **Velocidad a la salida del compresor**

$$v = \frac{Q_{\text{Aire}}}{A}$$
$$v = \frac{Q_{\text{Aire}}}{\frac{\pi}{4} * (D)^2}$$

**Ecuación (15)**

Dónde:

$Q_{\text{Aire}}$ : Caudal de aire suministrado; 24,05  $\frac{m^3\text{ aire}}{\text{min}}$

A: Área de circunferencia de la tubería

D: Diámetro de la tubería; 0,200m

$$v = \frac{24,05 \frac{m^3\text{ aire}}{\text{min}}}{\frac{\pi}{4} * (0,200\text{m})^2}$$
$$v = 765,5 \frac{m}{\text{min}} * \frac{\text{min}}{60\text{s}}$$
$$v = 12,76 \frac{m}{\text{s}}$$

- **Potencia del compresor**

$$P_c = \frac{0,22 * Q_{\text{aire}}}{\eta} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

**Ecuación (16)**

Dónde:

$Q_{\text{aire}}$ : Caudal del aire de compresión; 24,05  $\frac{m^3\text{ aire}}{\text{min}}$ ; 849,32  $\frac{ft^3\text{ aire}}{\text{min}}$

$P_2 = P_{\text{abs}}$ : Presión absoluta; 16,78 psi

$P_1 = P_{\text{atm}}$ : Presión atmosférica; 14,7 psi

$\eta$ : Eficiencia; 75%

$$P_c = \frac{0,22 * 849,32 \frac{ft^3 \text{aire}}{min}}{0,75} \left[ \left( \frac{16,78}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P_c = 9,5 \text{ HP} \cong 10 \text{HP}$$

El soplador necesario para suministrar aire es un soplador de desplazamiento positivo que puede variar considerando las relaciones con bajas presiones. Además se debe tener en cuenta que es recomendable la colocación de un filtro que evite taponamiento de los poros del difusor disminuyendo la eficiencia del mismo.

- **Densidad del aire**

$$\rho_a = \frac{1,293}{1 + 0,00367(T_2)} \left( \frac{P_2}{76} \right)$$

**Ecuación (17)**

Dónde:

$T_2$  : Temperatura salida del aire; 34,91°C

$P_2=P_{abs}$ : Presión absoluta; 16,78 *psi*; 86,78cmHg

$$\rho_a = \frac{1,293}{1 + 0,00367(T_2)} \left( \frac{86,78 \text{cmHg}}{76} \right)$$

$$\rho_a = \frac{1,293}{1 + 0,00367(34,91^\circ\text{C})} \left( \frac{86,78 \text{cmHg}}{76} \right)$$

$$\rho_a = 1,31 \frac{Kg}{m^3}$$

- **Consideraciones para la elección de la tubería**

Se debe considerar las siguientes condiciones para llegar a la elección de la tubería:

- ✓ Debido a que las presiones que se manejan no son muy altas las tuberías pueden ser ligeras.
- ✓ Las pérdidas en las tuberías son menores que las proporcionadas por los difusores.
- ✓ Materiales de tuberías:
  - a) Acero comercial
  - b) Acero recubierto con vinilo o resina epoxi.
  - c) Plásticos y resinas resistentes a altas temperaturas
  - d) Fibras de vidrio
  - e) Acero inoxidable (Fair, 2012)

El diámetro de la tubería se tiene mediante relación al caudal de aire., como se puede ver a continuación:

**Tabla 32-3:** Relación entre diámetro y caudal.

Diámetro (mm)	Caudal ( $\frac{m^3}{min}$ )
100	3,75
150	11,05
225	32,2
300	69,7
375	126
450	204
525	311
600	437
675	601
750	802

Fuente: Romero, 2012.

- **Viscosidad del aire**

$$\mu = (170 + 0,504 * T) \times 10^{-4}$$

Dónde:

$T_2$  : Temperatura salida del aire; 34,91°C

$$\mu = (170 + 0,504 * 34,91) \times 10^{-4}$$

$$\mu = 0,019 Pa \cdot s$$

- **Número de Reynold**

$$N_R = \frac{v * D * \rho_a}{\mu}$$

**Ecuación (18)**

Dónde:

$v$ : Velocidad a la salida del compresor;  $12,76 \frac{m}{s}$

$D$ : Diámetro de la tubería; 0,200m (*Valor considerado de la **Tabla 32-3***)

$\rho_a$ : Densidad del aire;  $1,31 \frac{Kg}{m^3}$

$\mu$ : Viscosidad del aire;  $0,019 Pa \cdot s$

$$N_R = \frac{12,76 \frac{m}{s} * 0,200m * 1,31 \frac{Kg}{m^3}}{0,019 Pa \cdot s}$$

$$N_R = 175,9$$

- **Número de Tuberías paralelas en el tanque**

$$N_T = \frac{\text{Ancho del tanque}}{\text{Distancia entre cada tubería}}$$

$$N_T = \frac{1,2m}{1m}$$

$$N_T = 1,2 \cong 1 \text{ tubería}$$

- **Cálculo para el diseño de difusores porosos**

Estos difusores permiten la homogenización de lodos en el agua residual. Estos son elementos que se encuentran al final los cuales permiten la liberación del aire en forma de burbujas las mismas que pueden ser finas o gruesas. Las burbujas finas logran una mayor eficiencia al otorgar mayor transferencia de aire al afluente (Zofranca et al., 2012).

**Tabla 33-3:** Tipos de difusores

Tipos	Eficiencia	Material	Ubicación	O <sub>2</sub> disuelto
Placa	Alta	Cerámica	Soportes fijos	26-33%
Domo	Alta	Cerámica	Fondo tanque	27-39%
Disco	Alta	Cerámica	Solera tanque	25-40%
Tubo	Moderada	Cerámica	Tubo distribución	28-30%

Fuente: (Romero., 2002)

**Tabla 34-3:** Régimen y eficiencia

Burbujas	Régimen	Eficiencia	Tamaño de burbuja
Burbuja simple o fina	$0 < N_R < 200$	10-30%	2-5 mm
Burbuja intermedia semifina	$200 < N_R < 2000$	6-15%	6-10 mm
Burbuja a chorro	$N_R > 2000$	4-8%	10 mm

Fuente: Kister et al, 2008.

- **Cálculo del diámetro de burbuja y difusores**

El tamaño de burbuja según el número de Reynold obtenido anteriormente se tiene que debe ser simple o fina.

$$d_o = \frac{d_b^3 g (\rho_L - \rho_g)}{6\sigma}$$

Dónde:

$d_b$ : Diámetro de burbuja; 0,002m (Valor considerado en la **Tabla 34-3**)

$g$ : Gravedad;  $9,8 \frac{m}{s^2}$

$\rho_L$ : Densidad del agua residual;  $1250 \frac{Kg}{m^3}$

$\rho_g$ : Densidad de aire;  $1,31 \frac{Kg}{m^3}$

$\sigma$ : Tensión superficial de la película gas-liquido;  $0,00087 \frac{N}{m}$

$$d_o = 0,056m = 5,6cm$$

- Frecuencia de formación de burbuja

$$f = \frac{Q}{\frac{\pi d_b^3}{6}}$$

**Ecuación (19)**

Dónde:

$Q_{aire}$ : Caudal del aire de compresión;  $24,05 \frac{m^3 aire}{min}$ ;  $0,4 \frac{m^3 aire}{s}$

$d_b$ : Diámetro de burbuja;  $0,002m$

$$f = \frac{0,4 \frac{m^3 aire}{s}}{\frac{\pi(0,002m)^3}{6}}$$

$$f = 9,5 \times 10^9 s^{-1}$$

### 3.2.7.4 Dimensionamiento del tanque de floculación y coagulación

En este equipo se añadirá los químicos que ayuden a la formación de flóculos, químicos como: cal, Policloruro de Aluminio y floculante anionico. En la actualidad en el tanque 1 (Segunda compartición) se añadía Policloruro de Aluminio (PAC) al efluente contaminado dejando y se dejaba en reposo por dos días, por lo cual no contaba con ningún sistema de agitación. El tanque cuenta con un volumen que se puede ver a continuación:

$$V_{F:C} = a_{F:C} * l_{F:C} * h_{F:C}$$

**Ecuación (20)**

Dónde:

$a_{F:C}$ : Ancho del tanque de floculación;  $1,2m$  (Valor considerado en la **Tabla 14-3**)

$l_{F:C}$ : Largo del tanque de floculación;  $2,1m$  (Valor considerado en la **Tabla 14-3**)

$h_{F:C}$ : Altura del tanque de floculación;  $1,47$  (Valor considerado en la **Tabla 14-3**)

$$V_{F.C} = 1,2m * 2,1m * 1,47$$

$$V_{F.C} = 3,7m^3$$

- **Sistema de agitación por paletas planas**

- **Longitud de la paleta,  $B$ :**

$$B = \frac{D}{4}$$

**Ecuación (21)**

**Datos:**

$B$ : Longitud de la paleta (m)

$D$ : Diámetro de la cámara de mezcla (m); 1.2 m

$$B = \frac{1.2 m}{4}$$

$$B = 0.27 m$$

- **Alto de la paleta,  $W$ :**

$$W = \frac{D}{4}$$

**Ecuación (22)**

**Datos:**

$W$ : Alto de la paleta (m)

$D$ : Diámetro de la cámara de mezcla (m); 1,2 m

$$W = \frac{1.2m}{4}$$

$$W = 0.27 m$$

- **Potencia aplicada al agua residual,  $P$ :**

Es necesario el cálculo de la potencia ya que incluye mucho en el número de revoluciones determinando la eficiencia del proceso de tratamiento.

**Tabla 35-3:** Parámetros de diseño para mezcladores de turbina

Parámetros	Medida
Gradiente de velocidad ( $s^{-1}$ )	500-1000
Tiempo de retención (h)	1-7

Fuente: programa regional HPE/OPS/CEPIS, 1992

$$P = v * V * G^2$$

**Ecuación (23)**

**Datos:**

**P:** Potencia aplicada al agua residual (Watt)

**v:** Viscosidad dinámica del agua a 20° ( $\frac{Ns}{m^2}$ );  $0.001003 \frac{Kg}{m s}$

**V:** Volumen del sedimentador ( $m^3$ );  $3,7 m^3$

**G:** Gradiente de velocidad ( $s^{-1}$ );  $500 s^{-1}$  (Valor considerado de la **Tabla 35-3**)

$$P = 0.001003 \frac{Kg}{m s} * 3,7 * (500 s^{-1})^2$$

$$P = 927,8 W * \frac{1HP}{745,7W}$$

$$P = 1,2 HP$$

• **Velocidad de rotación, N:**

Es el número de revoluciones por minuto para que se pueda producir una mezcla uniforme en el tanque.

**Tabla 36-3:** Número de potencia para diferente tipo de impulsores

Impulsor	Nº de potencia K
Hélice pinch cuadrada, 3 paletas	0.32
Hélice pinch 2, 3 aletas	1.0
Turbina, 6 aletas planas	6.3
Turbina, 6 aletas curvas	4.8
Turbina, 6 aletas punta de flecha	4.0
Turbina ventilador, 6 aletas	1.65

Fuente: programa regional HPE/OPS/CEPIS, 1992

$$N = \sqrt[3]{\frac{P}{K * \rho * D^5}}$$

## Ecuación (24)

### Datos:

**P:** Potencia (*Watt*); 927,8 W

**K:** Número de potencia (adimensional); 6.3 (*Valor considerado de la Tabla 36-3*)

**$\rho$ :** Densidad del agua a 20°C ( $\frac{Kg}{m^3}$ ); 999.49  $\frac{Kg}{m^3}$

**D:** Diámetro de la turbina (*m*); 1,1 m

$$N = \sqrt[3]{\frac{927,8 W}{6.3 * 999.49 \frac{Kg}{m^3} * (1,1m)^5}}$$
$$N = 0.45 \frac{rev}{s}$$
$$N = 27 rpm$$

### Cálculo para la dosificación de productos químicos

**Tabla 37-3:** Dosificación de químicos

Parámetro	Unidad	Resultado
Dosis Cal	G	6,5
Dosis PAC	Ppm	80
Dosis Auxiliar aniónico	Ppm	2
Turbiedad inicial	NTU	567,27
Turbiedad final	NTU	3,04
pH inicial	-	3,34

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

#### • Dosificación del Policloruro de Aluminio (PAC)

Mediante ensayos de laboratorio con test de jarras se tiene que: 2g de PAC se va a diluir en 100 ml de agua destilada, de la cual la dosis óptima para la muestra de 1000mL de agua residual es 4 mL.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

## Ecuación (25)

Dónde:

$C_1$ : Concentración de PAC de la solución; 2g PAC

$C_2$ : Concentración de PAC en la dosificación óptima;

$V_1$ : Volumen de la dosificación óptima de la solución; 4mL

$V_2$ : Volumen de la dosificación óptima de la solución; 1000mL

$$C_2 = \frac{C_1 * V_1}{V_2}$$
$$C_2 = \frac{0,02 \frac{g}{mL} * 4mL}{1000mL}$$
$$C_2 = 8 \times 10^{-5} \frac{g}{mL} * \frac{1000mL}{1 L}$$
$$C_2 = 0,08 \frac{g}{L}$$

Cantidad de Policloruro de Aluminio (PAC) requerida por día

$$P_{PAC} = Q_D * C_2$$

**Ecuación (26)**

Dónde:

$Q_D$ : Caudal de diseño;  $34420 \frac{L}{dia}$

$C_2$ : Concentración de PAC en la dosificación óptima;  $0,08 \frac{g}{L}$

$$P_{PAC} = 34420 \frac{L}{dia} * 0,08 \frac{g}{L} * \frac{1 Kg}{1000g}$$
$$P_{PAC} = 2,75 \frac{Kg}{dia}$$

- **Dosificación del floculante aniónico**

Mediante ensayos de laboratorio con test de jarras se tiene que: 0.1g de floculante aniónico se diluye en 100 ml de agua destilada, de la cual la dosis óptima para la muestra de 1000mL de agua residual es 2 mL.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

**Ecuación (27)**

Dónde:

$C_2$ : Dosificación óptima de floculante anionico

$C_1$ : Concentración de floculante anionico de la solución; 0,1g

$V_1$ : Volumen de la dosificación óptima de la solución; 2mL

$V_2$ : Volumen de la dosificación óptima de la solución; 1000mL

$$C_2 = \frac{C_1 * V_1}{V_2}$$

$$C_2 = \frac{0,001 \frac{g}{mL} * 2mL}{1000mL}$$

$$C_2 = 2 \times 10^{-6} \frac{g}{mL} * \frac{1000mL}{1 L}$$

$$C_2 = 0,002 \frac{g}{L}$$

Cantidad de floculante aniónico requerida por día

$$P_{floculante} = Q_D * C_2$$

**Ecuación (28)**

Dónde:

$Q_D$ : Caudal de diseño;  $34420 \frac{L}{dia}$

$C_2$ : Dosificación óptima de floculante aniónico;  $0,002 \frac{g}{L}$

$$P_{Floculante} = 34420 \frac{L}{dia} * 0,002 \frac{g}{L} * \frac{1 Kg}{1000g}$$

$$F_{Floculante} = 0,069 \frac{Kg}{dia}$$

- **Dosificación de cal**

Cantidad de cal requerido por día

$$P_{F.A} = Q_D * C_2$$

**Ecuación (29)**

Dónde:

$Q_D$ : Caudal de diseño;  $34420 \frac{L}{dia}$

$C_2$ : Dosificación óptima de cal;  $6,5 \frac{g}{L}$

$$P_{cal} = 34420 \frac{L}{dia} * 6,5 \frac{g}{L} * \frac{1 Kg}{1000g}$$

$$P_{cal} = 223,73 \frac{Kg}{dia}$$

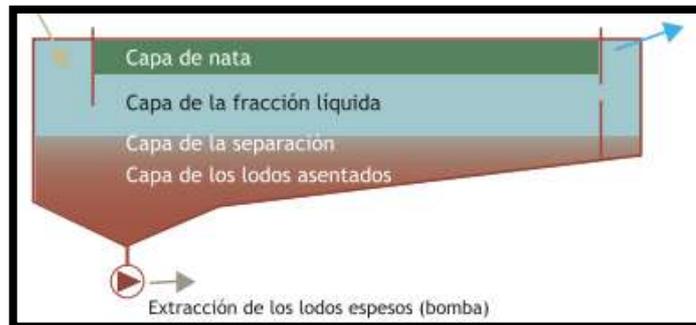
### 3.2.7.5 Dimensionamiento sedimentador rectangular

Los tanques de sedimentación son utilizados para la separación de partículas superiores a 0,03mm e inferiores a 0,2mm, esto gracias a la diferencia de densidades en el agua proveniente del floculador. Debido a que se genera en el equipo una velocidad de flujo mínima, por lo cual genera una turbulencia insignificante permitiendo el asentamiento de las partículas.

Tanque de sedimentación rectangular: En plantas pequeñas los tanques rectangulares de flujo horizontal son los más recomendados por ser simples de construir, además de contar con un sistema de recolección de lodos donde se ubican los sólidos más pesados que el agua por acción de la gravedad (BVSDE, 2001).



**Figura 13-3:** Tanque de sedimentación rectangular  
Fuente: (BVSDE, 2001)



**Figura 14-3:** Esquema de las capas de un tanque de sedimentación  
Fuente: (Dodane & Bassan, n.d.)

**Tabla 38-3:** Parámetros de diseño para pantalla difusora

Parámetro	Rango	Símbolo
Distancia desde la pared de entrada	0,7-1	$m$
Distancia de la pared inferior del sedimentador	0,80	$m$
Los orificios más altos a partir de la superficie	1/5-1/6	$m$
Los orificios más bajos a partir de la superficie del fondo	1/4-1/5	$m$
Velocidad inicial	$\leq 0,15$	$\frac{m}{s}$
Los orificios deben ser aboquillados en el sentido del flujo	15	$^{\circ}$

Fuente: CEPIS, 2012.

- **Área total de orificios**

Es aquella superficie en donde se ubicarán las aberturas por donde transitará el efluente. La velocidad de sedimentación en cada uno de los orificios no debe ser mayor a 0,15m/s para no crear perturbaciones dentro de la zona de sedimentación

$$A_o = \frac{Q_D}{V_{SD}}$$

**Ecuación (30)**

**Dónde:**

$Q_D$ : Caudal del diseño;  $34.42 \frac{m^3}{día}$ ;  $3,98 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

$V_{SD}$ : Velocidad paso entre orificios;  $0,1 \frac{m}{s}$  (Valor considerado en la **Tabla 38-3**)

$$A_o = \frac{3,98 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{0,1 \frac{m}{s}}$$

$$A_o = 3,98 \times 10^{-3} m^2$$

- **Área de sección circular**

$$a_o = \frac{\pi * D^2}{4}$$

**Ecuación (31)**

**Dónde:**

$D$ : Diámetro del orificio asumido;  $0,79m$

$$a_o = \frac{\pi * (0,79m)^2}{4}$$

$$a_o = 1,26 \times 10^{-3} m^2$$

- **Número de orificio**

$$n_o = \frac{A_o}{a_o}$$

**Ecuación (32)**

**Dónde:**

$a_o$ : Área de sección circular

$A_o$ : Área total de orificios;

$$n_o = \frac{3,98 \times 10^{-3} m^2}{1,26 \times 10^{-3} m^2}$$

$$n_o = 3$$

### Zona de sedimentación:

- **Longitud total**

Es la sumatoria de la longitud del sedimentador y la distancia entre la pantalla difusora y pared de entrada, el tanque 3 que existe en la actualidad en el sistema de tratamiento de aguas será reutilizado, actuando como sedimentador rectangular, el mismo cuenta con un largo de 2,1m.

$$L_t = L_s * L_{pd}$$

**Ecuación (33)**

Dónde:

$L_s$ : Longitud del sedimentador; 2,2m (*Valor considerado en la Tabla 16-3*)

$L_{pd}$ : Longitud entre la pantalla difusora y la pared de entrada; 0,8m (*Valor considerado en la Tabla 38-3*)

$$L_t = 2,1m + 0,8m$$

$$L_t = 2,9m$$

- **Velocidad de sedimentación**

Al tratarse de un sedimentador rectangular pequeño su ancho se ha considerado el mismo que en la actualidad contiene el tanque 3.

$$v_s = \frac{Q_D}{L_t * B_s}$$

**Ecuación (34)**

Dónde:

$Q_D$ : Caudal de diseño;  $3,98 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

$L_t$ : Longitud total; 2,9m

$B_s$ : Ancho del sedimentador; 1,85m (*Valor considerado en la Tabla 16-3*)

$$v_s = \frac{3,98 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{2,9m * 1,85m}$$

$$v_s = 7,42 \times 10^{-5} \frac{m}{s}$$

- **Área superficial en la zona de sedimentación**

$$A_s = \frac{Q_D}{v_s}$$

**Ecuación (35)**

Dónde:

$Q_D$ ; Caudal de diseño;  $3,98 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

$v_s$ ; Velocidad de sedimentación;  $7,42 \times 10^{-5} \frac{m}{s}$

$$A_s = \frac{3,98 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{7,42 \times 10^{-5} \frac{m}{s}}$$

$$A_s = 5,36 m^2$$

- **Carga Hidráulica**

Es la presión que ejerce el líquido sobre una superficie, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$C_H = \frac{Q_D}{B_s}$$

**Ecuación (36)**

$Q_D$ ; Caudal de diseño;  $3,98 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

$B_s$ ; Ancho del sedimentador;  $1,85 m$

$$C_H = \frac{3,98 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{1,85 m}$$

$$C_H = 2,15 \times 10^{-4} \frac{m^2}{s}$$

- **Volumen del tanque sedimentador**

$$V_s = B_s * L_t * P_s$$

**Ecuación (37)**

Dónde:

$B_s$ ; Ancho del sedimentador;  $1,85 m$

$L_t$ ; Longitud total;  $2,9 m$

$P_s$ ; Profundidad del sedimentador;  $0,86 m$

$$V_s = 1,85 m * 2,9 m * 0,86 m$$

$$V_s = 4,61 m^3$$

- **Periodo de retención hidráulica**

El periodo de retención hidráulica es el tiempo que se demora en llegar la partícula a la zona de lodos, el cual debe ser de 2 a 6 horas.

$$P_{RH} = \frac{v_s}{Q_D}$$

**Ecuación (38)**

Dónde:

$v_s$ : Volumen de sedimentación:  $4,61m^3$

$Q_D$ :  $3,98 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

$$P_{RH} = \frac{4,61m^3}{3,98 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}}$$

$$P_{RH} = 11582,92s$$

$$P_{RH} = 11582,92s * \frac{1h}{3600s} = 3,22h$$

### **Zona de recolección de lodos**

Los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales serán recolectados para su correspondiente disposición final, para lo cual se cuenta una inclinación de 10 grados en el fondo de tanque.

#### *3.2.7.6 Dimensionamiento del segundo tanque de aireación*

El tanque contará con un volumen de  $7,98m^3$ , siendo este parte del actual sistema de tratamiento, dicho tanque es denominado como tanque 4, donde existe la adición de PAC contando así con un sistema de agitación y además de aireación, el cual fue colocado de manera artesanal sin previo estudio. Por lo cual se ha visto en la necesidad de otorgar un nuevo sistema de aireación adecuado para las dimensiones del tanque actualmente.

$$V_{T.A} = a_{T.A} * l_{T.A} * H_{T.A}$$

**Ecuación (39)**

Dónde:

$a_{T.A}$ : Ancho de tanque de aireación; 2,2m (Valor considerado en la **Tabla 17-3**)

$l_{T.A}$ : Largo tanque de aireación; 2,52m (Valor considerado en la **Tabla 17-3**)

$H_{T,A}$ : Altura tanque de aireación; 1,44m (Valor considerado en la **Tabla 17-3**)

$$V_{T,A} = 2,2m * 2,52m * 1,44m$$

$$V_{T,A} = 7,98m^3$$

- **Cálculo de inyección de aire para el agua de curtido**

El cálculo del caudal de aire que necesitará el agua residual proveniente de la etapa de curtido se lleva a cabo en función del DBO<sub>5</sub> que alimenta el sistema de tratamiento del efluente contaminado, mediante la siguiente ecuación:

$$DBO_5 \left( \frac{Kg}{dia} \right) = DBO_5 * Q$$

**Ecuación (40)**

**Dónde:**

DBO<sub>5</sub>: Demanda Biológica de Oxígeno; 6533,33 mg/L (Valor considerado de la **Tabla 21-3**)

Q: Caudal de diseño; 34,42  $\frac{m^3}{dia}$

$$DBO_5 \left( \frac{Kg}{dia} \right) = 6533,33 \frac{mg}{L} * \frac{1 Kg DBO_5}{1x10^6 mg DBO_5} * \frac{1000 L}{1m^3} * \frac{34,42m^3}{dia}$$

$$DBO_5 \left( \frac{Kg}{dia} \right) = 224,87 \frac{Kg DBO_5}{dia}$$

El caudal de aire que va ser suministrado se tiene mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{Aire} = 224,87 \frac{Kg DBO_5}{dia} * \frac{154 m^3 aire}{1 Kg DBO_5} * \frac{1 dia}{24 h} * \frac{1 h}{60 min}$$

$$Q_{Aire} = 24,05 \frac{m^3 aire}{min}$$

- **Cálculo de la presión hidrostática**

Tomando en cuenta que la altura del tanque 1 (primer compartimento) es de 1,47m y teniendo en cuenta la densidad del agua ha 20°C, se tiene la presión con la siguiente ecuación:

$$P_{H_2O} = \rho * g * h$$

**Ecuación (41)**

Dónde:

$\rho$ : Densidad del agua a 20°C;  $998 \frac{Kg}{m^3}$

$g$ : Gravedad;  $9,8 \frac{m}{s^2}$

$h$ : Altura del tanque: 1,44m

$$P_{H_2O} = 998 \frac{Kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2} * 1,44m$$
$$P_{H_2O} = 14,38 \times 10^3 Pa$$
$$P_{H_2O} = 14,08 \times 10^3 Pa * \frac{1 atm}{101325 Pa} * \frac{14,7 psi}{1 atm}$$
$$P_{H_2O} = 2,04 psi$$

- **Presión absoluta**

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{H_2O}$$

**Ecuación (42)**

Dónde:

$P_{atm}$ : Presión atmosférica; 14,7 psi

$P_{H_2O}$ : Presión hidrostática; 2,04 psi

$$P_{abs} = 14,7 psi + 2,04 psi$$

$$P_{abs} = 16,74 psi$$

- **Variación térmica del aire de compresión**

$$\Delta T_{ad} = \frac{T_1}{\eta} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

**Ecuación (43)**

Dónde:

$T_1$ : Temperatura ambiente; 20°C

$P_2 = P_{abs}$ : Presión absoluta; 16,74 psi

$P_1 = P_{atm}$ : Presión atmosférica; 14,7 psi

$\eta$ : Eficiencia; 80%

$$\Delta T_{ad} = \frac{273 + 20^\circ C}{0,80} \left[ \left( \frac{16,74}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$\Delta T_{ad} = \frac{293^\circ C}{0,80} \left[ \left( \frac{16,78}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$\Delta T_{ad} = 13,72^{\circ}\text{C}$$

- **Temperatura de la salida del aire**

$$T_2 = T_1 + \Delta T_{ad}$$

**Ecuación (44)**

Dónde:

$T_1$ : Temperatura ambiente;  $20^{\circ}\text{C}$

$\Delta T_{ad}$ : Variación térmica del aire de compresión;  $13,72^{\circ}\text{C}$

$$T_2 = 20^{\circ}\text{C} + 13,72^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 33,72^{\circ}\text{C}$$

- **Potencia del compresor**

$$P_c = \frac{0,22 * Q_{aire}}{\eta} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

**Ecuación (45)**

Dónde:

$Q_{aire}$ : Caudal del aire de compresión;  $24,05 \frac{m^3 \text{aire}}{min}$ ;  $849,32 \frac{ft^3 \text{aire}}{min}$

$P_2 = P_{abs}$ : Presión absoluta;  $16,74 \text{ psi}$

$P_1 = P_{atm}$ : Presión atmosférica;  $14,7 \text{ psi}$

$\eta$ : Eficiencia;  $80\%$

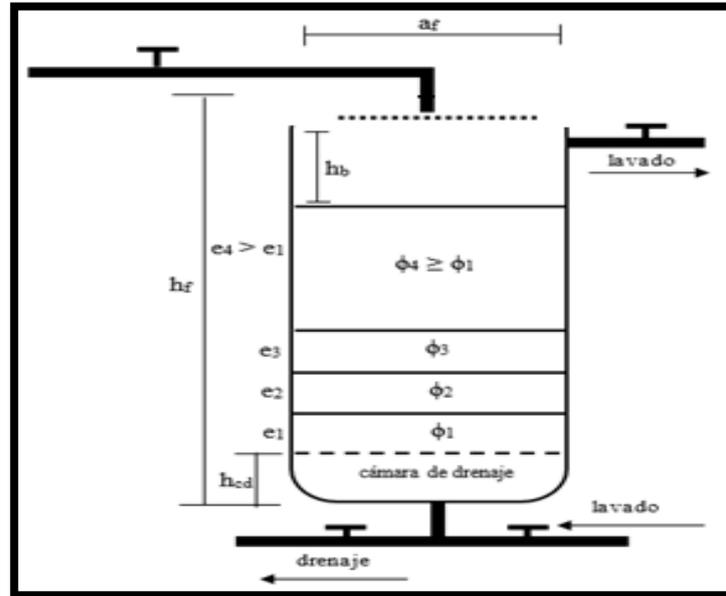
$$P_c = \frac{0,22 * 849,32 \frac{ft^3 \text{aire}}{min}}{0,80} \left[ \left( \frac{16,74}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P_c = 8,75 \text{ HP} \cong 9 \text{ HP}$$

### 3.2.7.7 Dimensionamiento para la Filtración

La filtración física mediante medios granulares permite la remoción de sólidos suspendidos mediante procesos de adsorción física y química, a más de generarse una descomposición biológica.

Los filtros granulares se diferencian de otros filtros convencionales de arena y grava por retener partículas más pequeñas (<2mm). Estos filtros generalmente cuentan con dos o más medios filtrantes.



**Figura 15-3:** Dimensiones del Sistema de filtración  
Fuente: (Bósquez, 2011)

La velocidad de filtración depende principalmente del tamaño de partícula o floculo existente, mientras sigue pasando el tiempo de uso es inevitable el crecimiento biológico que formara una película, de este modo el tamaño de poro disminuye.

**Tabla 39-3:** Parámetros diseño de filtro

Parámetro	Valor	Valor típico
Tasa de filtración (m/día)	2-12	9
Altura de agua sobre el lecho	1-1,5	1,25
Altura de drenaje	0,2-0,7	0,55

Fuente: (Romero, 1999)

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

Con la remoción de sólidos en el sedimentador se tiene una reducción de caudal por lo cual se ha visto en la necesidad de partir con un caudal de diseño con un porcentaje de pérdida de 5%.

$$Q_D = 34.42 \frac{m^3}{dia} * 0,95$$

**Ecuación (46)**

$$Q_D = 32.69 \frac{m^3}{dia}$$

- **Numero de filtros n**

$$n = 0,044 * \sqrt{Q_D}$$

**Ecuación (47)**

Dónde:

$Q_D$ : Caudal de diseño;  $32,69 \frac{m^3}{dia}$

$$n = 0,044 * \sqrt{32,69 \frac{m^3}{dia}}$$

$$n = 0,25 \cong 1$$

- **Caudal de diseño de filtración**

$$Q_f = \frac{Q_D}{n}$$

**Ecuación (48)**

Dónde:

$Q_D$ : Caudal de diseño;  $32,69 \frac{m^3}{dia}$

$$Q_f = \frac{32,69 \frac{m^3}{dia}}{1}$$

$$Q_f = 32,69 \frac{m^3}{dia}$$

- **Área del filtro**

$$A_f = \frac{Q_f}{T_f}$$

**Ecuación (49)**

Dónde:

$Q_f$ : Caudal de filtrado;  $32,69 \frac{m^3}{dia}$

$T_f$ : Tasa de filtración;  $9 \frac{m}{dia}$  (Valor considerado en la **Tabla 39-3**)

$$A_f = \frac{32,69 \frac{m^3}{dia}}{9 \frac{m}{dia}}$$

$$A_f = 3,63 m^2$$

- **Coficiente de costo mínimo**

$$K_c = \frac{2 * n}{1 + n}$$

### Ecuación (50)

Dónde:

$n$ : Número de filtros; 1

$$K_c = \frac{2 * 1}{1 + 1}$$
$$K_c = 1$$

- **Ancho del filtro**

$$af = \sqrt{\frac{A_f}{K_c}}$$

### Ecuación (51)

Dónde:

$A_f$ : Área del filtro,  $3,63m^2$

$K_c$ : Coeficiente de costo mínimo; 1

$$af = \sqrt{\frac{3,63m^2}{1}}$$
$$af = 1,9m$$

- **Largo del filtro**

$$L_f = \sqrt{A_f * K_c}$$

### Ecuación (52)

Dónde:

$A_f$ : Área del filtro,  $3,63m^2$

$K_c$ : Coeficiente de costo mínimo; 1

$$L_f = 1,9m$$

- **Altura del lecho filtrado, HLF:**

El lecho filtrante está compuesto por zeolita, carbón activado, arena y grava.

$$HLF = e_{af} + e_{zf} + e_{ca} + e_z + e_g$$

### Ecuación (53)

Dónde:

$e_{af}$ : Espesor de la capa de arena; 12cm

$e_z$ : Espesor de la paca de zeolita fina; 12cm

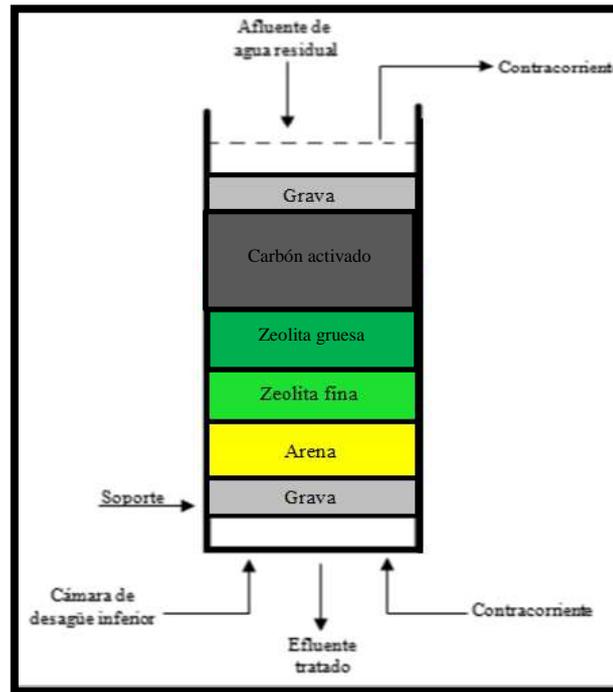
$e_c$ : Espesor de la capa de carbón activado; 22cm

$e_a$ : Espesor de la capa de zeolita; 10cm

$e_z$ : Espesor de la capa de grava; 8cm

$$HLF = 12cm + 12cm + 22cm + 10cm + 10cm + 8cm$$

$$HLF = 64cm$$



**Figura 16-3:** Composición lecho filtrante  
Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

- **Altura del filtro**

Con finalidad de evitar que en el filtro se produzca derrames, se aplica un factor de seguridad del 10% a la altura del filtro.

$$Z_f = f_s(C_a + HLF + C_s + F_c)$$

**Ecuación (54)**

Dónde:

$f_s$ : Factor de seguridad, 10%

$HLF$ : Altura del lecho filtrante; 0,64m

$C_a$ : Altura de la capa de agua; 1m

$C_s$ : Altura de la capa se soporte de grava, 0,10cm

$F_c$ : Altura de drenaje; 0,2m

$$Z_f = 1,10(1m + 0,64m + 0,10cm + 0,2m)$$

$$Z_f = 2,13m$$

- **Volumen del filtro**

$$V_f = Z_f * L_f * a_f$$

**Ecuación (55)**

Dónde:

$Z_f$ : Altura del filtro; 2,13m

$L_f$ : Largo del filtro; 1,9m

$a_f$ : Ancho del canal; 1,9m

$$V_f = 2,13 * 1,9m * 1,9m$$

$$V_f = 7,69m^3$$

**-Determinación del sistema de drenaje**

Para la estructura del sistema de salida del fluido del filtro se utilizará una tubería de 110mm perforada.

**Tabla 40:** Parámetro de diseño de laterales

Parámetro	Valor	Valor típico
Espaciamiento de los laterales (m)	1,5-2,0	1,5
Diámetro de los orificios de los laterales (mm)	2-4	4
Espaciamiento de los orificios de los laterales (cm)	10-30	20
Velocidad en el orificio (m/s)	0,3	0,3

Fuente: (Vigneswaran, 1995)

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

- **Área de cada orificio**

$$A_0 = \frac{\pi * D^2}{4}$$

**Ecuación (56)**

Dónde:

$D$ : Diámetro de cada orificio; 4mm (*Valor considerado en la Tabla 40-3*)

$$A_0 = \frac{\pi * (0,004m)^2}{4}$$

$$A_0 = 1,26 \times 10^{-5} m^2$$

- Caudal que ingresa a cada orificio

$$Q_0 = A_0 * v_o$$

**Ecuación (57)**

Dónde:

$A_0$ : Área de cada orificio;  $1,26 \times 10^{-5} m^2$

$v_o$ : Velocidad en el orificio;  $0,3 \frac{m}{s}$  (Valor considerado en la **Tabla 40-3**)

$$Q_0 = 1,26 \times 10^{-5} m^2 * 0,3 \frac{m}{s}$$

$$Q_0 = 3,77 \times 10^{-6} \frac{m^3}{s}$$

### 3.3 Resultados

#### 3.3.1 Dimensionamiento del rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales

**Tabla 41-3:** Dimensionamiento de sistema de rejillas

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
<b>Rejillas (Por implementar)</b>			
Ancho del canal	$B$	$m$	0,2
Alto de tirante de construcción	$h_a$	$m$	0,3044
Longitud de las barras	$L_b$	$m$	0,35
Ángulo de inclinación de las barras	$\theta$	$^\circ$	60
Separación entre barras	$S$	$m$	0,025
Espesor de las barras	$e$	$m$	$1,00 \times 10^{-2}$
Número de barras	$N_b$	–	5
Pérdida de carga	$H$	$m$	0,05

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

**Tabla 42-3:** Dimensionamiento de un sistema de aireación

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
<b>Tanque de aireación (Existente)</b>			
Ancho del tanque de aireación	$a_{T.A}$	$m$	1,2
Largo del tanque de aireación	$l_{T.A}$	$m$	1,9
Altura del tanque de aireación	$H_{T.A}$	$m$	1,47

<b>Volumen del tanque de aireación</b>	$V_{T.A}$	$m^3$	3,35
<b>Sistema de aireación (Por implementar)</b>			
<b>Caudal de aire</b>	$Q_{Aire}$	$\frac{m^3 aire}{min}$	24,05
<b>Presión hidrostática</b>	$P_{H_2O}$	$psi$	2,08
<b>Presión absoluta</b>	$P_{abs}$	$psi$	16,78
<b>Variación térmica del aire de compresión</b>	$\Delta T_{ad}$	$^{\circ}C$	14,91
<b>Temperatura de salida del aire</b>	$T_2$	$^{\circ}C$	34,91
<b>Potencia del compresor</b>	$P_c$	$HP$	10

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

**Tabla 43-3:** Diseño sistema de agitación en el tanque de floculación y coagulación

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
<b>Tanque de floculación y coagulación (Existente)</b>			
<b>Ancho del tanque</b>	$a_{F:C}$	$m$	1,2
<b>Largo del tanque</b>	$l_{F:C}$	$m$	2,1
<b>Altura del tanque</b>	$h_{F:C}$	$m$	1,47
<b>Volumen del tanque</b>	$V_{T.A}$	$m^3$	3,35
<b>Sistema de agitación por paletas planas (Por implementar)</b>			
<b>Longitud de la paleta</b>	$B$	$m$	0,27
<b>Alto de la paleta</b>	$W$	$m$	0,27
<b>Gradiente de velocidad</b>	$G$	$s^{-1}$	500
<b>Potencia aplicada al agua residual</b>	$P$	$HP$	1,2
<b>Velocidad de rotación</b>	$N$	$rpm$	27

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019

**Tabla 44-3:** Dimensionamiento sistema de sedimentación

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
<b>Pantalla difusora</b>			
<b>Área total de orificios</b>	$A_o$	$m^2$	$3,98 \times 10^{-3}$
<b>Velocidad paso entre orificios</b>	$V_{SD}$	$\frac{m}{s}$	0,1
<b>Área de sección circular</b>	$a_o$	$m^2$	$1,26 \times 10^{-3}$
<b>Número de orificios</b>	$n_o$	–	3
<b>Zona de sedimentación</b>			
<b>Longitud sedimentador</b>	$L_s$	$m$	2,1
<b>Longitud entre la pantalla difusora y la pared de entrada</b>	$L_{pd}$	$m$	0,8
<b>Longitud total</b>	$L_t$	$m$	2,9
<b>Ancho de sedimentador</b>	$B_s$	$m$	1,85
<b>Velocidad de sedimentación</b>	$v_s$	$\frac{m}{s}$	$7,42 \times 10^{-5}$

Área de sedimentación	$A_s$	$m^2$	5,36
Carga hidráulica	$C_H$	$\frac{m^2}{s}$	$2,15 \times 10^{-4}$
Volumen del tanque sedimentador	$V_s$	$m^3$	4,61
Periodo de retención hidráulica	$P_{RH}$	$h$	3,22

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019

**Tabla 45-3:** Dimensionamiento segundo tanque de aireación

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
<b>Tanque de aireación (Existente)</b>			
Ancho del tanque de aireación	$a_{T.A}$	$m$	2,2
Largo del tanque de aireación	$l_{T.A}$	$m$	2,952
Altura del tanque de aireación	$H_{T.A}$	$m$	1,44
Volumen del tanque de aireación	$V_{T.A}$	$m^3$	7,98
<b>Sistema de aireación (Por implementar)</b>			
Caudal de aire	$Q_{Aire}$	$\frac{m^3 aire}{min}$	24,05
Presión hidrostática	$P_{H_2O}$	$psi$	2,04
Presión absoluta	$P_{abs}$	$psi$	16,74
Variación térmica del aire de compresión	$\Delta T_{ad}$	$^{\circ}C$	13,72
Temperatura de salida del aire	$T_2$	$^{\circ}C$	33,72
Potencia del compresor	$P_c$	$HP$	9

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019

**Tabla 46-3:** Dimensionamiento tanque de filtración

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
<b>Tanque de filtración (Por implementar)</b>			
Número de filtros	$n$	—	1
Área del filtro	$A_f$	$m^2$	3,63
Ancho del filtro	$a_f$	$m$	1,9
Largo del filtro	$L_f$	$m$	1,9
Altura de capa de agua	$C_a$	$m$	1
Altura de capa se soporte de grava	$C_s$	$m$	0,10
Altura de drenaje	$F_c$	$m$	0,2
Altura de lecho filtrante	$HLF$	$m$	0,64
Altura total	$Z_f$	$m$	2,13
Volumen tanque de filtración	$V_f$	$m^3$	7,69
<b>Composición del lecho filtrante (Por implementar)</b>			
Espesor de la capa de arena	$e_{af}$	$cm$	12
Espesor de la capa de zeolita fina	$e_{z_f}$	$cm$	12
Espesor de la capa de carbón activado	$e_c$	$cm$	12
Espesor de la capa de zeolita	$e_z$	$cm$	10
Espesor de la capa de carbón activado	$e_{ca2}$	$cm$	10

Espesor de la capa de grava	$e_g$	cm	8
<b>Sistema de drenaje</b>			
Área de cada orificio	$A_0$	$m^2$	$1,26 \times 10^{-5}$
Caudal que ingresa a cada orificio	$Q_0$	$\frac{m^3}{s}$	$3,77 \times 10^{-6}$

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019

### 3.3.2 Resultado del tratamiento de aguas residuales

La planta de tratamiento de agua residual proveniente de la etapa de curtido no cumplía con las necesidades requeridas por lo cual se optó por el rediseño por lo que se propuso un proceso de depuración del afluente contaminado enfocado en la reducción de valores de los parámetros fuera de norma.

En la Tabla siguiente se puede observar los valores finales, obtenidos mediante ensayos de laboratorio que simulen el sistema de tratamiento propuesto, los cuales al ser comparados con los límites permisibles de la normativa perteneciente al TULSMA, Tabla 9 “Límites de descarga a un cuerpo dulce” cumplen con los requerimientos exigidos, dando como resultado que el sistema de tratamiento tiene eficiencia en la remoción de los contaminantes presentes en el afluente.

**Tabla 47-3:** Resultado de pruebas de tratabilidad

Determinación	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Limite	Unidades
	22 de Enero	15 de Marzo	27 de Marzo		TULSMA/ Tabla 9	
pH	8,63	8,7	8,68	<b>8,67</b>	6-9	-
Turbiedad	3	2,12	4	<b>3,04</b>	.	NTU
Temperatura	22	21,9	21,9	<b>21,93</b>	Condición natural $\pm 3$	°C
Conductividad	512	380	316	<b>402,66</b>	-	$\mu\text{s/cm}$
Sólidos Suspendidos	<1	<1	<1	<1	130	mg/L
Sólidos Totales	415	364,7	287,1	<b>355,6</b>	1600	mg/L
Cromo Hexavalente	0,069	0,042	0,13	<b>0,080</b>	0,5	mg/L
Cromo Total	14,91	5,14	5,7	<b>8,58</b>	-	mg/L
DBO <sub>5</sub>	86	72	26	<b>61,33</b>	100	mg/L
DQO	208	203	182	<b>197,67</b>	200	mg/L

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales (UNACH)

Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

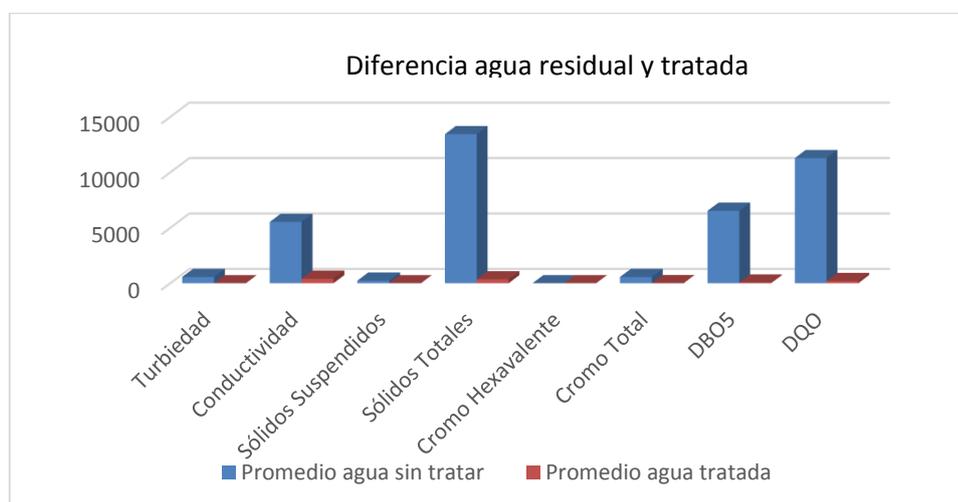
### 3.3.3 Comparación de resultados de Agua Residual antes y después del Tratamiento

**Tabla 48-3:** Comparación del agua antes y después del tratamiento

Determinación	Agua sin tratar	Agua tratada	TULSMA	Unidades
Turbiedad	567,27	<b>3,04</b>	.	NTU
Conductividad	5,530	<b>402,66</b>	-	μs/cm
Sólidos Suspendidos	231,23	<1	130	mg/L
Sólidos Totales	13445,67	<b>355,6</b>	1600	mg/L
Cromo Hexavalente	0,57	<b>0,080</b>	0,5	mg/L
Cromo Total	567,27	<b>8,58</b>	-	mg/L
DBO <sub>5</sub>	6533,33	<b>61,33</b>	100	mg/L
DQO	11286	<b>197,67</b>	200	mg/L

**Fuente:** Laboratorio de Servicios Ambientales (UNACH)  
Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.  
**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

Con finalidad de demostrar que el proceso de depuración del agua residual de la etapa de curtido en la curtiembre “Chimborazo” haya tenido el resultado esperado, se mandó analizar el agua obtenida en el Laboratorio de Servicios Ambientales (UNACH) y en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH que validen los resultados obtenidos en el tratamiento.



**Gráfico 6-3** Diferencia de agua residual y tratada

**Realizado por:** Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.3.4 Porcentaje de remoción

Una vez que se ha conseguido la disminución de valores en los parámetros fuera de norma del agua residual perteneciente a la etapa del curtido es necesario conocer el porcentaje de remoción

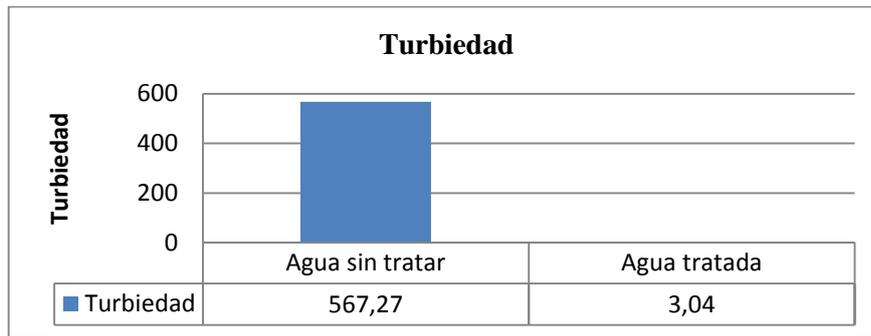
de cada contaminante presente, por lo cual se ha tomado la consideración el valor inicial de caracterización previo al tratamiento y el resultado posterior al mismo.

### 3.3.4.1 Porcentaje de remoción de turbiedad

**Tabla 49-3:** Porcentaje remoción de turbiedad

Determinación	Agua sin tratar	Agua tratada	% de remoción
Turbiedad	567,27	3,04	99,46

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.



**Gráfico 7-3** Remoción de turbiedad

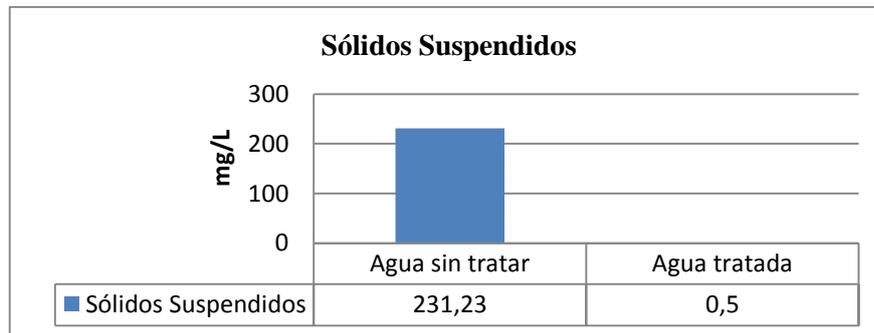
Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.3.4.2 Porcentaje de remoción sólidos suspendidos

**Tabla 50-3:** Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos

Determinación	Agua sin tratar	Agua tratada	% de remoción
Sólidos Suspendidos	231,23	<1	99,78

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.



**Gráfico 8-3** Remoción sólidos suspendidos

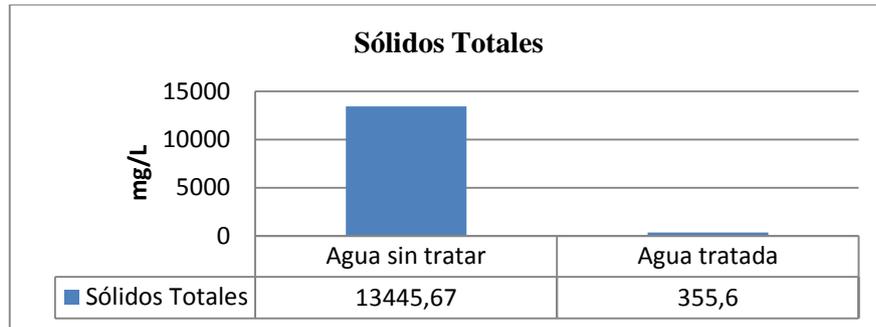
Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.3.4.3 Porcentaje de remoción sólidos totales

**Tabla 51-3:** Porcentaje de remoción de sólidos totales

Determinación	Agua sin tratar	Agua tratada	% de remoción
Sólidos Totales	13445,67	<b>355,6</b>	97,36

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.



**Gráfico 9-3** Remoción sólidos totales

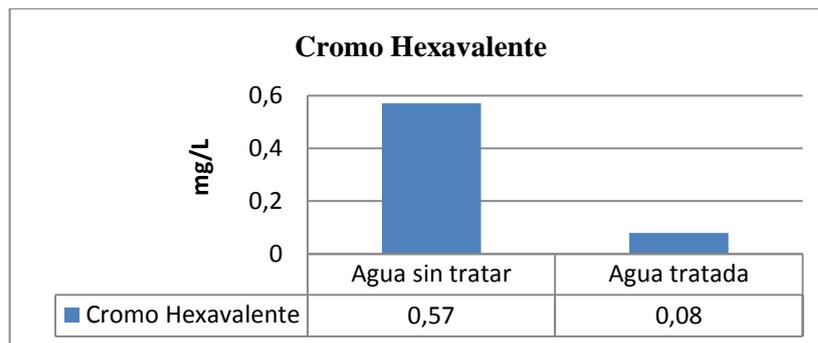
Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.3.4.4 Porcentaje de remoción de cromo hexavalente

**Tabla 52-3:** Porcentaje de remoción de cromo hexavalente

Determinación	Agua sin tratar	Agua tratada	% de remoción
Cromo Hexavalente	0,57	0,080	85,96

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.



**Gráfico 10-3** Remoción de cromo hexavalente

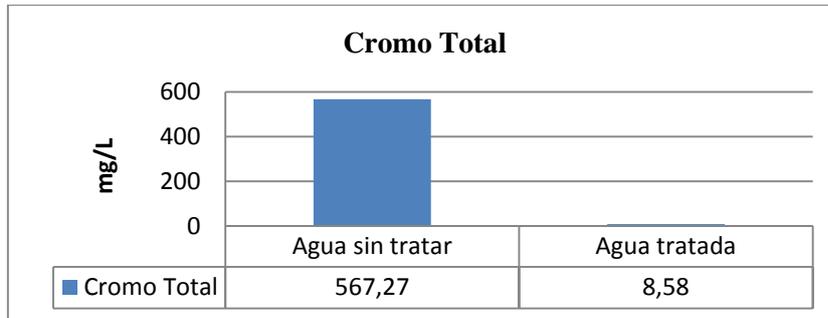
Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

3.3.4.5 Porcentaje de remoción de cromo total

**Tabla 53-3:** Porcentaje de remoción de cromo total

Determinación	Agua sin tratar	Agua tratada	% de remoción
Cromo Total	567,27	<b>8,58</b>	98,49

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.



**Gráfico 11-3:** Remoción de cromo total

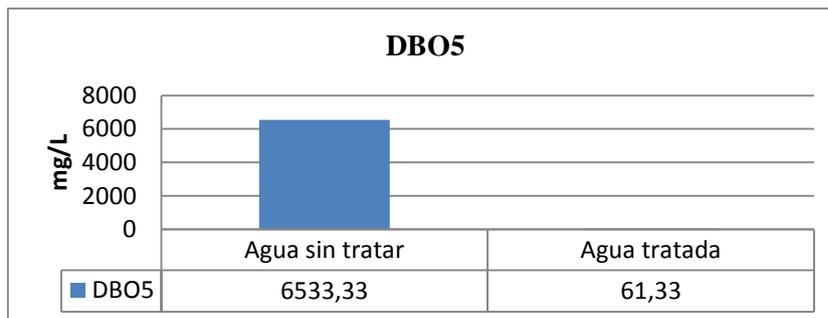
Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

3.3.4.6 Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub>

**Tabla 54-3:** Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub>

Determinación	Agua sin tratar	Agua tratada	% de remoción
DBO <sub>5</sub>	6533,33	<b>61,33</b>	99,06

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.



**Gráfico 12-3:** Remoción de DBO<sub>5</sub>

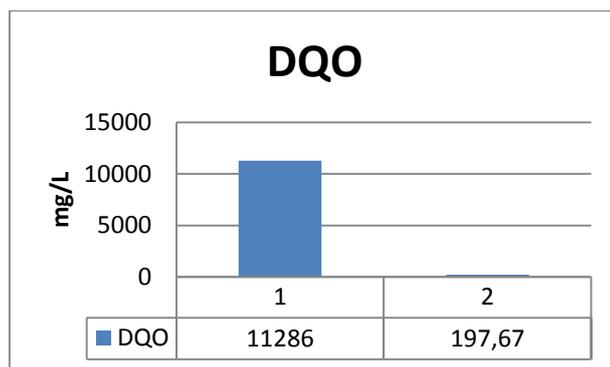
Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

3.3.4.7 Porcentaje de remoción de DQO

**Tabla 55-3:** Porcentaje de remoción de DQO

Determinación	Agua sin tratar	Agua tratada	% de remoción
DQO	11286	<b>197,67</b>	98,25

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.



**Gráfico 13-3:** Remoción de DQO

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.4 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

#### 3.4.1 Requerimiento de materiales y equipos para el muestreo y medición de caudal de aguas residuales

El muestreo del agua residual de la curtiembre se realizó bajo normativa, ver tabla 56-3:

**Tabla 56-3:** Norma técnica para la medición del caudal

Fundamento	Materiales	Procedimiento
<b>NTE INEN 2169:2013. Agua, Calidad del agua, Muestreo. Manejo y Conservación de muestras.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Frascos de vidrio color ámbar con tapa</li> <li>✓ Etiquetas con fecha y hora del muestreo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Recolección de agua residual en los frascos ámbar directamente de la desembocadura</li> <li>✓ Tapar el frasco</li> <li>✓ Colocar en un contenedor con hielo para su transporte.</li> </ul>

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2013)

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

Para llevar a cabo el muestreo es necesario la utilización de materiales adicionales así como equipos que evidencien lo realizado tales como:

**Tabla 57-3:** Materiales y equipos-toma de caudal

Equipos	Materiales
Cámara fotográfica Cronómetro	Guantes Mandil Balde graduado Mascarilla Esferográfico Cuaderno

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.4.2 Requerimiento de equipos y métodos para caracterización físico- químico del agua residual

**Tabla 58-3** Materiales, Equipos, Reactivos para Pruebas de Coagulación, Floculación Sedimentación

Materiales	Equipos	Reactivos
Balones de aforación	Balanza analítica	Policloruro de aluminio (PAC-08)
Escobilla de cerdas	Cronómetro	Sulfato de aluminio
Espátulas	Test de jarras	Cloruro férrico
Guantes	Turbidímetro	Agua destilada
Jeringuillas	pH-metro	Alcohol antiséptico 70°
Mandil		
Mascarillas		
Paños para limpieza		
Pizeta		
Vasos de precipitación		
Probeta		

Fuente: Laboratorio de Calidad de agua-ESPOCH

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.5 Análisis de Costo/beneficio del proyecto

#### 3.5.1 Costo del rediseño del sistema de tratamiento de agua residual

**Tabla 59-3** : Determinación de los costos del Sistema de Tratamiento de aguas residuales

Rubro/Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario(\$)	Precio Global(\$)
<b>REJILLAS</b>				
Rejillas metálicas	Unidad	1	20,00	20,00
Adecuación del canal	m <sup>2</sup>	1	8,00	8,00
Replanteo y nivelación	m <sup>2</sup>	1	12,00	12,00
			<b>Subtotal</b>	<b>40,00</b>
<b>TANQUES DE AIREACIÓN</b>				
Difusores	M	10	15,00	150,00
Tubo de acero al carbono SCH 40 ASTM-53 de 200mm (Longitud 6m)	Unidad	1	340,00	340,00
Codo 90° ASTM A234 WPB 8"	Unidad	2	45,00	90,00
Tee HG 8"	Unidad	1	80,00	80,00
Válvula de bola 8"	Unidad	1	100,00	100,00
Compresor 10HP	Unidad	1	1500,00	1500,00
			<b>Subtotal</b>	<b>2260</b>
<b>TANQUE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN</b>				
Láminas de acero PL e=6mm (Paletas)	Kg	30,80	1,90	58,52
Acero AISI 1018 L=1500mm, D=40mm (Eje)	Kg	10,50	1,50	15,75
Suministro e instalación de motor de 1HP	Unidad	1	200,00	200,00
			<b>Subtotal</b>	<b>274,27</b>
<b>TANQUE DE SEDIMENTACIÓN</b>				
Replanteo H.S. 140 Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	3.0	20.50	61.50
Hormigón simple F'C= 210Kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	2.2	120.20	264.44
Enlucido vertical con impermeabilización	m <sup>2</sup>	20	9.45	189.00
			<b>Subtotal</b>	<b>514.94</b>
<b>FILTRO</b>				
Excavación manual	m <sup>3</sup>	3.63	7.20	26.14

<b>Hormigón Simple f' c= 210 Kg/cm2.</b>	m <sup>2</sup>	2.0	120.20	240.40
<b>Relleno grava</b>	m <sup>3</sup>	0,3	30.00	9.00
<b>Relleno de arena</b>	m <sup>3</sup>	0,5	30.00	15,00
<b>Relleno de carbón activado</b>	m <sup>3</sup>	0.79	80.00	63,20
<b>Relleno de zeolita fina</b>	m <sup>2</sup>	0.5	70.00	35,00
<b>Relleno de zeolita gruesa</b>	m <sup>2</sup>	0.36	70.00	25,20
<b>Tubería PVC D=110mm desagüe + válvula</b>	M	4.00	4.00	16,00
			<b>Subtotal</b>	<b>429.94</b>
<b>Otros</b>				
<b>Mano de obra (Técnico responsable)</b>	Unidad	1	500	500,00
<b>Mano de obra (Operarios)</b>	Unidad	2	200	400,00
			<b>Subtotal</b>	<b>900.00</b>
<b>PRECIO TOTAL DEL SISTEMA FÍSICO DE TRATAMIENTO</b>				<b>4419.15</b>

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.5.2 Costos de Químicos

**Tabla 60-3:** Costos Químicos

Detalle	Dosificación (Kg/día)	Presentación (Kg)	Costo por unidad (\$)	Costo por día (\$)
Policloruro de Aluminio	2,75	25	36,40	2,55
Floculante aniónico PHP-20 PLUS	0,069	25	162,50	0,45
Cal	223,73	25	7,00	62,64
TOTAL				<b>65,64</b>

Realizado por: Jessenia Chamorro, 2019.

### 3.6 Análisis

La obtención de los resultados se llevó a cabo teniendo en cuenta que se trabajará con afluente de la descarga de la etapa de curtido de la curtiembre “Chimborazo”, que actual sistema de tratamiento de aguas residuales no cumple con su objetivo el cual es eliminar o retirar los contaminantes existentes, de este modo percutiendo en no poder cumplir con los parámetros exigidos por el TULSMA sobre descargas a efluentes de agua dulce. Dicho efluente proveniente del curtido de las pieles es descargado a la quebrada directamente siendo un problema que debe ser atendido, no obstante, se partió con la toma del caudal mediante el método volumétrico realizado los meses de Enero, Febrero y Marzo de 2019, especificado en la Tabla 20-3. El muestreo del agua residual se efectuó en los meses antes mencionados observar Tabla 21-3.

Mediante la realización de la caracterización físico-química de las muestras realizadas y con promedio de las mismas, se identificó los parámetros que se encontraban fuera de los límites permisibles de descarga para cada muestra compuesta basada en el Anexo I libro VI TULSMA, (Tabla 9). Los cuales fueron pH, Turbiedad, Conductividad, Sólidos Suspendidos, Sólidos Totales, Cromo Hexavalente, Cromo Total, DBO<sub>5</sub> y DQO.

Para la tratabilidad del agua residual se consideró emplear el test de jarras aplicando diferentes coagulantes y floculantes como se puede ver en la Tabla 24-3 y Tabla 28-3 respectivamente hasta llegar a obtener los más óptimos, una vez seleccionados los químicos se verifica la dosificación y concentración más adecuada. Además previamente se trató el agua con cal hasta llegar a un pH adecuado para el proceso como se identifica en la Tabla 25-3, una vez seleccionado el coagulante (Policloruro de Aluminio) se eligió la concentración de 80ppm como se puede observar en la Tabla 27-3, al igual que el floculante aniónico con una concentración de 2ppm determinada en la Tabla 29-3. Lo que permitió remover los contaminantes presentes hasta llegar a establecer parámetros dentro de los límites como se puede apreciar en la Tabla 47-3.

El promedio de las muestras presentaban una turbiedad de 567.27 NTU y un pH de 3,34 que después del tratamiento de depuración se llegó a obtener una turbiedad de 3,04NTU y un pH 8,67. Además de tener otros parámetros fuera de norma como sólidos suspendidos con una concentración de 231,23 mg/L y posterior al tratamiento se obtuvo un valor de <1 siendo su límite permisible 130 mg/L; sólidos totales con una concentración 13445,67 mg/L que posterior a su tratamiento se obtuvo un valor de 355,6 mg/L, siendo su límite permisible 1600 mg/L; Cromo Hexavalente con una concentración 0,57mg/L que posterior a su tratamiento se obtuvo un valor de 0,08mg/L siendo el límite permisible 0,5 mg/L; Cromo Total con una concentración de 567,27 mg/L y posterior al tratamiento se obtuvo un valor de 8,58mg/L; DBO con una concentración de 6533,33 mg/L y posterior al tratamiento se obtuvo un valor de 61,33mg/L siendo su límite permisible 100 mg/L y DQO con una concentración de 11286 mg/L y posterior al tratamiento se obtuvo un valor de 196,67mg/L siendo su límite permisible 200 mg/L, como se indican en la Tabla 46-3. Por lo que se llega a una remoción del: 99,46% para la Turbiedad; 99,78% Sólidos Suspendidos; 97,36% Sólidos Totales; 85,96% Cromo Hexavalente; 98,49% Cromo Total; 99,06% DBO<sub>5</sub> y 98,25% BQO, como se puede observar en la Tablas 49-3, 50-3, 51-3, 52-3, 53-3, 54-3 y 55-3 respectivamente.

El sistema actual cuenta con tanques que actúan como etapas de tratamiento, pero no cumplen una verdadera función asignada por lo cual se vio en la necesidad de rediseñar el sistema de tratamiento aguas residuales empleando rejillas, aireación, floculación y coagulación, sedimentación y un filtrado logrando que el agua de vertido cumpla con los parámetros exigidos en la norma. Para lo cual a la planta se le debe realizar una repotenciación de los diferentes procesos realizando una inversión de \$4419.15 para su infraestructura y \$65,64 de inversión diaria para los químicos necesarios para la tratabilidad del efluente. El valor de tratamiento por metro cubico para el efluente proveniente de la etapa de curtido es de \$1,90,

## CONCLUSIONES

- La caracterización del agua residual proveniente de la etapa de curtido dio como resultados los siguientes parámetros fuera del límite permisible en base a la norma TULSMA, Libro VI; Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce. Siendo estos: pH: 3,34; Turbiedad: 567,27NTU; Sólidos Suspendidos: 231,23mg/L; Sólidos Totales: 13445,67mg/L; Cromo Hexavalente: 0,57mg/L; Cromo Total: 567,27mg/L; DBO<sub>5</sub>: 6533,33 mg/L y DQO: 11286mg/L. Con estos resultados se evidencio que la planta actualmente no cuenta con el funcionamiento correcto.
- Las variables identificadas para llevar a cabo el rediseño de la planta de agua residual de la etapa de curtido de curtiembre “Chimborazo” son: Caudal y la dosificación de coagulante-floculante diario.
- Mediante ensayos de laboratorio y con ayuda del test de jarras se realizó la tratabilidad del afluente contaminado, teniendo en cuenta que químicos deben ser aplicados para cumplir esta meta de las cuales se tiene la Cal como regulador del pH inicial, el PAC a 80ppm y el Floculante Anionico a 2ppm como removedor de solidos presentes sean orgánicos e inorgánicos, disminuyendo asi el Cromo, el DBO<sub>5</sub> y DQO.
- Realizando los cálculos de ingeniería mediante los criterios para llevar a cabo el rediseño se propone implementar un sistema de rejillas, aireación para afluente, sistema de agitación, sedimentación y filtración, todos estos como una nueva alternativa para el mejoramiento del funcionamiento actual de la planta de tratamiento de aguas residuales.
- La validación del rediseño se realizó mediante una caracterización final del efluente obtenido después del tratamiento (Tabla 47-3) misma que muestra el cumplimiento de la normativa dentro de los límites permisibles exigidos por la norma Anexo I del libro VI TULSMA, (Tabla9) “Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce”.

## RECOMENDACIONES

- Se debe realizar la limpieza mensual de los lodos contenidos en el sedimentador, con finalidad que a futuro no se genere problemas en el tratamiento, garantizando el buen funcionamiento de la planta de aguas residuales.
- Se debe tener en cuenta que el rediseño planteado se debe llevar a cabo lo más antes posible, evitando así seguir descargando el agua contaminada, por otro lado, se debe tener en cuenta que el rediseño esta direccionado para la etapa de curtido por lo cual no se debe mezclar con aguas provenientes de otras etapas de la obtención del cuero.
- Llevar un historial de las cargas contaminantes generadas por el afluente, con fin de llegar a tener tabulado la cantidad de químicos a ser adicionados para su respectiva depuración.
- Brindar capacitación a los trabajadores de la planta de curtiembre sobre la utilización de la PTAR y el uso de reactivos químicos que van a formar parte de la tratabilidad del afluente contaminado.

## BIBLIOGRAFÍA

**CABANILLA, Frank.** *Medición de fluidos en canales abiertos con vertederos* [en línea]. Septiembre 10 del 2015 [Consulta: 19 noviembre 2015]. Disponible en: <http://documents.mx/documents/medicion-de-fluidos-en-canales-abiertos-con-vertederos-corregidodocx.html>

**CERRO. C, Migueli.** *Composición cualitativa de las aguas residuales* [en línea] [Consulta: 20 septiembre 2015]. Disponible en: <http://www.olivacordobesa.es/COMPOSICON%20CUALITATIVA%20AGUAS%20RESIDUALES.pdf>

**CISTERNA. O, Pedro & PEÑA, Daisy.** *Determinación de la relación de DBO/DQO en aguas residuales de comunas con poblaciones menores a 25000 habitantes en la VIII región.* [en línea]. Universidad Tec. Fed. Sta. María & Essbio S.A [Consulta: 20 octubre 2015]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>

**CRITES, Ron & TCHOBANOIOUS, George. 2000.** *Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados.* Santa Fé de Bogotá : McGraw-Hill, 2000. pp. 246

**NTE INEN 2 169:98.** *Agua Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.*

**NTE INEN 2 176:98.** *Agua Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo*

**MUÑOS. R, Jorge.** *Purificación del agua* [en línea]. 2013 [Consulta: 21 octubre 2015]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/91532895/PURIFICACION-DEL-AGUA>.

**ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD, Perú,** *Guía para el diseño de tanque séptico, Tanque Imhoff y Laguna de Estabilización.* Lima – Perú. 2005. P (pp5-10, 14-30).

**TULSMA.** *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo I*

**TECNOLOGÍA EN BREVE.** *Filtración lenta con arena* [En línea]. 2011 [Consulta: 12 de octubre 2015]. Disponible en: [http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/publications/ontap/2009\\_tb/spanish/slow\\_sand\\_filtration\\_DWFSOM143.pdf](http://www.nesc.wvu.edu/pdf/dw/publications/ontap/2009_tb/spanish/slow_sand_filtration_DWFSOM143.pdf)

**RAS**, *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. 2000. Tratamiento de Aguas Residuales. *Sitio web de “Ministerio de Desarrollo Económico”*. [En línea] Noviembre de 2000. [Consulta: 12 de octubre 2015.] Disponible en: [http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7.\\_Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](http://cra.gov.co/apc-aa-files/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf).

**ROJAS, R.** *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. CEPIS/OPS/05.163 -OMS. *Curso internacional: “Gestión Integral de tratamiento de aguas residuales”*. Lima-Perú, 2005. pp. 19-20.

**ROJAS, R.** *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. CEPIS/OPS/05.168 -OMS. *Curso internacional: “Gestión Integral de tratamiento de aguas residuales”*. Lima-Perú, 2005. pp. 17-21.

**SPELLMAN, Frank & DRINAN, J.** *Manual del Agua Potable*. Zaragoza -España. Acribia. 2004, pp. 227 – 228

**VALENCIA. L, Adriana. E.** *Diseño de una Planta de Tratamiento para las Aguas Residuales de la Cabeceras parroquia San Luis-Provincia de Chimborazo* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Biotecnología Ambiental. 2013. pp. 15-29.

## ANEXOS

### ANEXO A. Estado actual de la planta



**Anexo B. Test de jarras**



## Anexo C. Caracterización Físico-química del agua inicial

### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Jessenia Chamorro **INFORME N°:** 002- 19  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 002 - 19  
**DIRECCIÓN:** Riobamba **FECHA DE RECEPCIÓN:** 07- 01 - 19  
**TELÉFONO:** 0987895086 **FECHA DE INFORME:** 14 - 01 - 19  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1. Agua residual, Curtiduría Chimborazo **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 003-19 **Agua**

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA -003-19

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	6.0	N/A	07 - 01 - 19
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	526.4	N/A	07 - 01 - 19

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 22<sup>a</sup> EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 22<sup>a</sup> EDICIÓN

### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara  
Benito Mendoza T., Ph.D.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s)  
- Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio



# ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

## LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Jessenia Lilibeth Chamorro Torres

Fecha de Análisis: 07/01/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Curtido-Entrada, Curtiembre "CHIMBORAZO".

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

### TRABAJO DE TITULACION

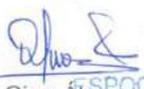
Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	3,56
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	6,91
Temperatura	°C		....	22
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	630
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	13 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	8 100
Sólidos Suspendidos	mL/L	2540-B	20	202
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	13428

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.

  
Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS





# LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 036-19

## INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Jessenia Chamorro **INFORME Nº:** 036- 19  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 036 - 19  
**DIRECCIÓN:** Riobamba  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 27- 02 - 19  
**TELÉFONO:** 0987895086 **FECHA DE INFORME:** 03 - 03 - 19  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1, Agua residual, Curtiduría Chimborazo **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 082-19 Agua residual **Agua**

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA -082-19

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U/(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	433,65	N/A	27 - 02 - 19
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0,58	N/A	27 - 02 - 19

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AVANA, WPCF, STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN

### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara  
Benito Mendoza T., Ph.D.



Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a las (s) muestra(s) analizada(s).  
 - Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.  
 -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 1

FMC2101-01

L.S.A. Campus Maser Edison Rivera Km 1 1/2 vía a Cuano Bloque Administrativo



# ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998 200 ext 332      Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Jessenia Lilibeth Chamorro Torres

Fecha de Análisis: 27/02/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Curtido-Entrada, Curtiembre "CHIMBORAZO".

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

**TRABAJO DE TITULACION**

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	3,2
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	4,72
Temperatura	°C		....	21,9
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	468
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	11 100
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	6 800
Sólidos Suspendidos	mL/L	2540-B	20	269,7
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	13 606

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.

  
Dra. Gina Alvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS





**LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES**  
Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 048-19

**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Jessenia Chamorro **INFORME Nº:** 048-19  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 048-19  
**DIRECCIÓN:** Riobamba  
**TELÉFONO:** 0987895086 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 27-03-19  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** 2, Agua residual, Curtiduría Chimborazo **FECHA DE INFORME:** 29-03-19  
**IDENTIFICACIÓN:** MA-100-19 Agua residual **TIPO DE MUESTRA:** Agua  
 MA-101-19 Agua tratada **Agua**

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

**MA-100-19**

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	641,77	N/A	27-03-19
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0,53	N/A	27-03-19

**MA-101-19**

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	5,14	N/A	27-03-19
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0,13	N/A	27-03-19

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN.

**RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:**

Dr. Juan Carlos Lara  
Benito Mendoza T., Ph.D.

Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s)  
 -Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.  
 -Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio

Página 1 de 1

FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edison Kiera Km 1 1/2 vía a Guano Bloque Administrativo.



# ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Jessenia Lilibeth Chamorro Torres

Fecha de Análisis: 27/03/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Curtido-Entrada, Curtiembre "CHIMBORAZO".

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

**TRABAJO DE TITULACION**

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	3,28
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	5,53
Temperatura	°C		....	21,93
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	485,98
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	9 758
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	4 700
Sólidos Suspendidos	mL/L	2540-B	20	222
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	13 445,67

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.

  
ESPOCH

Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

Anexo D. Caracterización Físico-química del agua tratada



**LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES**

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

N° SE 013-19

**INFORME DE ANALISIS**

**NOMBRE:** Jessenia Chamorro **INFORME N°:** 013- 19  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 013 - 19  
**DIRECCIÓN:** Riobamba **FECHA DE RECEPCIÓN:** 22- 01 - 19  
**TELÉFONO:** 0987895086 **FECHA DE INFORME:** 29 - 01 - 19  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1, Agua residual, Curtiduría Chimborazo **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 049-19 Agua residual tratada **Agua**

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

**RESULTADO DE ANÁLISIS**

MA -049-19

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	14,91	N/A	22 - 01 - 19

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN.

**RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:**

Dr. Juan Carlos Lara  
Benito Mendoza T., Ph.D.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICÓ L.S.A.

\*Los resultados de este informe corresponden únicamente a las muestras analizadas.  
\* Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.  
Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 del

FMC2101-01



# ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS  
FACULTAD DE CIENCIAS**

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Jessenia Lilibeth Chamorro Torres

Fecha de Análisis: 22/01/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Curtido-Tratada, Curtiembre "CHIMBORAZO".

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

**TRABAJO DE TITULACION**

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	8,63
Conductividad	µmS/cm	2510-B	.....	512,0
Temperatura	°C		....	22
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	3
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	208
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	86
Sólidos Suspendedos	mL/L	2540-B	20	<1
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	415
Cromo Hexavalente	mg/L	Método HACH	0,5	0,069

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.

  
Dra. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



## LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

N° SE 041-19

### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Jessenia Chamorro **INFORME N°:** 041-19  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 041-19  
**DIRECCIÓN:** Riobamba  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 15-03-19  
**TELÉFONO:** 0987895086 **FECHA DE INFORME:** 20-03-19  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** 2. Agua residual tratada Curtiduría Chimborazo **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA-091-19 Muestra 1 Agua  
MA-092-19 Muestra 2 Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA-091-19

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	20,71	N/A	15-03-19

MA-092-19

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	39,97	N/A	15-03-19

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN.

#### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara  
Benito Mendoza T., Ph.D.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
-Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página del

FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edición Fierro Km 1 1/2 vía a Guano Bloque Administrativo.



# ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

## LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Jessenia Lilibeth Chamorro Torres

Fecha de Análisis: 15/03/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Curtido-Tratada, Curtiembre "CHIMBORAZO".

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

### TRABAJO DE TITULACION

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	8,7
Conductividad	µmS/cm	2510-B	....	380
Temperatura	°C		....	21,9
Turbiedad	NTU	2130-B	....	2,12
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	203
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	72
Sólidos Suspendidos	mL/L	2540-B	20	<1
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	364,7
Cromo Hexavalente	mg/L	Método HACH	0,5	0,042

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Alvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS





# ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

## LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703      Telefax: 2998 200 ext 332      Riobamba - Ecuador

### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Jessenia Lilibeth Chamorro Torres

Fecha de Análisis: 27/03/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Curtido-Tratada, Curtiembre "CHIMBORAZO".

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

### TRABAJO DE TITULACION

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	8,68
Conductividad	µmS/cm	2510-B	.....	316
Temperatura	°C		....	22
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	4
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	182
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	26
Sólidos Suspendedos	mL/L	2540-B	20	<1
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	287,1
Cromo Hexavalente	mg/L	Método HACH	0,5	0,13

\*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

\*\*TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.

Dr. Gina Álvarez R.  
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



Anexo E. TULSMA, Tabla 9, Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

TABLA 9. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceltes y Grasas.	Sust. solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro Total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Ext. carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	2000
Color real <sup>1</sup>	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	1000
Sulfuros	S <sup>-2</sup>	mg/l	0,5
Temperatura	°C		Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

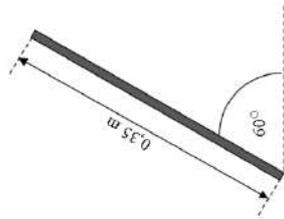
<sup>1</sup> La apreciación del color se estima sobre 30 cm de muestra diluida

**Anexo F.** Planos del sistema de tratamiento de aguas residuales

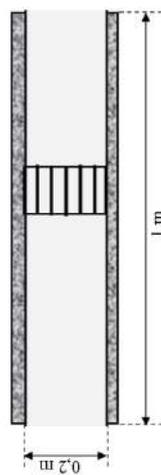
**REJILLAS**



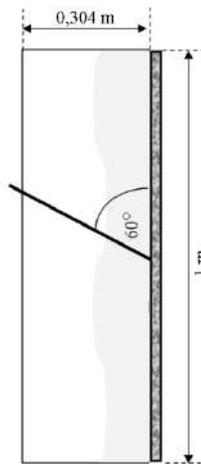
**VISTA FRONTAL**



**VISTA LATERAL**



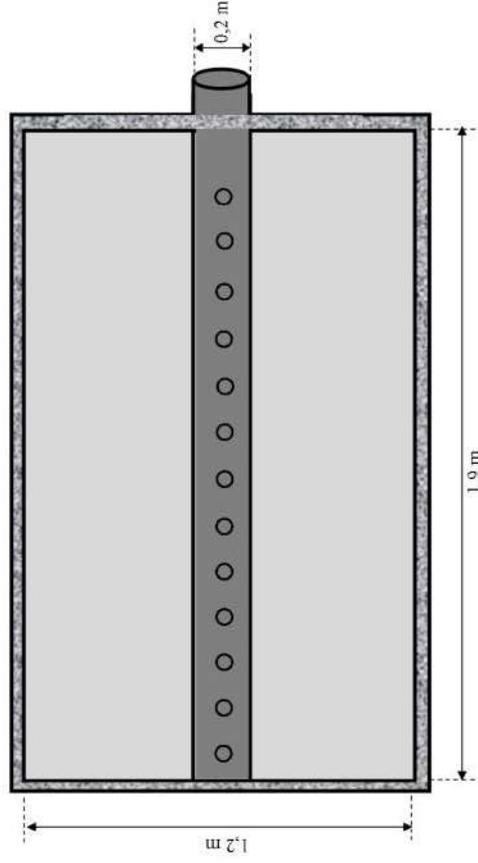
**VISTA SUPERIOR**



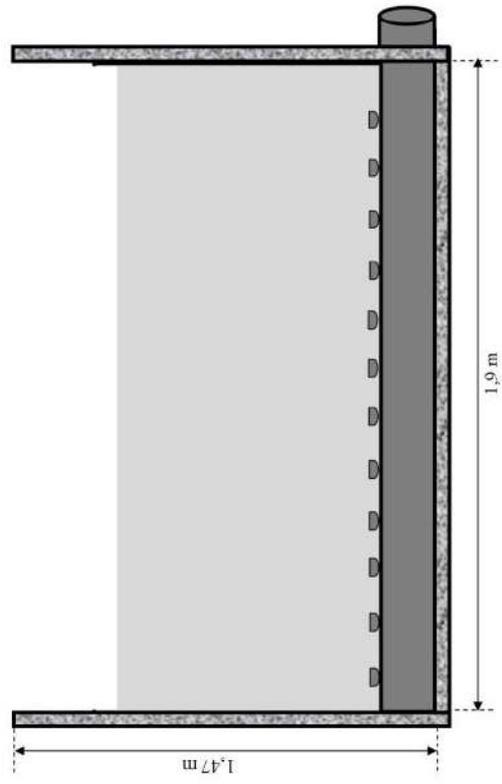
**VISTA LATERAL**

	REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE CHIMBORAZO EN LA CIUDAD DE AMBATO	
	CONTIENE: Sistema de rejillas	
ELABORADO POR: Ing. Elibeth Chamorro Torres	REVISADO POR: Ing. Daniel Chuquin Ing. Mayra Zambrano	ESCALA: 1:10
FECHA: 18/06/2019		LÁMINA: 1/6

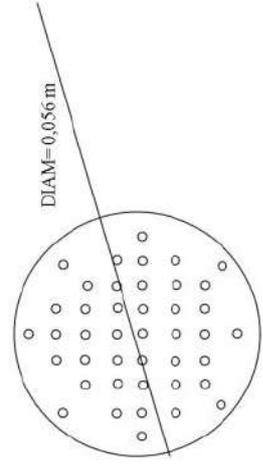
# TANQUE DE AIREACIÓN I



VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL



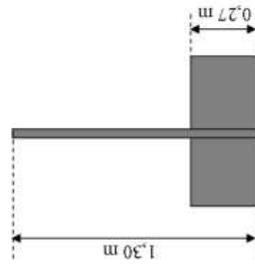
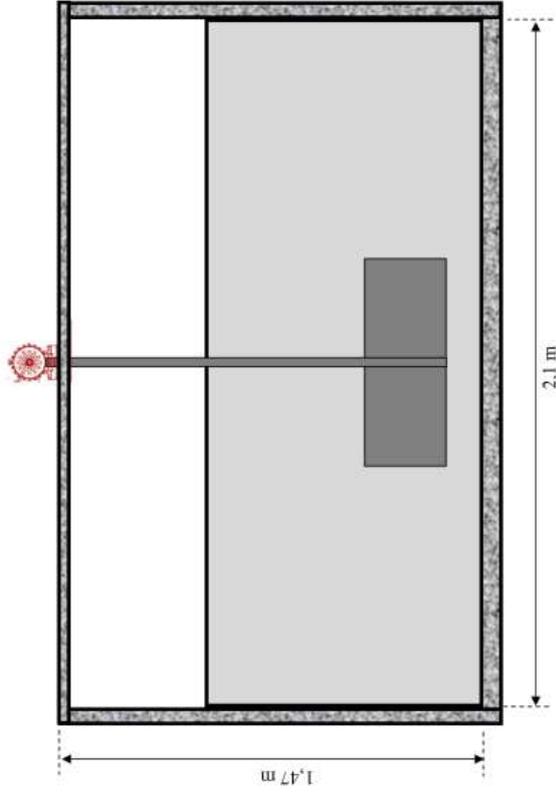
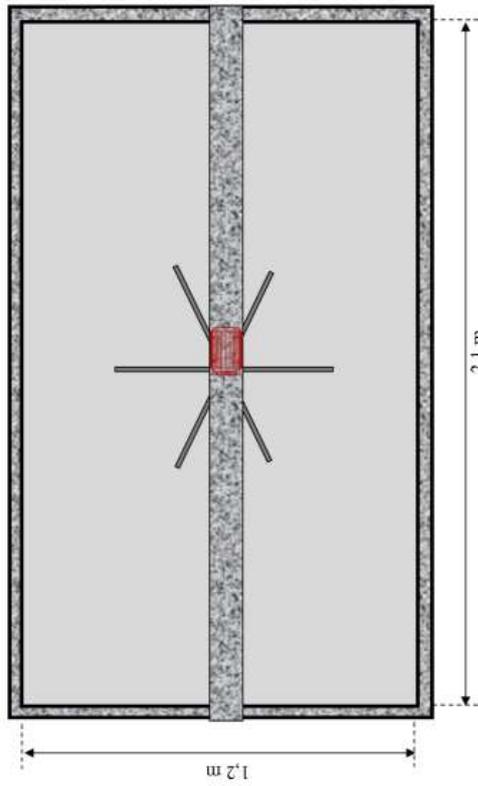
DIFUSOR



REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE CHIMBORAZO EN LA CIUDAD DE AMBATO

CONTIENE: Sistema de aireación	
ELABORADO POR: Jessenia Lillbeth Chamorro Torres	REVISADO POR: Ing. Daniel Chuquín Ing. Mayra Zambrano
ESCALA: 1:25	FECHA: 18/06/2019
	LÁMINA: 2/6

# TANQUE DE FLOCULACIÓN-FLOCCULACIÓN



REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE CHIMBORAZO EN LA CIUDAD DE AMBATO

CONTIENE: Sistema de agitación

ELABORADO POR:  
Jessenia Lillibeth Chamorro Torres

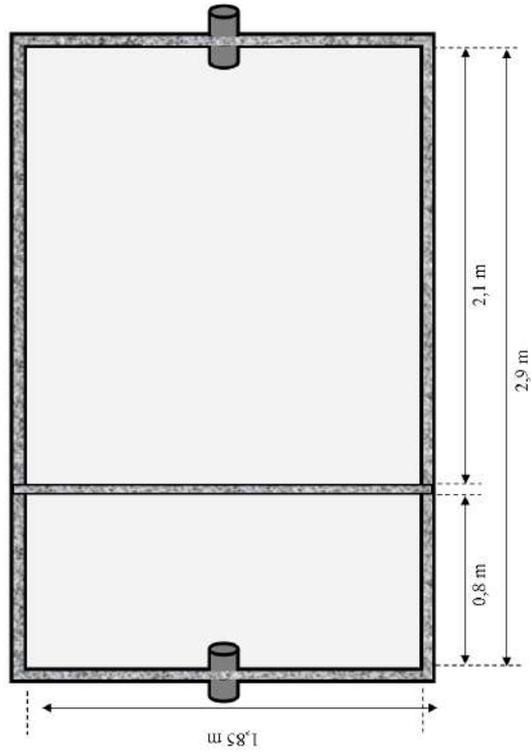
REVISADO POR:  
Ing. Daniel Chuquin Ing. Mayra Zambrano

ESCALA: 1:25

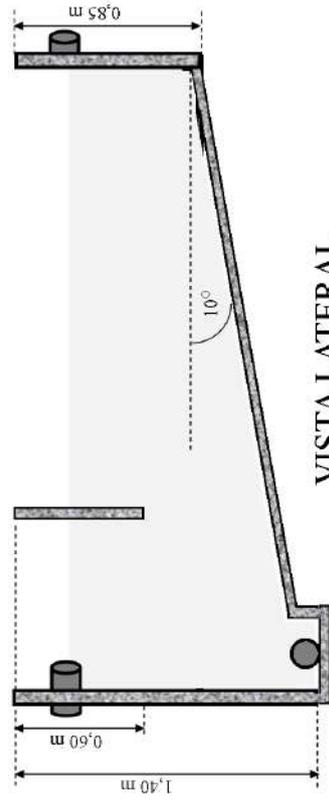
FECHA:  
18/06/2019

LÁMINA: 3/6

# SEDIMENTADOR



VISTA SUPERIOR



VISTA LATERAL



REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE CHIMBORAZO EN LA CIUDAD DE AMBATO

CONTIENE: Sedimentador

ELABORADO POR:  
Jessenia Lilibeth Chaimorro Torres

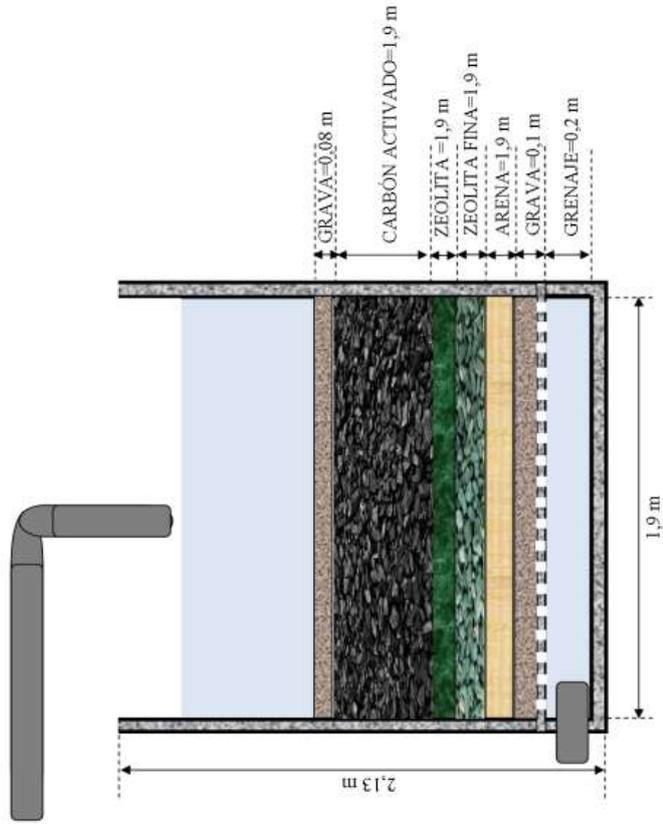
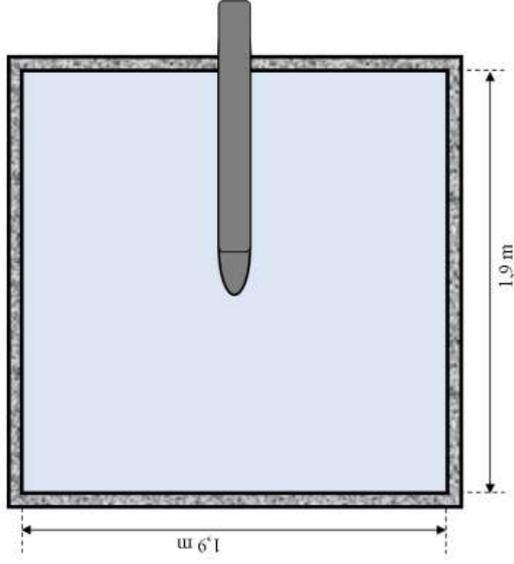
REVISADO POR:  
Ing. Daniel Chuquin  
Ing. Mayra Zambrano

ESCALA: 1:100

FECHA:  
18/06/2019

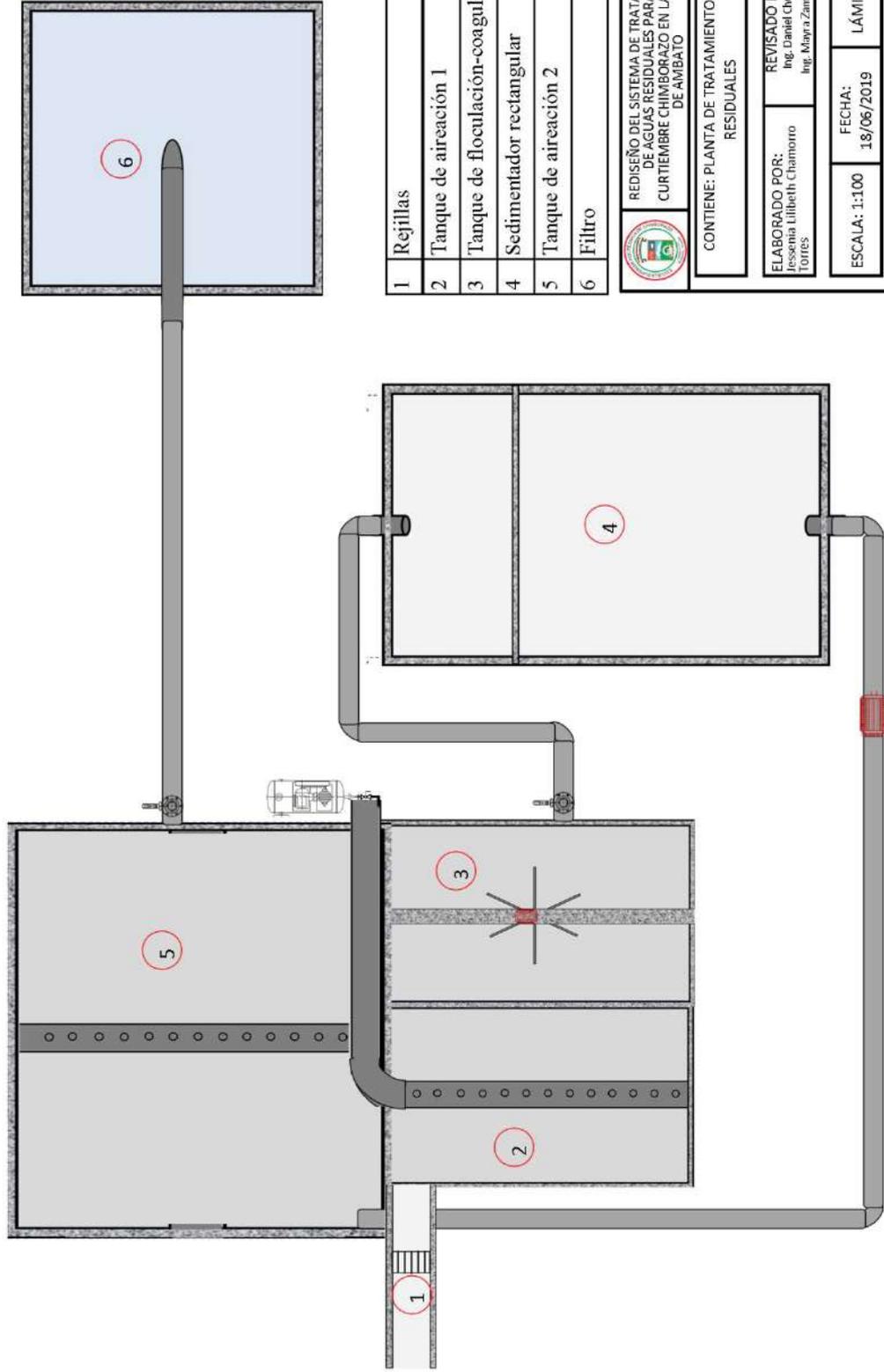
LÁMINA: 4/6

# FILTRO



	REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE CHIMBORAZO EN LA CIUDAD DE AMBATO	
	CONTIENE: Filtro	
ELABORADO POR: Jessenia Lilibeth Chamorro Torres	REVISADO POR: Ing. Daniel Chuquán Ing. Mayra Zambrano	
ESCALA: 1:100	FECHA: 18/06/2019	LÁMINA: 5/6

# SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



1	Rejas
2	Tanque de aireación 1
3	Tanque de floculación-coagulación
4	Sedimentador rectangular
5	Tanque de aireación 2
6	Filtro



REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE CHIMBORAZO EN LA CIUDAD DE AMBATO

CONTIENE: PLANTA DE TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES

ELABORADO POR:  
Jessenia Lillbeth Chamorro Torres

REVISADO POR:  
Ing. Daniel Chuquin  
Ing. Mayra Zambrano

ESCALA: 1:100

FECHA: 18/06/2019

LÁMINA: 6/6

## Anexo G. Aval de Curtiembre Chimborazo



### CURTIEMBRE CHIMBORAZO

Km 8 vía Quito Ambato-Tungurahua

Doctor.

Bolívar Flores

**DIRECTOR DE CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

Presente.

De mi consideración:

Por la presente tengo el agrado de dirigirme a Usted a efectos de poner en su conocimiento que, **CURTIEMBRE CHIMBORAZO**, apoya la realización del trabajo de Titulación, "**REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE CHIMBORAZO UBICADA EN LA CIUDAD DE AMBATO**" llevado a cabo por la Srta. Jessenia Lilibeth Chamorro Torres, portadora de la cedula de ciudadanía No. 2100553995, estudiante de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química

Declaro conocer y aceptar los términos y condiciones previstas para la ejecución del Trabajo de Titulación, estando conformes con todas aquellas actividades que se prevean realizar con nuestro apoyo, otorgo de esta manera el aval para la realización del mismo.

Sin otro particular, saludamos a usted fraternalmente.

Atentamente.

Sra. Carmen Amelia Cofre Maigualca

C.I. 180081600-9

Gerente propietaria de Curtiembre Chimborazo





## CURTIEMBRE CHIMBORAZO

Km 8 vía Quito Ambato-Tungurahua

Ambato 2 de julio de 2019

Yo Carmen Amelia Cofre Maigualca, propietaria de la Curtiembre Chimborazo, certifico que la Srta. *Jessenia Lilibeth Chamorro Torres* con C.I. 2100553995, ha realizado la entrega del trabajo de Titulación y su correspondiente capacitación para el Tratamiento del agua residual proveniente del proceso de curtido y disposición final de los residuos, así como el manejo e implementación de los equipos de seguridad personal.

*Carmen Amelia Cofre Maigualca*

Carmen Amelia Cofre Maigualca

1800816009

PROPIETARIA

