



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS  
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

## **“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CURTIDURÍA JOSÉ LAURA DE LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

Trabajo de Titulación  
Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: JUAN PABLO VIÑÁN CARRASCO**  
**DIRECTOR: ING. CÉSAR ARTURO PUENTE GUIJARRO**

Riobamba - Ecuador

2019

**© 2019, Juan Pablo Viñán Carrasco.**

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.

Yo, Juan Pablo Viñán Carrasco, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 24 de julio del 2019

Juan Pablo Viñán Carrasco

060431108-4

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación: **“Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Curtiduría José Laura de la provincia de Tungurahua”**, de responsabilidad del señor Juan Pablo Viñán Carrasco, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. César Arturo Puente Guijarro

\_\_\_\_\_

2019-07-24

**DIRECTOR DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

Ing. Marco Raúl Chuiza Rojas

\_\_\_\_\_

2019-07-24

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **DEDICATORIA**

Se lo dedico a Dios, por haberme dado la oportunidad de estar en la carrera que realmente he soñado y que me ha hecho crecer en todos los aspectos personales.

A mi mamá Nancy Carrasco y a mi papá Abraham Viñán por haberme apoyado a lo largo de mi vida y ser quienes me motivan a cumplir el reto de conseguir quizá el primero de mis títulos profesionales, pero sin duda el más importante de todos.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la capacidad para desarrollarme profesionalmente de forma satisfactoria y culminar con este trabajo de titulación.

A los profesionales que han compartido sus conocimientos, experiencias y consejos, en cada uno de los semestres que he cursado.

## TABLA DE CONTENIDOS

	<b>Páginas</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xv</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</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 Línea base del proyecto</b> .....	<b>3</b>
<i>1.3.1 Situación actual</i> .....	<b>3</b>
<i>1.3.2 Marco Conceptual</i> .....	<b>3</b>
<i>1.3.2.1 Proceso de curtición</i> .....	<b>3</b>
<i>1.3.2.2 Aguas residuales de la industria curtiembre</i> .....	<b>7</b>
<i>1.3.2.3 Tratamiento de aguas residuales</i> .....	<b>9</b>
<i>1.3.2.4 Tratamiento de aguas residuales en la industria curtiembre</i> .....	<b>9</b>
<b>1.3.3 Marco legal</b> .....	<b>13</b>
<b>1.4 Beneficiarios</b> .....	<b>16</b>
<i>1.4.1 Directos</i> .....	<b>16</b>
<i>1.4.2 Indirectos</i> .....	<b>16</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
<b>2.1 Objetivo General</b> .....	<b>17</b>
<b>2.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>17</b>
<b>3. ESTUDIO TÉCNICO</b> .....	<b>18</b>
<b>3.1 Localización del proyecto</b> .....	<b>18</b>
<b>3.2 Ingeniería del proyecto</b> .....	<b>19</b>
<i>3.2.1 Tipo de estudio</i> .....	<b>19</b>
<i>3.2.2 Métodos y técnicas</i> .....	<b>19</b>
<i>3.2.2.1 Métodos</i> .....	<b>19</b>
<i>3.2.2.2 Técnicas</i> .....	<b>20</b>
<b>3.2.3 Tratabilidad del agua residual</b> .....	<b>20</b>
<i>3.2.3.1 Índice de biodegradabilidad</i> .....	<b>20</b>
<i>3.2.3.2 Test de jarras</i> .....	<b>21</b>
<b>3.2.4 Determinación del Caudal</b> .....	<b>26</b>

<b>3.2.5 Resultados de los análisis.....</b>	<b>27</b>
3.2.5.1 <i>Análisis de agua residual procedente de la etapa de pelambre.....</i>	27
3.2.5.1 <i>Análisis de agua residual procedente de la etapa de curtido .....</i>	29
<b>3.2.6 Cálculos de ingeniería.....</b>	<b>31</b>
3.2.6.1 <i>Elementos en buen estado a tomar en consideración para el rediseño .....</i>	31
3.2.6.2 <i>Cálculos para el sistema de aireación para la oxigenación de sulfuros .....</i>	31
3.2.6.3 <i>Cálculos para el tanque floculador con agitación.....</i>	36
3.2.6.4 <i>Cálculos de la potencia de la bomba para transporte de agua residual desde las piscinas al floculador.....</i>	39
<b>3.2.7 Resultados del dimensionamiento de equipos .....</b>	<b>44</b>
<b>3.3 Procesos de producción.....</b>	<b>45</b>
3.3.1 <i>Químicos necesarios para el proceso de producción .....</i>	45
3.3.2 <i>Procedimiento de operación.....</i>	46
3.3.3 <i>Descripción de la distribución de la planta de tratamiento .....</i>	50
<b>3.4 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria .....</b>	<b>52</b>
<b>3.5 Análisis de costo/beneficio del proyecto .....</b>	<b>52</b>
<b>3.6 Cronograma de ejecución del proyecto.....</b>	<b>54</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>56</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>63</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.....	15
<b>Tabla 1-3:</b> Localización del proyecto.....	18
<b>Tabla 2-3:</b> Métodos utilizados para la determinación de los parámetros de calidad del agua ...	20
<b>Tabla 3-3:</b> Relación DBO y DQO.....	21
<b>Tabla 4-3:</b> Determinación del floculante necesario para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la etapa de pelambre.....	22
<b>Tabla 5-3:</b> Determinación del floculante necesario para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la etapa de curtido .....	22
<b>Tabla 6-3:</b> Determinación del coagulante necesario para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la etapa de pelambre.....	22
<b>Tabla 7-3:</b> Determinación del coagulante necesario para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la etapa de curtido .....	23
<b>Tabla 8-3:</b> Determinación de la concentración óptima de floculante para la etapa de pelambre	23
<b>Tabla 9-3:</b> Determinación de la concentración óptima de floculante para la etapa de curtido ..	24
<b>Tabla 10-3:</b> Determinación de la concentración óptima de coagulante para la etapa de pelambre .....	24
<b>Tabla 11-3:</b> Determinación de la concentración óptima de coagulante para la etapa de curtido con sulfato de aluminio .....	25
<b>Tabla 12-3:</b> Determinación de la concentración óptima de coagulante para la etapa de curtido con PAC .....	25
<b>Tabla 12-3:</b> Determinación de la concentración de $MnSO_4$ óptima para la oxidación de sulfuros sin agitación .....	26
<b>Tabla 13-3:</b> Determinación de la concentración de $MnSO_4$ óptima para la oxidación de sulfuros .....	26
<b>Tabla 14-3:</b> Cálculo del caudal diario de agua.....	27
<b>Tabla 15-3:</b> Resultados de la caracterización del agua residual de la etapa de pelambre .....	27
<b>Tabla 16-3:</b> Resultados de la caracterización del agua residual de la etapa de curtido.....	29
<b>Tabla 17-3:</b> Dimensiones del tanque floculador .....	37
<b>Tabla 18-3:</b> Valores de G para mezclado.....	38
<b>Tabla 19-3:</b> Datos adicionales del agua residual.....	39
<b>Tabla 20-3:</b> Valor de k de los accesorios requeridos .....	42

<b>Tabla 21-3:</b> Características para construcción del sistema de aireación .....	44
<b>Tabla 22-3:</b> Características necesarias para el sistema de bombeo de agua.....	45
<b>Tabla 23-3:</b> Dispositivo diseñado para el tanque floculador.....	45
<b>Tabla 24-3:</b> Requerimiento de equipos y materiales para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	52
<b>Tabla 25-3:</b> Costo del rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	53
<b>Tabla 26-3:</b> Costo de insumos por mes para el tratamiento de agua residual .....	53
<b>Tabla 27-3:</b> Cronograma de ejecución para la instalación del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Estabilidad de los sulfuros en función del pH.....	8
<b>Figura 2-1:</b> Desarenador .....	10
<b>Figura 3-1:</b> Diagrama Eh – pH para las especies de Cr en solución acuosa .....	11
<b>Figura 4-1:</b> Pruebas de jarras coagulación-floculación.....	12
<b>Figura 1-3:</b> Ubicación de la Curtiduría José Laura georreferenciada .....	18
<b>Figura 2-3:</b> Difusor para la piscina de pelambre.....	32
<b>Figura 3-3:</b> Dimensiones del tanque floculador (mm) .....	36
<b>Figura 4-3:</b> Diagrama de Moody .....	41
<b>Figura 5-3:</b> Diagrama de distribución de la Curtiduría José Laura.....	51

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-1:</b> Diagrama de flujo del proceso completo de la curtición de pieles .....	5
<b>Gráfico 2-1:</b> Diagrama de flujo del proceso completo de la curtición de pieles. (Continuación) .....	6
<b>Gráfico 1-3:</b> Comparación de los resultados del agua residual de pelambre obtenidos con los límites de la legislación ambiental .....	28
<b>Gráfico 2-3:</b> Comparación de los resultados del agua residual de curtido obtenidos con los límites de la legislación ambiental .....	30
<b>Gráfico 3-3:</b> Diagrama de flujo del tratamiento de aguas residuales del proceso de ribera .....	48
<b>Gráfico 4-3:</b> Diagrama de flujo del tratamiento de aguas residuales del proceso de curtido .....	49
<b>Gráfico 5-3:</b> Cronograma de actividades, diagrama de Gantt .....	55

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexo A:** Difusor para la oxidación de sulfuros

**Anexo B:** Dimensiones del difusor

**Anexo C:** Dimensiones de la paleta

**Anexo D:** Diagrama P & ID del rediseño de la planta de tratamiento de agua residual

**Anexo E:** Informe de análisis de agua residual del proceso de curtido

**Anexo F:** Informe de análisis de cromo del agua residual del proceso de curtido

**Anexo G:** Informe de análisis de agua tratada del proceso de curtido

**Anexo H:** Informe de análisis de cromo del agua tratada del proceso de curtido

**Anexo I:** Informe de análisis del agua residual del proceso de pelambre

**Anexo J:** Informe de análisis del agua tratada del proceso de pelambre

## RESUMEN

Este trabajo de titulación tiene por objetivo rediseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales de la curtiduría José Laura de la provincia de Tungurahua. Para ello se realizó la caracterización del agua residual de esta empresa, que tuvo como resultado para el efluente de descarga del proceso de ribera los valores de conductividad 27,8 mS/cm, DBO 13 700 mg/L, DQO 22 200 mg/L, pH 12,6, SD 20 mL/L, SST 2500 mg/L, ST 4200 mg/L, sulfuros 1536 mg/L y turbidez 7430 NTU. En cuanto al efluente de descarga del proceso de curtido se obtuvo los valores de conductividad 54,2 mS/cm cromo hexavalente 0,7 mg/L, cromo trivalente 122,98 mg/L, DBO 6640 mg/L, DQO 14 760 mg/L, pH 5,1, SD 15 mL/L, SST 1000 mg/L, ST 2280 mg/L y turbidez 3820 NTU. Con el fin de cumplir con la legislación ambiental para la descarga de efluentes al sistema de alcantarillado público, se aplica un tratamiento fisicoquímico que para el proceso de ribera comienza con la oxidación de sulfuros, utilizando como catalizador el sulfato de manganeso y un suministro constante de aire. Además, para el efluente de curtido inicia con la adición de cal para elevar su pH hasta 8,5 y con ello, ayude a la precipitación de cromo, como hidróxido de cromo (III). Finalmente, se aplica una coagulación-floculación a los dos tipos de agua residual que utiliza Policloruro de Aluminio (PAC) y polielectrolito aniónico. Todo ello se determina por medio de las pruebas de jarras. Con la aplicación de este tratamiento se da las condiciones para que el agua residual pueda entrar en una recirculación al proceso de remojo y lavado al inicio del proceso de curtición de pieles, ya que, se remueve sus contaminantes principales en una cantidad superior al 90% en casi todos los casos en particular a los sulfuros y cromo total considerados residuos peligrosos.

**Palabras clave:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <REDISEÑO PLANTA DE TRATAMIENTO>, <AGUAS RESIDUALES>, <CURTIEMBRE>, <OXIDACIÓN DE SULFUROS>, <CLARIFICACIÓN>.

## **ABSTRACT**

The objective of this titling work is to redesign the wastewater treatment system of the José Laura tannery in the Province of Tungurahua. To this end, the waste water characterization of this company was carried out, which resulted in the discharge of the process effluent riparian conductivity values 27,8 mS/cm, BOD 13 700 mg/L, COD 22 200 mg/L, pH 12,6, SD 20 mL/L, SST 2500 mg/L, ST 4200 mg/L, sulphides 1536 mg/L and turbidity 7430 NTU. Regarding the discharge effluent from the tanning process, the conductivity value was obtained 54,2 mS/cm, hexavalent chromium 0,7 mg/L, trivalent chromium 122,98 mg/L, BOD 6640 mg/L, COD 14 760 mg/L, pH 5,1, SD 15 mL/L, SST 1000 mg/L, ST 2280 mg/L and turbidity 3820 NTU. In order to comply with the environmental legislation for the discharge of effluents to public sewage system, a physicochemical treatment is applied which for the riverbank process begins with the oxidation of sulfides, using manganese sulphate as a catalyst and a constant supply of air. In addition, for the tanning effluent it starts with the addition of lime to raise its pH up to 8,5 and with that, helps the precipitation of chromium, such as chromium (III) hydroxide. Finally, a coagulation-flocculation is applied to the two types of wastewater using aluminum polychloride (PAC) and anionic polyelectrolyte. All of this is determined by jug testing. With the application of this treatment conditions are given so that the residual water can enter a recirculation to the process of soaking and washing at the beginning of the tanning process of skins, since, it removes its main contaminants in an amount greater than 90% in almost all cases in particular to sulphides and total chromium considered hazardous waste.

**Keywords:** <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <REDESIGNING TREATMENT PLANT>, <WASTEWATER>, <TANNERY>, <OXIDATION OF SULFURS>, <CLARIFICATION>.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1 Identificación del problema

En nuestro país, una de las industrias manufactureras que presenta un crecimiento sustentable no solo por la necesidad interna del país, sino por las exportaciones que se realizan es la industria del cuero y calzado. Según datos publicados por el MIPRO, se indica que hubo un incremento desde 2006 que fue de USD 45 millones hasta 2011 con más de USD 151 millones, que indica un aumento del 235% en dichos años en sus ventas (MINISTERIO DE INDUSTRIAS Y PRODUCTIVIDAD DEL ECUADOR 2013).

Con esta creciente demanda, en la provincia de Tungurahua y particularmente, en la ciudad de Ambato y sus alrededores existe una expansión de la industria del cuero, donde estudios realizados en el cantón han develado que en 2014 existía 35 curtiembres y que para un período de dos años después han aumentado hasta una cantidad de 57 (Masabanda et al., 2017, p. 46)

Esta cantidad de curtiembres y las nuevas que en el presente comienzan a laborar, causan una mayor contaminación al tener como resultado de esta actividad efluentes cargados con metales pesados como el cromo, sulfuro y materia orgánica que con la ayuda de las buenas condiciones ambientales de la zona producen olores que afectan a las personas que viven a su alrededor, además de una contaminación significativa para los cuerpos de agua cercanos o el alcantarillado público y la posibilidad de una multa por parte de la autoridad competente en la zona que llegaría a ser un lastre para la continuidad de la producción de la empresa o su cierre definitivo.

Uno de los sectores del cantón que aloja una cantidad significativa de curtiembres es el llamado “Los tres Juanes”, donde se encuentra la Curtiduría José Laura que recibe cada semana 400 pieles de borrego para su procesamiento y posterior obtención de cuero. La curtiduría cuenta con varios componentes necesarios para levantar un sistema de tratamiento de aguas residuales, sin embargo, en ella solo se separa el agua proveniente del proceso de ribera y el del proceso de curtido, sin dar el tratamiento adecuado para su descarga.



## 1.2 Justificación

En la actualidad el cuidado del ambiente y más aún del líquido vital o agua es una prioridad para los gobiernos. Del mismo modo, en nuestro país cada día sigue avanzando las políticas para mantener una mejora continua hacia el control de las industrias y con ello el respeto hacia el recurso agua.

Por esta razón, el Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua en conjunto con los dueños de las curtiembres ubicadas dentro de sus límites, han comenzado una campaña para minimizar los contaminantes debidos al procesamiento de cuero, ya que, los insumos necesarios para esta labor provocan el deterioro del ambiente. Tal es el caso del cromo, que se presenta en dos estados de oxidación principalmente, como cromo (III) y cromo (VI).

La presencia de cromo (III) es más común en los efluentes descargados por las curtiembres, sin embargo, al encontrarse en mezcla con los demás químicos que caracterizan la industria del cuero tiende a cambiar al estado de cromo (VI), el cual es mucho más perjudicial para la salud humana y la vida, por ser más soluble y reactivo que el cromo (III), y por tal motivo, puede llegar a desencadenar alteraciones en el ADN (Molina et al., 2010, pp. 82-83).

Por otro lado, la utilización de sulfuro de sodio en el proceso de pelambre y en adición, los procesos de oxidación debido a la presencia de materia orgánica conllevan a una posible reacción que tiene como resultado el ácido sulfhídrico en forma de gas, lo que provoca malestares en el personal o inclusive podría llegar a la muerte por sobreexponerse con una concentración en el aire de entre 20 y 50 ppm (GREENPEACE, 2012, pp. 5-6).

En la Curtiduría José Laura, al no contar con una planta de tratamiento de aguas residuales, los olores son percibidos en los alrededores de esta, lo que viene a afectar a las personas que tienen sus viviendas en las cercanías del lugar y con el vertimiento de líquidos tiende a alterar el ecosistema cercano a la zona.

Por todo ello, realizar el procesamiento adecuado a efluentes antes de su vertimiento, mantendrá esta empresa con un crecimiento continuo hacia el futuro, sin perturbar el medio, ya que, al extraer los contaminantes descritos anteriormente, será similar a las aguas residuales urbanas.

### **1.3 Línea base del proyecto**

#### ***1.3.1 Situación actual***

La Curtiduría José Laura, ubicada en el Sector de “Los Tres Juanes” del cantón Ambato, provincia de Tungurahua es una empresa como sociedad de hecho que es dirigida por el Sr. José Laura como Gerente Propietario, además de su esposa que tiene a su cargo la parte financiera y el apoyo de las cinco personas a cargo de los procesos necesarios para la curtición de las pieles y las labores de acabado de estas. La producción comienza con la recepción de las pieles del ganado ovino proveniente de la ganadería de la misma provincia y con el sometimiento a los procesos que las convierten en cuero, suministra la materia prima a otras empresas que se dedican a la confección de distintos tipos de prendas de vestir, entre otros.

Los relatos del Sr. José Laura describen que la demanda de la fabricación de cueros ha ido a la baja en esta última década y es por lo que su empresa no opera al nivel que en tiempos anteriores lo hacía. Sin embargo, al ser un incansable trabajador, lleva adelante su negocio con la búsqueda de nuevos clientes que formen parte de su equipo. Sin dejar de tomar en cuenta que es necesario el control de la parte ambiental que implica estar en este negocio, es por lo que ha integrado entre sus responsabilidades la construcción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales que le ayudará a mantener su empresa en crecimiento, la cual ya ha tenido comienzo en años anteriores y que con su rediseño bastará para cumplir con la legislación ambiental del país.

#### ***1.3.2 Marco Conceptual***

##### ***1.3.2.1 Proceso de curtición***

La humanidad es símbolo de adaptación a las condiciones que existen en cada una de las regiones de nuestro mundo. Una de las actividades destacadas del hombre prehistórico es la curtición de la piel para la fabricación de su vestimenta, sin embargo, en la actualidad se ha modernizado los métodos para llevarla a cabo, entre los cuales se puede distinguir los procesos que se resumen en: Ribera, Curtido, Secado y Acabado. (Del Valle, 2006, pp. 22-23)

- ***Ribera***

Son todos los tratamientos que se da a la piel antes de su curtición, con lo cual se consigue las características necesarias para que los agentes curtientes puedan llegar hasta lo más profundo de

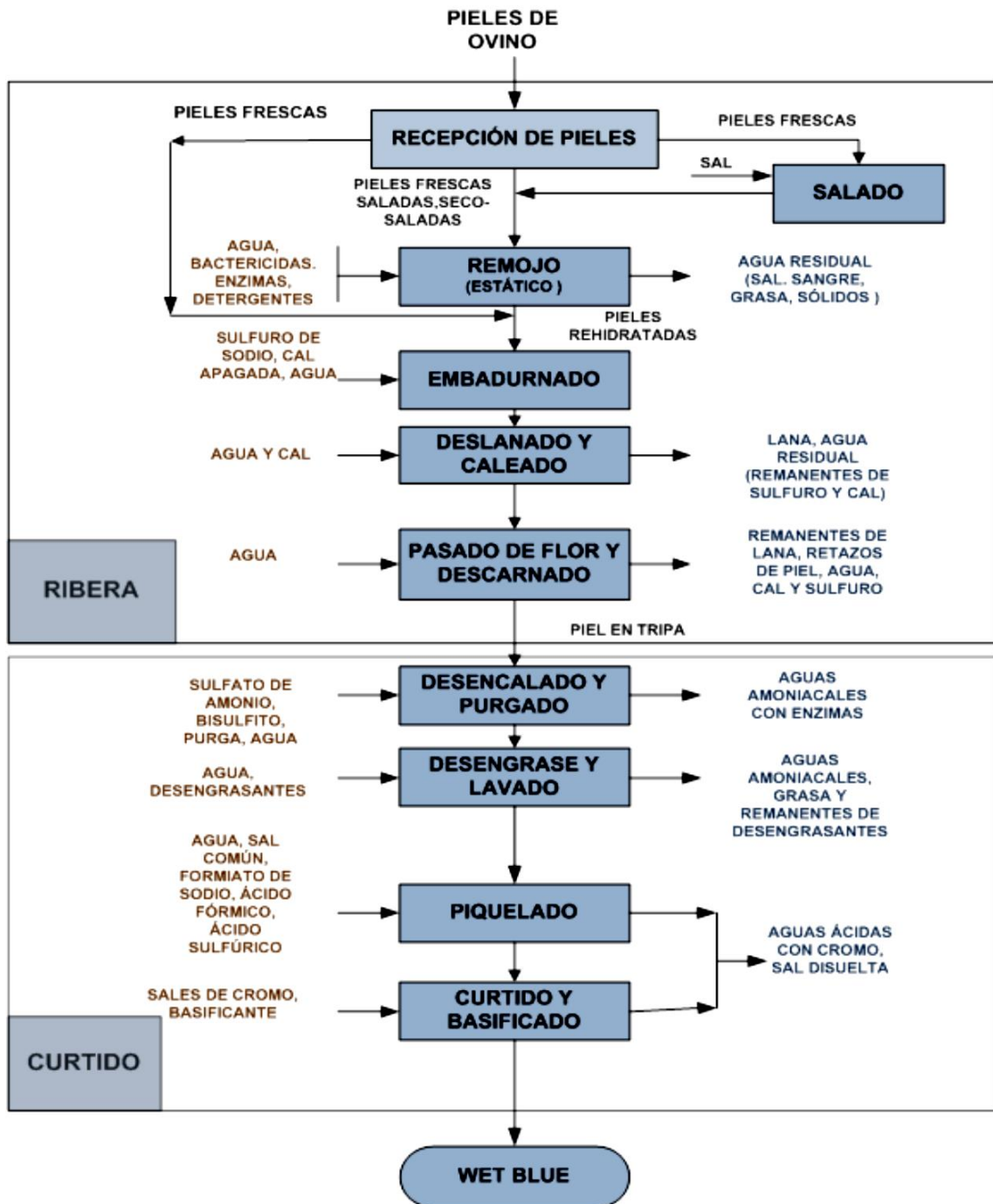
las fibras de colágeno de la piel. El llamado pelambre es la parte del proceso que por medio de la adición de sulfuro de sodio y cal para llegar a un pH mayor a 11 presta las condiciones para eliminar la capa dérmica y los pelos, resultado de ello se tiene la capa de piel que será utilizada en la curtición. (Guzmán & Luján, 2010, pp. 466-467)

- *Curtido*

La curtición es la parte fundamental de todo el proceso, el cual consigue darle características como la resistencia a las condiciones climáticas y la resistencia a la degradación natural que tienen los materiales orgánicos. Todo ello se logra por medio del sulfato de cromo (III) que permite que las fibras de colágeno de la piel se transformen en cuero. (Del Valle, 2006, p. 25)

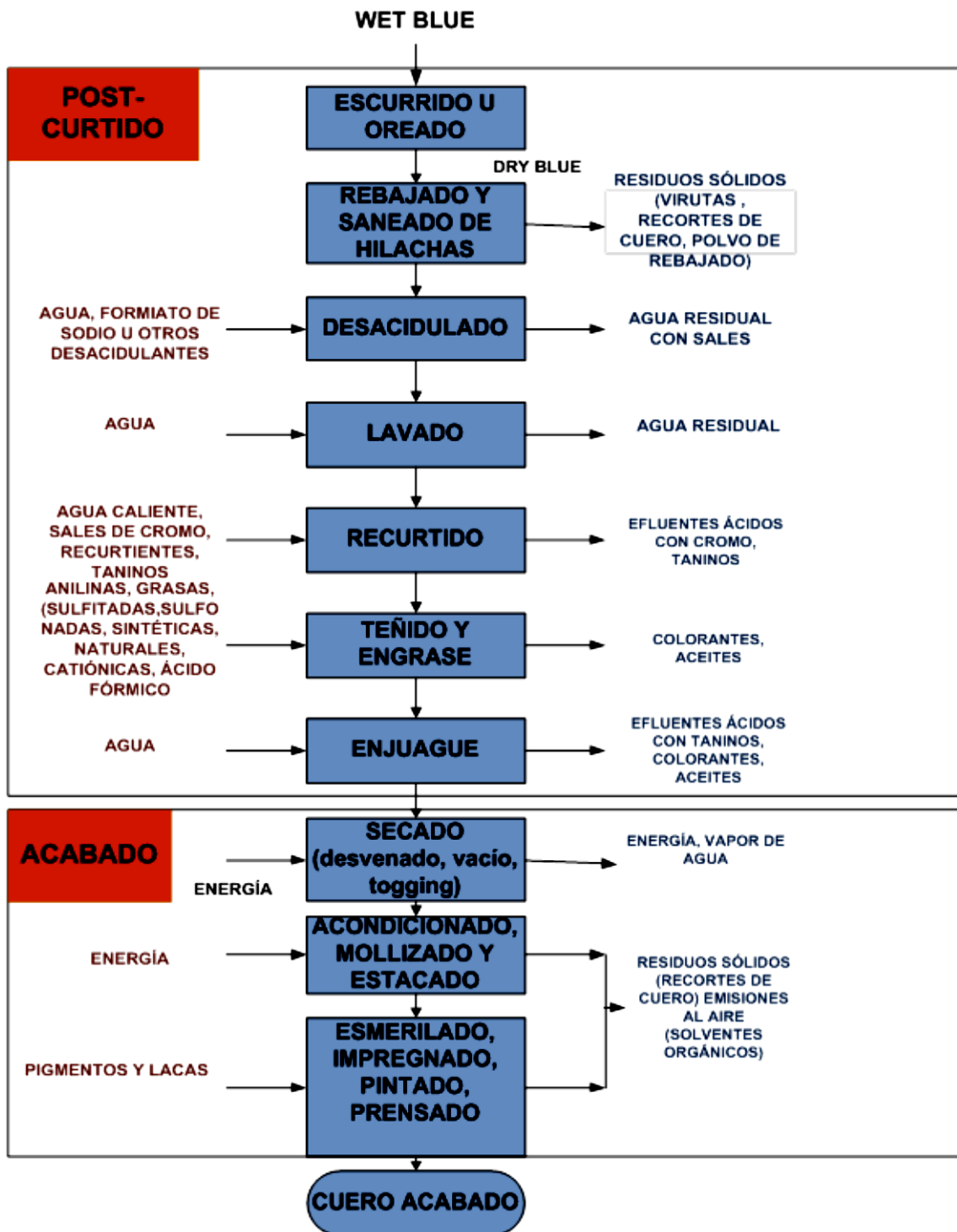
- *Secado y acabado*

Como paso siguiente hacia la obtención del producto terminado, se lo seca y se da las características de resistencia necesarias, por medio de estiramiento y eliminación de arrugas, etc. Por último, se lo pinta del color deseado, dependiendo si se lo utilizará en prendas de vestir o calzado y demás. (Del Valle, 2006, p. 25)



**Gráfico 1-1:** Diagrama de flujo del proceso completo de la curtición de pieles

Fuente: Bio Activo-Consultora Ambiental (2015, p. 61)



**Gráfico 2-1:** Diagrama de flujo del proceso completo de la curtición de pieles. (Continuación)

Fuente: Bio Activo-Consultora Ambiental (2015, p. 60)

### *1.3.2.2 Aguas residuales de la industria curtiembre*

La industria curtiembre para la producción de cuero tiene como resultado un flujo líquido de desecho con gran cantidad de contaminantes como: materia orgánica con distintos tamaños de partícula, metales pesados como el cromo en los estados de oxidación (III) y (VI) y compuestos de sulfuro. Estos vienen a ser las principales fuentes para la contaminación si no se da el tratamiento adecuado para su descarga a cuerpos de agua o alcantarillado. (Méndez Pampín, 2007, pp. 17-18)

A continuación, se describen los principales contaminantes nombrados:

- ***Contaminación por cromo en la industria curtiembre***

El cromo es el metal pesado por excelencia utilizado en la curtición de las pieles, por ser hasta el momento el que mejor rendimiento da. Este metal en un principio se añade en forma de  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  en las etapas de curtido y post-curtido, y por ello en sus efluentes de descarga.

1. El cromo (III) es un micronutriente esencial para el metabolismo de la glucosa, que tiene un intervalo de consumo diario entre 50 y 200 microgramos. (Papp, 2004, pp. 7-8)

En su estado de oxidación Cromo (III) es un elemento poco soluble en agua y poco reactivo, sin embargo, cuando las condiciones son las adecuadas y llega a su estado de oxidación Cromo (VI) resulta en un elemento totalmente soluble en agua, de alta reactividad, además de que puede atravesar los poros de la piel. La quema de cueros o cualquier otro elemento que contenga cromo resultaría en su volatilización y aspiración. Cualquiera que sea el medio que lleve al cromo a la sangre de un ser vivo compone un peligro por alterar las cadenas de ADN y con ello causar enfermedades mortales. (Molina et al., 2010, pp. 82-83)

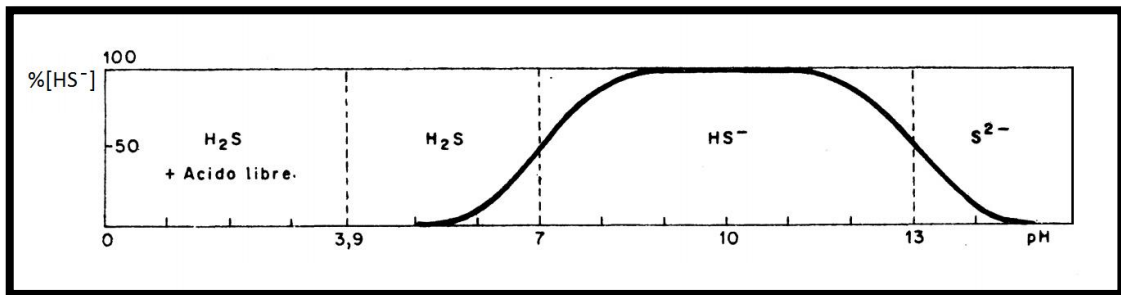
- ***Contaminación por sulfuro en la industria curtiembre***

La etapa de pelambre se caracteriza por la adición de  $\text{Na}_2\text{S}$  o  $\text{NaHS}$  en una piscina o bombo donde se encuentran las pieles como pretratamiento para el curtido de estas.

Esto resulta en una potencial fuente de contaminación del aire, y en consecuencia la contaminación del ambiente laboral. La solución para el tratamiento de las pieles permanece a un pH en torno a 13, sin embargo, existe la posibilidad de que el ion sulfuro sufra cambios y llegue a volatilizarse en forma de  $\text{H}_2\text{S}$  a  $\text{pH} < 10$ , causando irritaciones en el sistema respiratorio y los

ojos, además, en concentraciones superiores a 250 ppm se corre el riesgo de muerte por asfixia. (The International Volcanic Health Hazard 2017)

Como se visualiza en la figura 1-1, a medida que se reduce el pH se reduce la solubilidad del sulfuro, de modo que se libera como gas  $H_2S$ . Por estas razones no se debe reducir el pH del agua residual resultante, por medio de la adición de agua o sustancias ácidas.



**Figura 1-1:** Estabilidad de los sulfuros en función del pH

Fuente: Gaspar (n.d., p.34)

- ***El  $DBO_5$  y DQO en los efluentes de la industria curtiembre***

Las siglas  $DBO_5$  hacen referencia a la Demanda Bioquímica de Oxígeno, es decir, la cantidad de oxígeno que necesitan las bacterias para degradar los compuestos orgánicos presentes en una muestra de agua en 5 días y a una temperatura de 20 °C. En tanto que la DQO o Demanda Química de Oxígeno indica la cantidad de oxígeno necesario para convertir la materia orgánica y la inorgánica en anhídrido carbónico, por medio del uso de agentes químicos oxidantes. De este modo, la DQO es mayor a la  $DBO_5$  y cuanto mayor sea la DQO, indica la presencia de mayor cantidad de material no biodegradable. (Fernandez, 2012, pp. 159-162)

En la industria curtiembre se presentan comúnmente valores de DBO y DQO muy elevados, debido al desprendimiento de partículas de piel que se encuentran suspendidas en la descarga y sin un tratamiento adecuado, ello representa una gran contaminación.

- ***Otros contaminantes en la industria curtiembre***

En la industria curtiembre existen otros contaminantes, aunque no presenta un riesgo tan elevado como los anteriormente descritos por su menor concentración y reactividad, tienen que formar parte del tratamiento para que cumplan con los parámetros de la legislación. Por lo general estos contaminantes son: pH, aceites y grasas, tensoactivos, fósforo, sulfatos y cloruros.

### *1.3.2.3 Tratamiento de aguas residuales*

El tratamiento de aguas residuales es una actividad relativamente reciente, ya que tiene sus inicios a principios del siglo XVIII. Los motivos principales por los que es necesario el tratamiento de aguas residuales son por motivos de higiene y por otro lado el cumplimiento de la legislación ambiental. Todo ello se realiza para extraer contaminantes del agua del tipo químico, físico, biológico y en ocasiones radioactivo. (Rojas, 2002, pp. 11-14)

### *1.3.2.4 Tratamiento de aguas residuales en la industria curtiembre*

Las aguas residuales de una curtiembre para su descarga principalmente requieren de tratamientos que reduzcan el cromo, los sulfuros, sólidos suspendidos, sedimentables y totales, DBO y DQO. Para ello se divide en un principio en dos las descargas líquidas. Las procedentes de ribera llegan con una carga grande de sulfuros y para ello primero se requiere un tratamiento que los reduzca a valores que estén dentro de la norma. La otra parte es la descarga producto del curtido de la piel que tiene un contenido considerable de cromo (III) y Cromo (VI), y para ello se da un tratamiento específico.

Cuando estos contaminantes se han tratado, aún se tiene altos contenidos de DBO y DQO, es por lo que contando con los procesos que componen la clarificación y posterior filtración concluye un tratamiento con bajos costos, adecuado para una pequeña empresa.

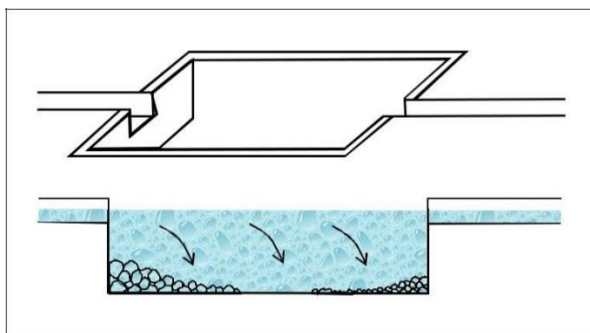
- ***Tratamiento primario***

Los tratamientos primarios para todas las aguas residuales son similares y el propósito es eliminar los objetos de mayor tamaño, los cuales por sus dimensiones no tienen la capacidad de mantenerse suspendidos en el agua. En el caso de la curtiembre con esto se desea retener pieles, envases, sólidos que sedimenten rápidamente sin la acción de sustancias químicas.

El primer elemento que requiere la planta de tratamiento son las rejillas dispuestas de tal forma que al inicio puedan retener objetos grandes, hasta llegar a rejillas similares a malla mosquitero y con ello facilitar su extracción.

Por otro lado, es muy beneficioso implementar desarenadores los cuales, al reducir la velocidad de flujo del fluido, permitan que partículas de fácil sedimentación.





**Figura 2-1:** Desarenador

Fuente: Cajias & Villablanca (2017)

- ***Oxidación de sulfuros***

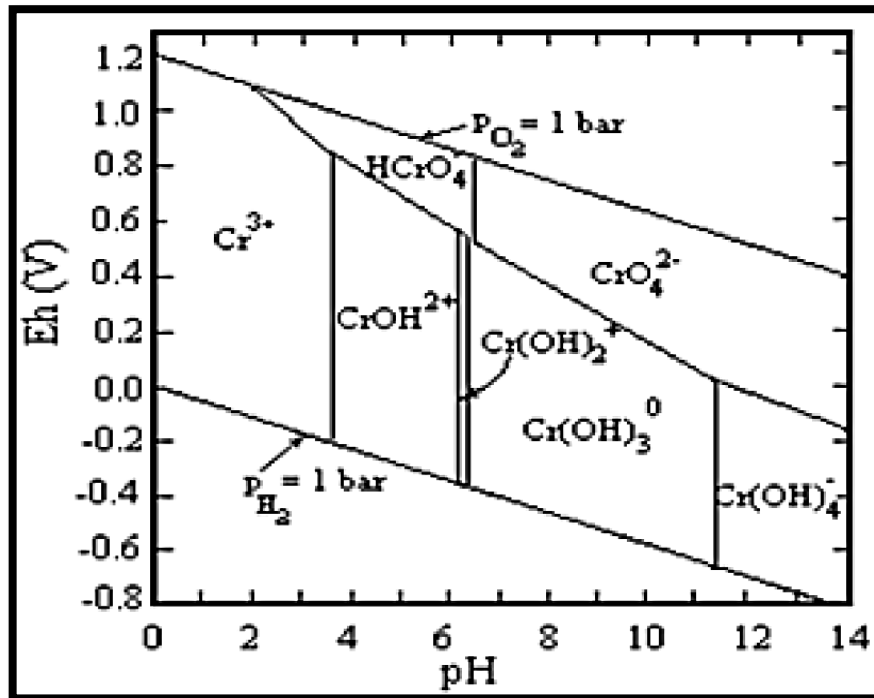
El proceso de ribera está marcado por la carga de sulfuros que recibe el proceso. Para su tratamiento se puede optar por varios métodos, los cuales van desde precipitación química, oxidación por medio de catalizador de sulfato de manganeso o por medio de agentes oxidante y otras. La oxidación que utiliza como catalizador el sulfato de manganeso es una opción muy confiable y que presenta bajos riesgos químicos en su realización.

En la investigación realizada por Salas (2005a, p. 49), que trata el agua residual procedente de la etapa de pelambre, usando el oxígeno del aire bombeado a través de un compresor que trabaja por 6 horas y con la ayuda de sulfato de manganeso como catalizador a una concentración de 3,2 miligramos por cada miligramo de sulfuro se obtiene rendimiento que llega hasta el 98,9%, lo que presenta una forma económica y de fácil implementación.

- ***Precipitación de cromo***

La forma más económica de extraer la mayor cantidad de cromo de la etapa de curtido de la piel es a través de la precipitación en medio alcalino que ocurre como se describe en la investigación realizada por Salas (2005b, p.61), donde precipita el cromo de los efluentes de una curtiembre a valores de pH en torno a 9.

En otra investigación realizada por Quishpe et al. (2005, p.117), se muestra un margen más amplio de precipitación, como se visualiza en la figura 3-1, donde se nota el punto intermedio de pH de 9 para la precipitación de cromo, como  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  y con ello establecer el primer tratamiento para eliminar uno de los contaminantes más peligrosos y poder cumplir con el parámetro para el cromo que establece la norma.



**Figura 3-1:** Diagrama Eh – pH para las especies de Cr en solución acuosa

Fuente: Quishpe, De la Torre, & Guevara (2005, p.118)

- **Sedimentación**

Esta etapa del tratamiento de aguas permite que las partículas que se encuentran en suspensión en los efluentes puedan llegar a formar una capa de lodos en el fondo de un recipiente o desarenador sin tener que recurrir medios de tratamiento químicos para la desestabilización de las partículas y su aglomeración.

- **Coagulación**

Los sólidos que se encuentran en suspensión en las aguas residuales son muy estables, debido a las partículas con carga negativa que se adhieren y causan repulsión electrostática. Esto dificulta que se aglomeren y para eliminar estas cargas negativas se ocupa los llamados coagulantes, que por lo general son sales de hierro y aluminio necesarias para que desestabilicen los sólidos suspendidos y den el primer paso para su aglomeración. (Acosta, 2012, p.11)

La adición de agentes coagulantes se ve reforzada por la agitación rápida que ayuda a su dispersión hacia todos los puntos del fluido a tratar.

- ***Floculación***

Seguido de la coagulación se debe realizar la floculación que no es más que la aglomeración de estas partículas suspendidas que ya han sido desestabilizadas para formar flocs que por el peso de sí mismo llega hasta el fondo del contenedor. Esta parte del proceso se la realiza por medio de la adición de floculantes que son polímeros que actúan como enlace entre las partículas.

Al contrario de la coagulación, en la floculación se necesita una agitación lenta (alrededor de 25 rpm), esto permite que la fuerza con la que chocan las partículas en suspensión sirva para aglomerarse y que no se destruyan los flocs ya formados.



**Figura 4-1:** Pruebas de jarras coagulación-floculación

Realizado por: Juan Viñán

- ***Decantación***

Después de haber realizado la clarificación del agua residual, con la ayuda del proceso fisicoquímico anteriormente descrito, se observa claramente una separación entre los lodos y el agua tratada con una reducción en su color o llegando a ser totalmente cristalina, según sea el caso.

La operación decantación es aquella que separa las dos fases formadas, en este caso líquido y sólido, donde se extraerá la fase líquida para que continúe hacia otros procesos de tratamiento o a su vez, un almacenamiento con el fin de utilizarla para algún otro propósito.

- **Filtración**

La filtración es la etapa del tratamiento de aguas residuales, donde las partículas, bacterias, virus, etc., que no pudieron ser sedimentadas en la coagulación-floculación se separan para obtener un agua residual con las condiciones adecuadas para su descarga en alcantarillado público, cabe recalcar que el objetivo de esta parte del proceso es cumplir con los parámetros establecidos en la legislación ambiental vigente, es por ello que la filtración debe ser con instrumentos básicos y que no generen gastos innecesarios para la empresa.

Generalmente, estas partículas que no han sedimentado aumentan los valores de DBO y DQO, los cuales no permiten el cumplimiento de las normas establecidas.

Los filtros más usados son los que tienen medios filtrantes múltiples, donde cumplen un propósito cada uno de ellos, según las condiciones del agua a tratar. Se diría que un filtro básico tiene un medio filtrante de arena y en la parte inferior gravilla. Sin embargo, cuando al usar este filtro básico aún no se cumple los parámetros de la legislación, se tiene una gran variedad de medios filtrantes para elegir. Uno de ellos es el carbón activo, que puede reducir en gran medida olores, metales pesados, etc., y por ello es muy usado en la purificación de agua para consumo humano.

### ***1.3.3 Marco legal***

#### **Constitución de la República del Ecuador**

“Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.” (Asamblea Nacional Constituyente, 2008, p.150).

“Art. 395.- La Constitución reconoce los siguientes principios ambientales:

...2. Las políticas de gestión ambiental se aplicarán de manera transversal y serán de obligatorio cumplimiento por parte del Estado en todos sus niveles y por todas las personas naturales o jurídicas en el territorio nacional.” (Asamblea Nacional Constituyente, 2008, p.177).

## **Ley Orgánica de Salud del Ecuador**

“Art. 103.- Se prohíbe a toda persona, natural o jurídica, descargar o depositar aguas servidas y residuales, sin el tratamiento apropiado, conforme lo disponga en el reglamento correspondiente, en ríos, mares, canales, quebradas, lagunas, lagos y otros sitios similares. Se prohíbe también su uso en la cría de animales o actividades agropecuarias.

Los desechos infecciosos, especiales, tóxicos y peligrosos para la salud, deben ser tratados técnicamente previo a su eliminación y el depósito final se realizará en los sitios especiales establecidos para el efecto por los municipios del país.” (Congreso Nacional, 2006, p.20).

“Art. 104.- Todo establecimiento industrial, comercial o de servicios, tiene la obligación de instalar sistemas de tratamiento de aguas contaminadas y de residuos tóxicos que se produzcan por efecto de sus actividades.

Las autoridades de salud, en coordinación con los municipios, serán responsables de hacer cumplir esta disposición.” (Congreso Nacional, 2006, p.20).

## **Ley de Gestión Ambiental del Ecuador**

“Art. 9.- Le corresponde al Ministerio del ramo:

...j) Coordinar con los organismos competentes sistemas de control para la verificación del cumplimiento de las normas de calidad ambiental referentes al aire, agua, suelo, ruido, desechos y agentes contaminantes” (Congreso Nacional, 2004, p.3).

## **Ley de Prevención y Control de Contaminación Ambiental del Ecuador**

“Art. 6.- Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades.” (CONGRESO NACIONAL, 2004, p.2).

**Acuerdo Ministerial 097. Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua**

**Tabla 1-1:** Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

Parámetros	Expresados como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN <sup>-</sup>	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	mg/l	20,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1600,0
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		<40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Fuente: Ministerio del Ambiente (2015, p.20)

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

## **1.4 Beneficiarios**

### ***1.4.1 Directos***

Los propietarios y trabajadores de la Curtiduría José Laura.

### ***1.4.2 Indirectos***

Las personas que viven cerca a la Curtiduría José Laura, los proveedores de la empresa y los consumidores del producto.

## **CAPÍTULO II**

### **2. OBJETIVOS**

#### **2.1 Objetivo General**

- Rediseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales de la Curtiduría José Laura de la provincia de Tungurahua

#### **2.2 Objetivos Específicos**

- Diagnosticar las condiciones iniciales en las que se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Caracterizar el agua residual en base a la legislación ambiental vigente.
- Realizar los cálculos y el rediseño ingenieril incorporando las nuevas alternativas de tratamiento para el buen funcionamiento de la planta.
- Validar el rediseño de la planta de tratamiento, a través de la caracterización del agua tratada según la normativa ambiental vigente.



## CAPÍTULO III

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1 Localización del proyecto

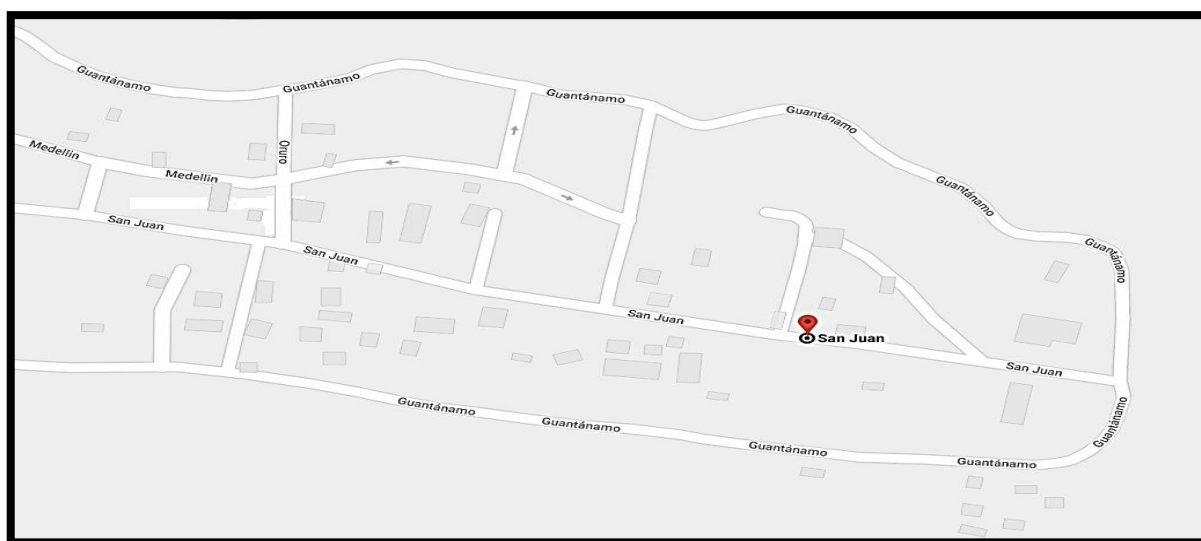
Este proyecto pretende ser implementado en la Curtiduría José Laura, de la provincia de Tungurahua, de forma más detallada se visualiza a continuación en la tabla 1-3, los datos más relevantes acerca del lugar.

**Tabla 1-3:** Localización del proyecto

<b>PROVINCIA</b>	Tungurahua
<b>CANTÓN</b>	Ambato
<b>SECTOR</b>	“Los 3 Juanes”
<b>DIRECCIÓN:</b>	Calle San Juan S/N
<b>LATITUD</b>	-1,237076m
<b>LONGITUD</b>	-78,594590m
<b>ALTITUD</b>	2575 m.s.n.m.
<b>CLIMA</b>	Temperatura máxima: 20 °C
	Temperatura mínima: 9 °C

Fuente: GeoDatos (2019)

Realizado por: Juan Viñán, 2019.



**Figura 1-3:** Ubicación de la Curtiduría José Laura georreferenciada

Fuente: Google (2017)

## **3.2 Ingeniería del proyecto**

### ***3.2.1 Tipo de estudio***

El trabajo de titulación que se presenta entra en el grupo de proyecto técnico, que se caracteriza por la aplicación de la ingeniería, la revisión bibliográfica y la experimentación a menor escala en los laboratorios para la resolución de un problema determinado, en este caso de tipo ambiental, con todo ello se obtendrá el diseño para la construcción y operación requeridas para cumplir la legislación ambiental vigente, con la aplicación de todos los criterios disponibles para la optimización de todo el proceso.

### ***3.2.2 Métodos y técnicas***

#### ***3.2.2.1 Métodos***

Al ser un proyecto técnico se ve influenciado por la utilización de métodos científicos como primer paso hacia la obtención de parámetros que darán lugar al dimensionamiento final de los equipos. Entre los métodos utilizados se encuentra el método inductivo-deductivo y el método experimental.

- ***Método Inductivo***

El inicio del proyecto se encuentra aquí, tomando ideas particulares para llegar a algo general. Con la observación in situ de las características de los procesos de producción de cuero y los equipos que pertenecen a ella que se pueden optimizar para un mejor tratamiento de los efluentes resultantes. Además, las partes del proceso donde se genera la mayor contaminación y con ello la toma de muestras específicas para darle tratamiento adecuado a cada una de estas.

- ***Método Deductivo***

Íntimamente relacionado con el método inductivo se encuentra el método deductivo, donde las conclusiones adquiridas anteriormente permiten relacionarlas para conseguir ideas específicas. También, con la utilización de fuentes bibliográficas dan una vista general de principios aplicables para conseguir diseñar modelos probables para el tratamiento de los efluentes con mayor efectividad y bosquejando las pruebas que tendrán lugar en el método experimental.

- ***Método Experimental***

Como parte final hacia la obtención del modelo que permitirá dimensionar los equipos de tratamiento de aguas residuales está el método experimental donde lo concluido anteriormente se prueba dando condiciones variadas de una forma lógica a cada situación en la que existe un foco de contaminación y que principalmente debe ser tratado, a fin de cumplir con los parámetros establecidos en la legislación del país.

### *3.2.2.2 Técnicas*

La determinación de los valores de los parámetros a analizar se lleva a cabo por medio de los métodos establecidos en el Laboratorio de Calidad del Aguas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y el Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo, como se presenta en la siguiente tabla. Todo ello se compara con los valores establecidos en la Tabla 8 de descarga al alcantarillado público del Anexo 1 del TULSMA.

**Tabla 2-3:** Métodos utilizados para la determinación de los parámetros de calidad del agua

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MÉTODO</b>
Conductividad	mS/cm	Standard Method 2510 - B
Cromo Hexavalente	mg/L	Standard Method 3500 – Cr - 3111 B
Cromo Trivalente	mg/L	Standard Method 3500 – Cr - 3111 B
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 Días)	mg/L	Standard Method 5210 - B
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	Standard Method 5220 - C
Potencial de Hidrógeno	pH	Standard Method 4500 - B
Sólidos Sedimentables	mL/L	Standard Method 2540 - B
Sólidos Suspendidos	mg/L	Standard Method 2540 - C
Sulfuros	mg/L	Standard Method 4500 - SO <sub>4</sub> - E
Turbiedad	NTU	Standard Method 2130 - B

**Realizado por:** Juan Viñán, 2019

### ***3.2.3 Tratabilidad del agua residual***

#### *3.2.3.1 Índice de biodegradabilidad*

El índice de biodegradabilidad es una relación entre el DBO y DQO, donde se puede analizar cuál es el mejor tratamiento, como puede ser biológico o fisicoquímico, en función del rango en que se encuentra el valor que resulta de ello.

**Tabla 3-3:** Relación DBO y DQO

DBO <sub>5</sub> / DQO	Biodegradabilidad	Tipo de tratamiento
> 0,5	Muy biodegradable	Tratamiento Biológico
0,5 – 0,2	Biodegradable	Tratamiento Biológico o Tratamiento Físicoquímico
< 0,2	Poco biodegradable	Tratamiento Físicoquímico

Fuente: (Metcalf & Eddy 1995)

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

Con ello se puede deducir que el tratamiento sugerido está entre la decisión de uno biológico y uno físicoquímico, sin embargo, por ser tratamiento para aguas de descarga y por requerir reducir los costos y utilizar parte de los equipos ya existentes, se opta por un tratamiento físicoquímico.

### 3.2.3.2 Test de jarras

Las pruebas de jarras se realizaron en el equipo para medición Floc ET 730, en vasos de precipitación de 1L, con velocidades máximas para la mezcla del coagulante y floculante, y mínimas para facilitar la formación de lodo.

Primero se calcula las concentraciones que dan mejores resultados en cuanto a rendimiento y costo. Para ello se determina la dosis óptima de floculante con una cantidad igual en cada prueba para el coagulante. Posteriormente se determina la concentración óptima de coagulante, utilizando la cantidad de floculante resultante de la anterior prueba.

Por otro lado, para determinar el mejor coagulante y floculante se prueba cada uno de los disponibles, con la misma concentración y se selecciona el que da una menor turbiedad, ya que es un parámetro que indica directamente la efectividad que se consigue con la adición de una determinada concentración de estas sustancias.

Además, se verifica que el coagulante y floculante seleccionado tenga un buen rendimiento en los dos grandes procesos que intervienen en el curtido de pieles, mediante las pruebas realizadas con sus respectivas aguas residuales.

- ***Elección del floculante para tratamiento de aguas residuales para la etapa de pelambre***

Se prepara tres muestras de 1 L de agua residual de pelambre con la adición de coagulante PAC en la concentración de 30 ppm por su buen rendimiento a un intervalo amplio de pH y

posteriormente, cada uno de los floculantes hasta conseguir una concentración de 4 ppm en la respectiva muestra.

**Tabla 4-3:** Determinación del floculante necesario para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la etapa de pelambre

Floculante	Concentración floculante (ppm)	Concentración de PAC (ppm)	Turbiedad (NTU)
Catiónico	4	30	668
Aniónico	4	30	95
No iónico	4	30	410

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

- *Elección del floculante para tratamiento de aguas residuales para la etapa de curtido*

Se prepara tres muestras de 1 L de agua residual de curtido y se añade Cal hasta conseguir un pH de 8,5 y coagulante PAC a una concentración de 30 ppm. Posteriormente, se adiciona cada uno de los floculantes en su respectiva muestra hasta conseguir una concentración de 4 ppm para este volumen.

**Tabla 5-3:** Determinación del floculante necesario para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la etapa de curtido

Floculante	Concentración floculante (ppm)	Concentración de PAC (ppm)	Turbiedad (NTU)
Catiónico	4	30	310
Aniónico	4	30	55
No iónico	4	30	135

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

- *Elección del coagulante para tratamiento de aguas residuales para la etapa de pelambre*

Se prepara muestras de 1 L de agua residual de pelambre y se añade el coagulante hasta conseguir una concentración de 30 ppm en la respectiva muestra y se agita por un minuto para conseguir la homogenización del líquido. Se añade floculante aniónico hasta una concentración de 4 ppm en cada muestra para acelerar el proceso.

**Tabla 6-3:** Determinación del coagulante necesario para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la etapa de pelambre

Coagulante	Concentración coagulante (ppm)	Concentración floculante (ppm)	Turbiedad (NTU)
PAC	30	4	102
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	30	4	154
FeCl <sub>3</sub>	30	4	379

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

- *Elección del coagulante para el tratamiento de aguas residuales para la etapa de curtido*

Se prepara muestras de 1 L de agua residual de curtido y se añade Cal hasta conseguir un pH de alrededor de 8,5. Posteriormente se adiciona 30 ppm de cada uno de los coagulantes en su respectiva muestra. Finalmente se adiciona floculante aniónico a cada una de las muestras para conseguir una concentración de 4 ppm de este, y conseguir una aceleración del proceso para compararlo por medio de las turbiedades resultantes.

**Tabla 7-3:** Determinación del coagulante necesario para el tratamiento de aguas residuales procedentes de la etapa de curtido

Coagulante	Concentración coagulante (ppm)	Concentración floculante (ppm)	Turbiedad (NTU)
PAC	30	4	50
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	30	4	35
Fe Cl <sub>3</sub>	30	4	175

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

- *Determinación de la concentración óptima de floculante para la etapa de pelambre*

Se utiliza coagulante PAC a una concentración de 40 ppm en cada vaso de precipitación de 1L. La solución de floculante aniónico se prepara y con ello se dosifica a cada una de las muestras, como se indica a continuación.

**Tabla 8-3:** Determinación de la concentración óptima de floculante para la etapa de pelambre

Concentración de PAC (ppm)	Concentración floculante aniónico (ppm)	Turbiedad (NTU)
40	2	93
40	4	48
40	6	37
40	8	18
40	10	12
40	12	12

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

- *Determinación de la concentración óptima de floculante para la etapa de curtido*

Se utiliza coagulante PAC a una concentración de 40 ppm en cada vaso de precipitación de 1L. La solución de floculante aniónico se prepara y con ello se dosifica a cada una de las muestras, como se indica a continuación.

**Tabla 9-3:** Determinación de la concentración óptima de floculante para la etapa de curtido

Concentración de PAC (ppm)	Concentración floculante aniónico (ppm)	Turbiedad (NTU)
40	2	24
40	4	15
40	6	8,5
40	8	8
40	10	7

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

Nota: Se eleva el pH de la muestra hasta 8,5 y se deja reposar por al menos dos horas para obtener mejores resultados. Además, se calienta el floculante aniónico hasta 80°C para conseguir una solución totalmente homogénea.

- ***Determinación de la concentración óptima de coagulante en la etapa de pelambre***

Se utiliza floculante aniónico a una concentración constante de 10 ppm en cada vaso de precipitación de 1L. La solución de sulfato de aluminio utilizada será dosificada en cada una de las muestras, como se indica a continuación.

**Tabla 10-3:** Determinación de la concentración óptima de coagulante para la etapa de pelambre

Concentración floculante aniónico (ppm)	Concentración PAC (ppm)	Turbiedad (NTU)
10	10	29
10	20	18
10	30	14
10	40	12
10	50	12

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

- ***Determinación de la concentración óptima de coagulante en la etapa de curtido***

### **Prueba con sulfato de aluminio**

Se utiliza floculante aniónico a una concentración constante de 8 ppm en cada vaso de precipitación de 1L. La solución de sulfato de aluminio utilizada será dosificada en cada una de las muestras, como se indica a continuación.

**Tabla 11-3:** Determinación de la concentración óptima de coagulante para la etapa de curtido con sulfato de aluminio

Concentración floculante aniónico (ppm)	Concentración de PAC (ppm)	Turbiedad (NTU)
8	10	9,5
8	20	8
8	30	6,6
8	40	5,5
8	50	7

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

### Prueba con PAC

Se utiliza floculante aniónico a una concentración constante de 8 ppm en cada vaso de precipitación de 1L. La solución de PAC utilizada será dosificada en cada una de las muestras, como se indica a continuación.

**Tabla 12-3:** Determinación de la concentración óptima de coagulante para la etapa de curtido con PAC

Concentración floculante aniónico (ppm)	Concentración de PAC (ppm)	Turbiedad (NTU)
8	10	1,9
8	20	1,6
8	30	2,2
8	40	3,2
8	50	3,7

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

Nota: si se deja reposar el agua residual de curtido después de su alcalinización con cal por al menos dos horas, se conseguirá mejores resultados, como se indica en la tabla. Además, se caliente el floculante aniónico hasta 80°C para conseguir una solución totalmente homogénea.

- *Determinación de la concentración óptima de catalizador  $MnSO_4$*

Se toma varias muestras de 1L del agua residual de pelambre y se suministra aire por medio de un compresor. Cada una de las muestras tienen concentraciones diferentes de  $MnSO_4$  para la oxidación de sulfuros.



**Tabla 12-3:** Determinación de la concentración de  $MnSO_4$  óptima para la oxidación de sulfuros sin agitación

$MnSO_4$ (g/L)	Concentración de sulfuro (mg/L)						
	Inicio	1 hora	2 horas	3 horas	4 horas	5 horas	6 horas
0,5	1358	992	864	800	384	336	368
1,0	1358	1104	592	480	304	416	320
1,5	1358	616	384	496	368	400	336
2,0	1358	712	688	512	512	560	320

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

Del mismo modo que la prueba anterior, se toma varias muestras de 1L del agua residual de pelambre y se suministra aire por medio de un compresor y agitación para mantener una circulación del sulfato de manganeso a través de todo el contenedor donde se realizará la oxidación, ya que este catalizador no es muy soluble en agua. Cada una de las muestras tienen concentraciones diferentes de  $MnSO_4$  para la oxidación de sulfuros.

**Tabla 13-3:** Determinación de la concentración de  $MnSO_4$  óptima para la oxidación de sulfuros

$MnSO_4$ (g/L)	Concentración de sulfuro (mg/L)						
	Inicio	1 hora	2 horas	3 horas	4 horas	5 horas	6 horas
0,5	1664	1040	640	416	259	192	208
1,0	1664	912	576	352	384	256	208
1,5	1664	880	848	496	208	128	96
2,0	1664	656	400	176	176	80	64
0,5	1536	832	576	624	320	176	196
1,0	1536	912	736	528	208	144	96
1,5	1536	560	592	416	256	128	112
2,0	1536	720	368	144	160	80	48

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

Nota: el sulfato de manganeso se adiciona en estado sólido.

### 3.2.4 Determinación del Caudal

Ya que la elaboración de cuero es un proceso que cuenta con varios subprocesos por lotes no se tiene un caudal en flujo continuo, sin embargo, la mejor forma de estimar el caudal diario es a través del volumen de agua consumido diariamente, por medio de la medición en la piscina de almacenamiento.

**Tabla 14-3:** Cálculo del caudal diario de agua

Día	Cantidad de agua consumida (m <sup>3</sup> )	Tiempo (h)	Caudal de agua (m <sup>3</sup> /h)
Lunes	7,20	24	0,302
Martes	8,10	24	0,338
Miércoles	6,70	24	0,280
Jueves	10,50	24	0,438
Viernes	9,30	24	0,388
Promedio de caudal diario en m <sup>3</sup> /h			0,350
Promedio de caudal diario en L/s			0,097

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

### 3.2.5 Resultados de los análisis

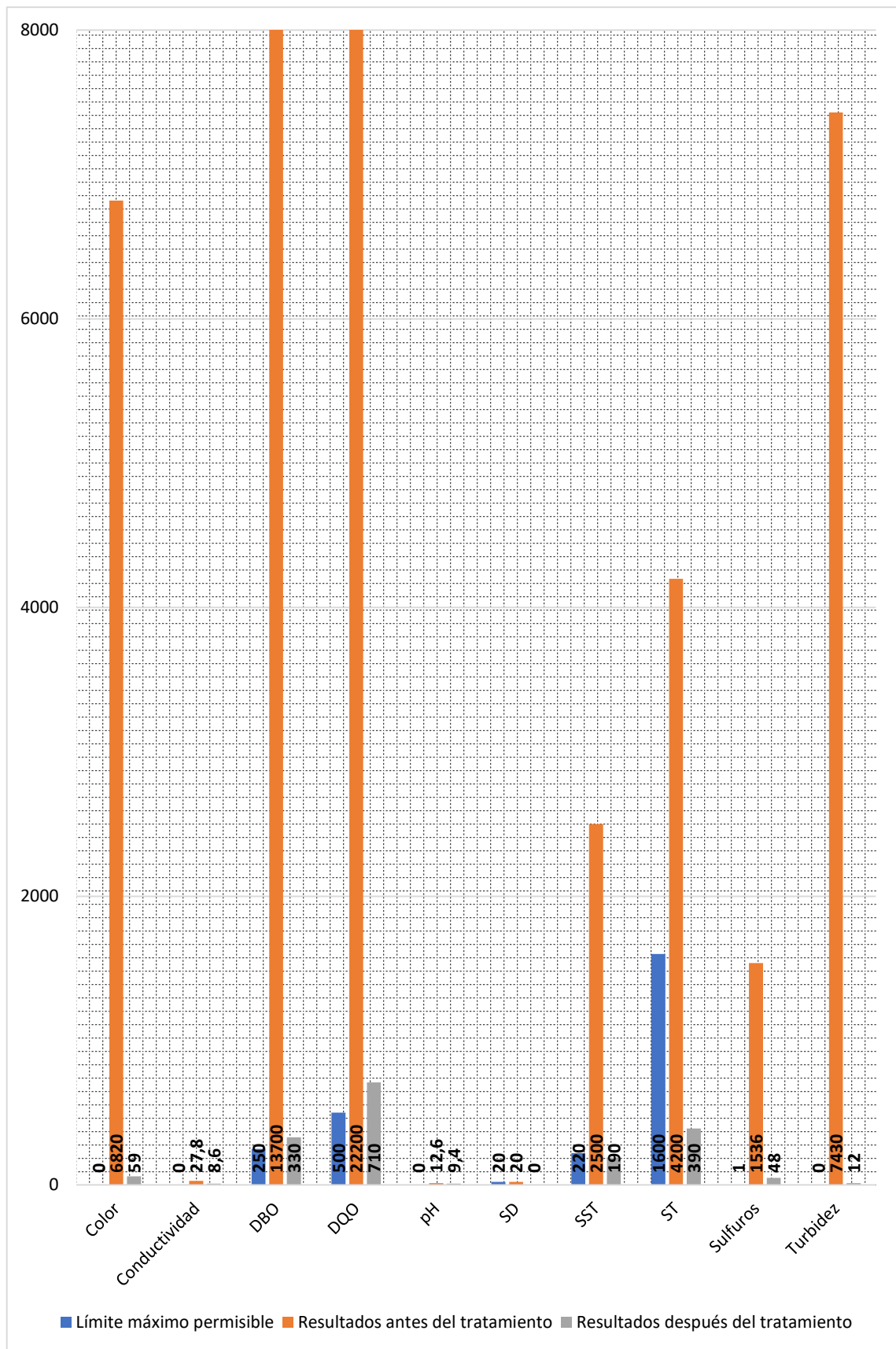
#### 3.2.5.1 Análisis de agua residual procedente de la etapa de pelambre

**Tabla 15-3:** Resultados de la caracterización del agua residual de la etapa de pelambre

PARÁMETRO	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado antes del tratamiento	Resultado después del tratamiento	Porcentaje de remoción
Color	Platino Cobalto 465 mm	-	6820,00	59,00	99%
Conductividad	mS/cm	-	27,80	8,60	69%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 Días)	mg/L	250,00	13 700,00	330,00	98%
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	500,00	22 200,00	710,00	97%
Potencial de Hidrógeno	pH	6-9	12,60	9,40	-
Sólidos sedimentables	mL/L	20,00	20,00	0,00	99%
Sólidos suspendidos Totales	mg/L	220,00	2500,00	190,00	92%
Sólidos Totales	mg/L	1600,00	4200,00	390,00	91%
Sulfuros	mg/L	1,00	1536,00	48,00	97 %
Turbiedad	NTU	-	7430,00	12,00	99%

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

A continuación, se presenta el gráfico con la representación de la reducción del porcentaje de los contaminantes.



**Gráfico 1-3:** Comparación de los resultados del agua residual de pelambre obtenidos con los límites de la legislación ambiental

Realizado por: Juan Viñán, 2019

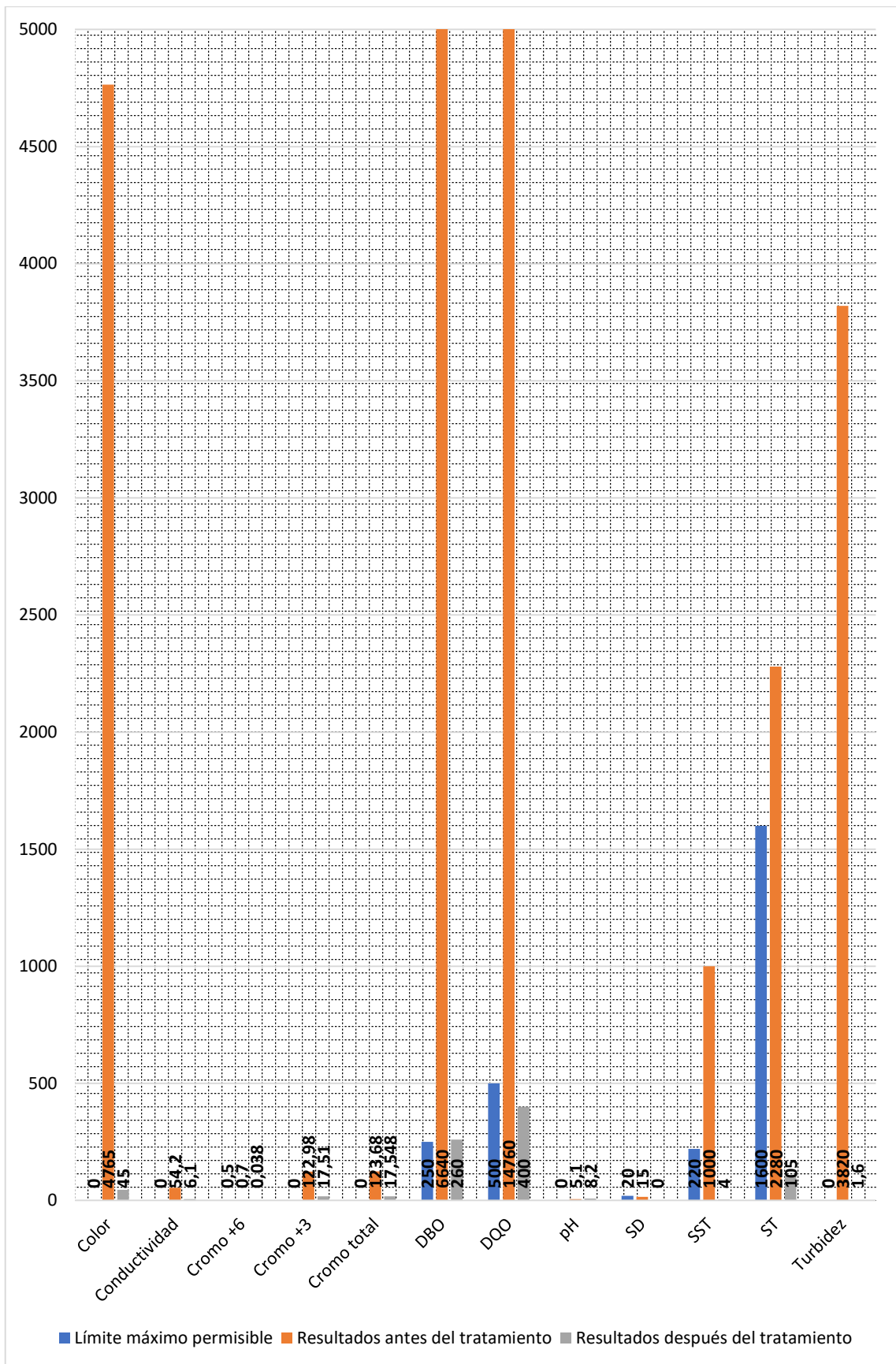
3.2.5.1 Análisis de agua residual procedente de la etapa de curtido

**Tabla 16-3:** Resultados de la caracterización del agua residual de la etapa de curtido

PARÁMETRO	Unidad	Límite máximo permisible	Resultado antes del tratamiento	Resultado después del tratamiento	Porcentaje de remoción
<b>Color</b>	Platino Cobalto 465 mm	-	4765,00	45,00	99%
<b>Conductividad</b>	mS/cm	-	54,20	6,10	89%
<b>Cromo Hexavalente</b>	mg/L	0,50	0,70	0,038	95%
<b>Cromo Trivalente</b>	mg/L	-	122,98	17,51	86%
<b>Cromo Total</b>	mg/L	-	123,68	17,54	86%
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 Días)</b>	mg/L	250,00	6640,00	260,00	96%
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	mg/L	500,00	14 760,00	400,00	97%
<b>Potencial de Hidrógeno</b>	-	6-9	5,10	8,20	-
<b>Sólidos sedimentables</b>	mL/L	20,00	15,00	0,00	99%
<b>Sólidos suspendidos Totales</b>	mg/L	220,00	1000,00	4,00	99%
<b>Sólidos Totales</b>	mg/L	1600,00	2280,00	105,00	95 %
<b>Turbiedad</b>	NTU	-	3820,00	1,60	99%

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

A continuación, se presenta el gráfico con la representación de la reducción del porcentaje de los contaminantes.



**Gráfico 2-3:** Comparación de los resultados del agua residual de curtido obtenidos con los límites de la legislación ambiental

Realizado por: Juan Viñán, 2019

### **3.2.6 Cálculos de ingeniería**

#### *3.2.6.1 Elementos en buen estado a tomar en consideración para el rediseño*

El rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales implica no solo el dimensionamiento de nuevos equipos de proceso, sino la inclusión de aquellos que se encuentran en un estado óptimo y que serán necesarios para reducir los costos.

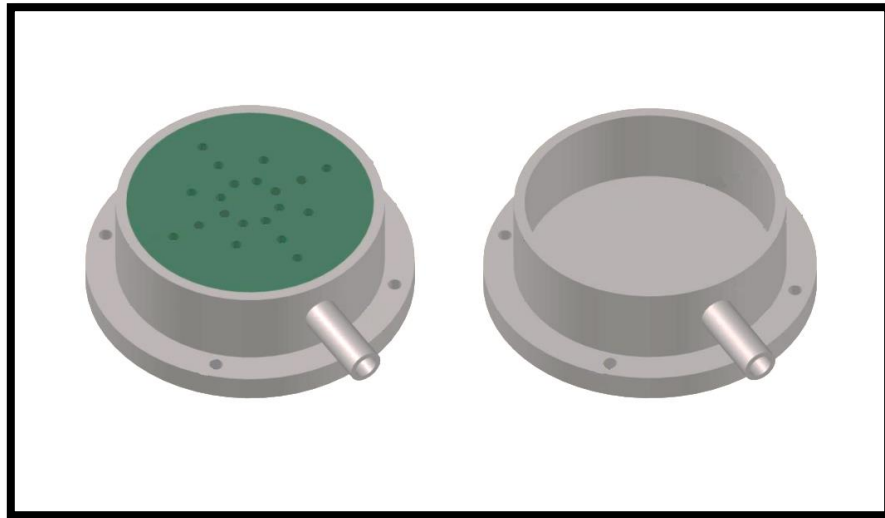
Entre los elementos en buen estado o que ya han sido implementados anteriormente en la curtiduría se encuentran principalmente aquellos que son parte de los pretratamientos de aguas residuales.

- Elementos de desbaste y cribado: existen elementos como rejillas en los canales con un área transversal de 0,4 m por 0,4 m y cribas debajo de los bombos que dificultan el paso a objetos de mayor tamaño y se ha determinado que encuentran en buen estado para continuar en operación.
- Canales de transporte de aguas residuales: existen dos conductos de 0,4 m por 0,4 m cada uno, que dirigen las aguas residuales procedentes de ribera y otro para curtido y post-curtido, y que a su vez estos dirigen los efluentes a sus respectivas piscinas donde reposarán hasta su tratamiento.
- Piscinas de almacenamiento: existen 3 piscinas de 20 m<sup>3</sup> que se ocuparán para la descarga de aguas residuales para ribera y curtido respectivamente, y la tercera que será utilizada para el almacenamiento del agua residual tratada, de modo que se las ha incluido en el rediseño y que a su vez servirá para tener un menor costo total.

#### *3.2.6.2 Cálculos para el sistema de aireación para la oxigenación de sulfuros*

Las fórmulas utilizadas se basan en lo descrito por Metcalf & Eddy (1995).

El diseño del difusor se lo realiza de tal forma que se adapte a la piscina de la etapa de pelambre con medidas de 2m x 2m x 1m. Como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 2-3:** Difusor para la piscina de pelambre

Fuente: Julio César Rondal Balseca (2018, p.26)

- *Cálculo de la presión hidrostática del agua*

$$P_{H_2O} = \rho \times g \times h_1$$

Ecuación 1

Donde:

$P_{H_2O}$ : Presión hidrostática (Pa)

$\rho$ : Densidad del agua a 20 °C (kg/m<sup>3</sup>)

$g$ : Aceleración gravitacional (m/s<sup>2</sup>)

$h_1$ : Altura del agua residual de pelambre (m)

$$P_{H_2O} = 1090 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 1 \text{ m}$$

$$P_{H_2O} = 10\,692,9 \text{ Pa}$$

Conversión de unidades de Pa a Psi

$$P_{H_2O} = 10\,692,9 \text{ Pa} \times \frac{14,7 \text{ Psi}}{101\,325 \text{ Pa}}$$

$$P_{H_2O} = 1,55 \text{ Psi}$$

- ***Cálculo de la presión total***

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

Ecuación 2

Donde:

$P_{ab}$ : Presión absoluta (Psi)

$P_{atm}$ : Presión atmosférica (Psi)

$$P_{ab} = 1,55 \text{ Psi} + 14,7 \text{ Psi}$$

$$P_{ab} = 16,25 \text{ Psi}$$

- ***Cálculo de la temperatura adiabática***

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

Ecuación 3

Donde:

$\Delta T_{ad}$ : Temperatura adiabática (°C)

$T_1$ : Temperatura ambiente (K)

$\eta$ : Eficiencia del compresor (%)

$P_1$ : Presión atmosférica (Psi)

$P_2$ : Presión absoluta (Psi)

$$\Delta T_{ad} = \frac{293 \text{ K}}{0,75} \left[ \left( \frac{16,25}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$\Delta T_{ad} = 11,3 \text{ °C}$$

- ***Temperatura del gas a la salida***

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

Ecuación 4

Donde:

$T_2$ : Temperatura de gas a la salida (K)

$\Delta T_{ad}$ : Temperatura adiabática (°C)



$$T_2 = 20 \text{ °C} + 11,3 \text{ °C}$$

$$T_2 = 31,3 \text{ °C}$$

- *Cálculo de la densidad del aire*

$$\rho_a = \frac{1,293}{1 + 0,00367 \times T_2} \left( \frac{P_{ab}}{14,7} \right)$$

Ecuación 5

Donde:

$\rho_a$ : Densidad del aire ( $\text{kg/m}^3$ )

$P_{ab}$ : Presión absoluta (Psi)

$T_2$ : Temperatura de gas a la salida (K)

$$\rho_a = \frac{1,293}{1 + 0,00367 \times 31,3 \text{ °C}} \left( \frac{16,25}{14,7} \right)$$

$$\rho_a = 1,28 \text{ kg/m}^3$$

- *Cálculo del diámetro de los orificios*

$$d_o = \frac{d_b^3 \times g \times (\rho_{H_2O} - \rho_a)}{6 \times \sigma}$$

Ecuación 6

Donde:

$d_o$ : Diámetro del orificio (m)

$d_b$ : Diámetro de burbuja (m)

$\rho_{H_2O}$ : Densidad del agua a 20°C ( $\text{kg/m}^3$ )

$\rho_a$ : Densidad del aire ( $\text{kg/m}^3$ )

$\sigma$ : Tensión superficial (N/m)

$g$ : Aceleración gravitacional ( $\text{m/s}^2$ )

$$d_o = \frac{(0,005 \text{ m})^3 \times \left( 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) \times \left( 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 1,28 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)}{6 \times 0,08 \frac{\text{N}}{\text{m}}}$$

$$d_o = 0,00255 \text{ m} \approx 0,003 \text{ m}$$

- ***Cálculo del caudal de aire***

Basado en las pruebas de jarras realizadas y la fundamentación teóricamente, como se describe en Salas (2005a), se necesita 60 m<sup>3</sup> de aire por metro cúbico de agua residual con sulfuros. Sin embargo, las condiciones de análisis no emulan las condiciones en la empresa, como los instrumentos necesarios para formar microburbujas, es por lo que se utilizará una cantidad 2 veces mayor a ello, además para adaptarse al diseño de la tubería que suministrará el aire a la piscina de pelambre.

$$\frac{120 \text{ m}^3 \text{ de aire}}{\text{m}^3 \text{ de agua residual}} \times \frac{5 \text{ m}^3 \text{ de agua residual}}{\text{tratamiento}} \times \frac{1 \text{ tratamiento}}{5 \text{ h}} = 120 \frac{\text{m}^3 \text{ de aire}}{\text{h}}$$

- ***Cálculo de la potencia del compresor***

$$W_c = \frac{0,22 \times Q_{O_2}}{\eta} \left[ \left( \frac{P_2}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

Ecuación 7

Donde:

Q<sub>O<sub>2</sub></sub>: Caudal de aire (ft<sup>3</sup>/h)

W<sub>c</sub>: Potencia del compresor (hp)

P<sub>2</sub>: Presión absoluta (Psi)

η: Eficiencia

$$120 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times \frac{\text{ft}^3}{(0,3048 \text{ m})^3} \times \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} = 71 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}$$

$$W_c = \frac{0,22 \times 71 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}}}{0,7} \left[ \left( \frac{16,25}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$W_c = 0,65 \text{ hp}$$

- ***Cálculo del factor de seguridad del compresor***

$$W_c = 0,65 \text{ hp} + (0,65 \text{ hp}) \times 0,3$$

$$W_c = 0,85 \text{ hp} \approx 1 \text{ hp}$$

- **Cálculo del número de orificios del difusor**

$$N = \frac{0,7 \times D_t}{d_o}$$

Ecuación 8

Donde:

N: Número de orificios del difusor

D<sub>t</sub>: Diámetro de la tubería (mm)

d<sub>o</sub>: Diámetro del orificio (mm)

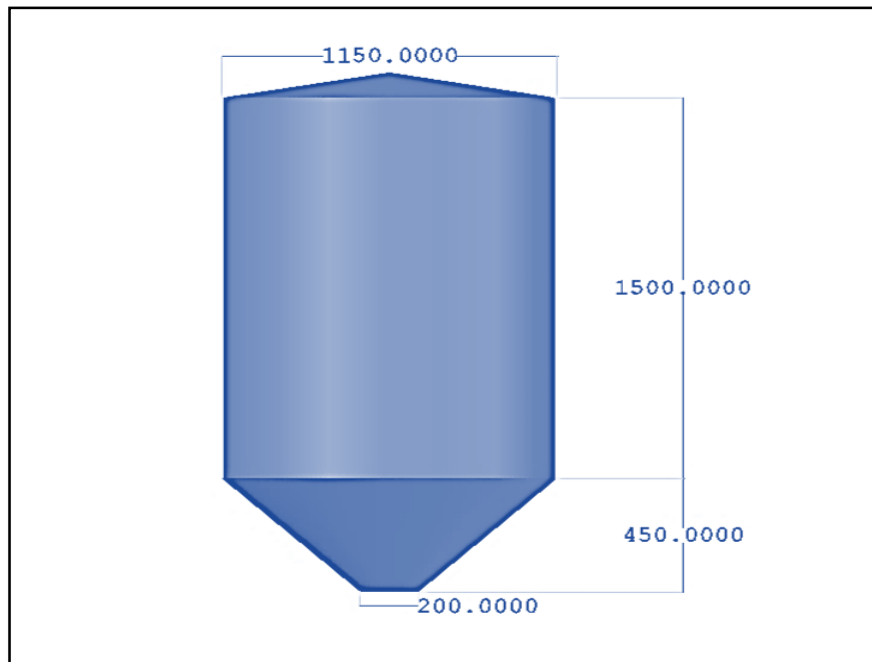
$$N = \frac{0,7 \times 85}{2,6}$$

$$N = 22,9 \approx 23$$

### 3.2.6.3 Cálculos para el tanque floculador con agitación

Las fórmulas utilizadas se basan en lo descrito por Metcalf & Eddy (1995).

- **Volumen del Tanque floculador**



**Figura 3-3:** Dimensiones del tanque floculador (mm)

Realizado por: Juan Viñán

El tanque floculador en la Curtiduría José Laura se encuentra en óptimas condiciones, ya que se lo adquirió anteriormente con el propósito de comenzar un tratamiento, sin embargo, el estudio para la implementación de este no ha sido exitoso, es por lo que se lo integra en este rediseño, para prevenir el costo de este equipo ya existente.

Las dimensiones del tanque se indican a continuación:

**Tabla 17-3:** Dimensiones del tanque floculador

Medida	Unidad	Valor
Altura total	m	1,95
Altura de cono	m	0,5
Radio superior	m	0,75
Radio inferior	m	0,10

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

Para poder completar el proceso de floculación de las partículas suspendidas en el agua residual, es necesario el apoyo de un agitador de paletas, el cual se diseñará en base a las medidas del tanque floculador.

$$V_C = (\pi \times R^2 \times (H - h)) + \frac{\pi}{3} \times h \times (R^2 + r^2 + R \times r)$$

Ecuación 9

Donde:

$V_C$ : Volumen del floculador ( $m^3$ )

R: Radio superior (m)

r: Radio inferior (m)

H: Altura total (m)

h: Altura de cono (m)

$$V_C = (\pi \times (0,575 \text{ m})^2 \times (1,95 \text{ m} - 0,45 \text{ m})) + \frac{\pi}{3} \times (0,45 \text{ m}) \times ((0,575 \text{ m})^2 + (0,10 \text{ m})^2 + 0,575 \text{ m} \times 0,10 \text{ m})$$

$$V_C = 1,75 \text{ m}^3$$

- **Gradiente de velocidad**

$$G = 0,25 \times n^{1,25}$$

Ecuación 10

Donde:

G: Gradiente de velocidad (1/s)

n: velocidad de giro de las paletas (rpm)

Se toma el valor de 700 rpm por ser el máximo para la mezcla del coagulante con el agua residual.

$$G = 0,25 \times 700^{1,25}$$

$$G = 900 \text{ s}^{-1}$$

**Tabla 18-3:** Valores de G para mezclado

	<b>Tiempo de retención</b>	<b>Intervalo del valor de G (s<sup>-1</sup>)</b>
Operación de mezcla rápida	5 – 20 s	250 – 1500
Mezcla rápida en proceso de filtración de contacto	≤ 5 s	1500 - 7500
Proceso de floculación típico	10 – 30 min	20 - 80
Floculación en proceso de filtración de contacto	2 – 5 min	30 - 150

**Fuente:** Adaptado de (Metcalf & Eddy, 1995, p.245)

**Realizado por:** Juan Viñán, 2019.

- **Cálculo de la potencia del mezclador**

$$W_M = G^2 \times \mu \times V_c$$

Ecuación 11

Donde:

$W_M$ : Potencia del mezclador (W)

G: Gradiente de velocidad (1/s)

$V_c$ : Volumen del floculador (m<sup>3</sup>)

$\mu$ : Viscosidad dinámica (N.s/m<sup>2</sup>)

$\rho$ : Densidad (kg/m<sup>3</sup>)

**Tabla 19-3:** Datos adicionales del agua residual

$\mu$ (N.s/m <sup>2</sup> )	0,0015
$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	1090

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

$$W_M = (900 \text{ s}^{-1})^2 \times 0,0015 \text{ N.s/m}^2 \times 1,75 \text{ m}^3$$

$$W_M = 2126 \text{ W}$$

$$W_M \approx 3 \text{ hp}$$

- **Cálculo del área transversal de las paletas**

$$A_M = \frac{2 \times W_M}{C_D \times \rho_{AR} \times V_p}$$

Ecuación 12

Donde:

$C_D$ : Coeficiente de resistencia al avance de paletas

$V_p$ : Velocidad relativa de las paletas respecto del fluido (m/s)

$W_M$ : Potencia del mezclador (W)

$A_M$ : Área transversal (m<sup>2</sup>)

$\rho_{AR}$ : Densidad del líquido (kg/m<sup>3</sup>)

$$A_M = \frac{2 \times 2126 \text{ W}}{1,8 \times 1090 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 1,75 \text{ m}^3}$$

$$A_M = 1,2 \text{ m}^2$$

#### 3.2.6.4 Cálculos de la potencia de la bomba para transporte de agua residual desde las piscinas al floculador

- **Cálculo del diámetro de la tubería**

Las fórmulas utilizadas se basan en lo descrito por Metcalf & Eddy (1995).

Para este cálculo se considera la velocidad de 2 m/s por ser el límite para no generar demasiadas pérdidas por fricción y el caudal para llenar en 2 minutos el tanque floculador de 1.75 m<sup>3</sup>.

$$\frac{1.75 \text{ m}^3}{120 \text{ s}} = 0,015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$d = \sqrt{\frac{Q \times 4}{v \times \pi}}$$

Ecuación 13

Donde:

Q: Caudal de salida (m<sup>3</sup>/s)

d: Diámetro de la tubería (m)

v: Velocidad final (m/s)

$$d = \sqrt{\frac{Q \times 4}{2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times \pi}}$$

$$d = 0,098 \text{ m}$$

Transformando a pulgadas

$$d = 0,098 \text{ m} \times \frac{39,3701 \text{ in}}{1 \text{ m}} = 3,9 \text{ in} \approx 4 \text{ in}$$

- **Cálculo del número de Reynolds**

$$N_{\text{Re}} = \frac{v \times d \times \rho}{\mu}$$

Ecuación 14

Donde:

N<sub>Re</sub>: Número de Reynolds

d: Diámetro de la tubería (m)

v: Velocidad final (m/s)

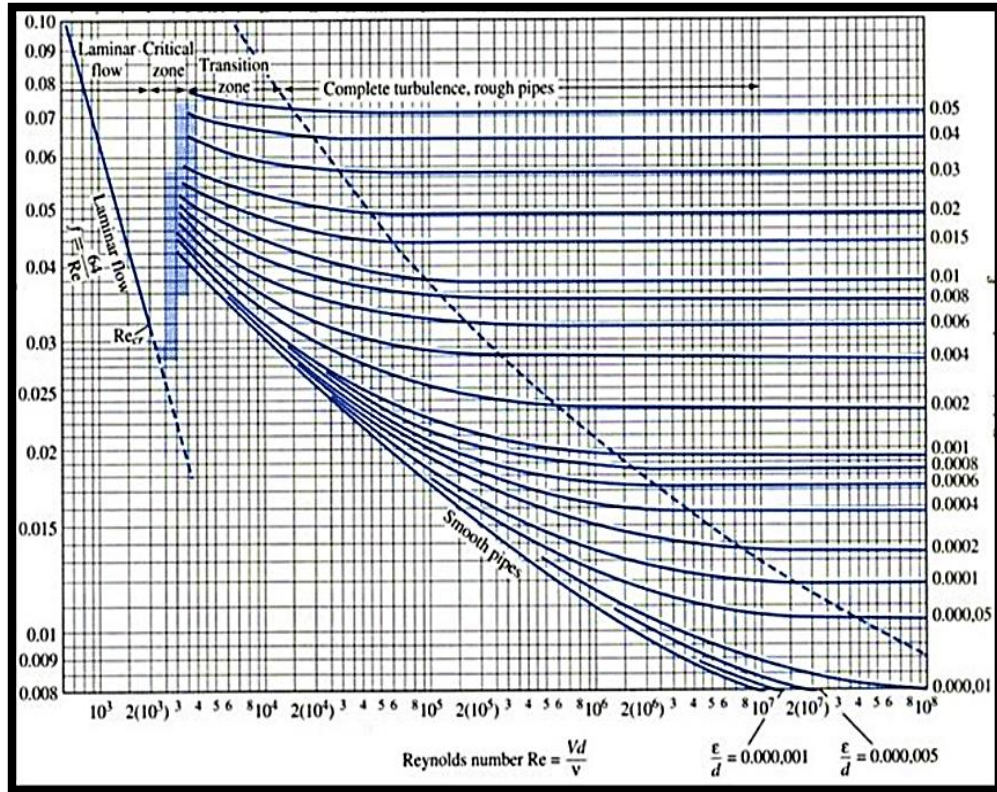
ρ: Densidad del líquido (kg/m<sup>3</sup>)

μ: Viscosidad dinámica (kg/m.s)

$$N_{\text{Re}} = \frac{2 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0,0962 \text{ m} \times 1090 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,0015 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}}$$

$$N_{Re} = 139\,810,7$$

- *Cálculo del factor de fricción*



**Figura 4-3:** Diagrama de Moody

Fuente: Rodrigues (2017)

$$\left. \begin{array}{l} N_{Re} = 128\,266,7 \\ k/d = 2,6 \times 10^{-5} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Carta de} \\ \text{Moody} \end{array}$$

$$f = 0,0175$$

Donde:

f: factor de fricción

$\epsilon/d$ : Coeficiente de rugosidad relativa de un material



- *Cálculo de la constante de accesorios necesarios*

**Tabla 20-3:** Valor de k de los accesorios requeridos

Accesorio	Constante (k)
Codo estándar 90°	0,90

Realizado por: Juan Viñán, 2019

$$k = 3 \times 0,9 = 2,70$$

Donde:

k: Constante de accesorios

- *Cálculo de las pérdidas por fricción*

$$\sum h_f = h_{fL} + h_{fm}$$

Ecuación 15

$$h_{fL} = f \times \frac{L \times v^2}{d \times 2 \times g}$$

Ecuación 16

$$h_{fm} = k \times \frac{v^2}{2 \times g}$$

Ecuación 17

Donde:

$h_{fL}$ : Pérdidas primarias (m)

$h_{fm}$ : Pérdidas secundarias (m)

L: Longitud de la tubería (m)

D: Diámetro de la tubería (m)

f: Factor de fricción

k: Constante de accesorios

$$h_{fL} = 0,0175 \times \frac{6 \text{ m} \times \left(2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{0,0962 \text{ m} \times 2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$h_{fL} = 0,22 \text{ m}$$

$$h_{fm} = 2,70 \times \frac{2^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}}$$

$$h_{fm} = 0,55 \text{ m}$$

$$\sum h_f = 0,22 \text{ m} + 0,55 \text{ m}$$

$$\sum h_f = 0,77 \text{ m}$$

- **Cálculo de altura de carga**

$$\pm H = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot g} + (Z_2 - Z_1) + \sum h_f$$

Ecuación 18

Donde:

$P_1$ : Presión inicial (Pa)

$P_2$ : Presión final (Pa)

$v_1$ : Velocidad inicial (m/s)

$v_2$ : Velocidad final (m/s)

$Z_1$ : Altura inicial (m)

$Z_2$ : Altura final (m)

$\pm H$ : Altura de carga de la bomba (m)

$\sum h_f$ : Sumatoria de pérdidas por fricción (m)

$g$ : aceleración gravitacional ( $m/s^2$ )

$\rho$ : densidad del líquido ( $kg/m^3$ )

$$\pm H = 0 + \frac{\left(2 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} + (3 \text{ m} - 0) + 0,77 \text{ m}$$

$$\pm H = 3,97 \text{ m}$$

- **Cálculo de la potencia de la bomba**

$$P_b = \frac{\pm H \times Q \times \rho}{75 \times \varepsilon}$$

Ecuación 19

Donde:

Pb: Potencia de la bomba (hp)

ε: Eficiencia de la bomba

Q: Caudal de líquido (m<sup>3</sup>/s)

ρ: densidad del líquido (kg/m<sup>3</sup>)

± H: Altura de carga de la bomba (m)

$$P_b = \frac{3,97 \text{ m} \times 0,015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 1090 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{75 \times 0,75}$$

$$P_b = 1,2 \text{ hp}$$

- *Cálculo del factor de seguridad para la bomba*

$$F_s = 1,2 \text{ Hp} + (1,2 \text{ Hp}) \times 0,3 = 1,56 \text{ hp}$$

Nota: ya que en el mercado se encuentra solo bombas con potencias estándar, **se selecciona la potencia de 2 Hp** por su cercanía a ella.

### 3.2.7 Resultados del dimensionamiento de equipos

**Tabla 21-3:** Características para construcción del sistema de aireación

Dimensiones del difusor en el Anexo A y Anexo B	
Caudal de aire	80 $\frac{\text{m}^3 \text{ de aire}}{\text{h}}$
Diámetro de orificios para el difusor	0,003 m
Número de orificios para el difusor	23
Diámetro de tubería	3 in
Potencia del compresor	1 hp
Material de tubería	Hierro galvanizado
Difusor	Hierro galvanizado

Realizado por: Juan Viñán, 2019

**Tabla 22-3:** Características necesarias para el sistema de bombeo de agua

<b>Caudal de agua</b>	0,015 $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$
<b>Diámetro tubería</b>	4 in
<b>Material de tubería y accesorios</b>	PVC
<b>Potencia de la Bomba</b>	2 hp

Realizado por: Juan Viñán, 2019

**Tabla 23-3:** Dispositivo diseñado para el tanque floculador

<b>Volumen del tanque floculador</b>	1,75 m <sup>3</sup>
<b>Material del tanque floculador</b>	Polietileno
<b>Potencia del mezclador</b>	3 hp
<b>Área transversal de las paletas</b>	1,2 m <sup>2</sup>
<b>Forma de la paleta</b>	Rectangular con 4 pares de paletas
<b>Altura de la paleta</b>	0,3 m
<b>Ancho de la paleta</b>	1 m
<b>Material del sistema de agitación</b>	Hierro galvanizado

Realizado por: Juan Viñán, 2019

### 3.3 Procesos de producción

#### 3.3.1 *Químicos necesarios para el proceso de producción*

Los insumos necesarios para el buen funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales son cuatro: PAC, floculante aniónico, cal y sulfato de manganeso.

Cada uno tiene una función específica dentro de los subprocesos que intervienen en el tratamiento de aguas residuales de esta curtiembre.

- PAC: Estos compuestos son necesarios para inducir la desestabilización de las partículas suspendidas de las aguas residuales, las mismas que por sus características elevan la DBO y DQO.
- Floculante aniónico: Es un polielectrolito, que interviene en la floculación, ayudando a aglomerar las partículas después de la coagulación, para así obtener una clarificación del agua residual de forma instantánea.

- Cal: Por medio de uso de este compuesto altamente básico, se consigue aumentar el pH de las aguas residuales de la etapa de curtido y post-curtido hasta un pH adecuado para conseguir la precipitación del cromo y su separación dentro de los lodos formados.
- Sulfato de manganeso: Esta sal se caracteriza por facilitar la reacción que tiene lugar en el proceso de oxidación de iones sulfuro hasta la conversión a iones sulfato. Es por lo que esta se utiliza en las aguas residuales de pelambre para reducir la concentración de sulfuros.

### ***3.3.2 Procedimiento de operación***

La planta de tratamiento de aguas residuales de la Curtiduría José Laura tendrá un sistema de operación que divide el agua residual procedente de los procesos de ribera y curtido en dos caminos diferentes para su tratamiento, de modo que no se mezclen estos efluentes hasta después de su tratamiento. Esto se realiza con el fin de mantener al final del tratamiento las características necesarias del agua para que puedan ser parte nuevamente del respectivo proceso del que vinieron. Todo ello se realizará utilizando en lo posible los mismos equipos para el tratamiento, para no generar mayor espacio ocupado y mayores costos de implementación a la empresa. A continuación, se enumera los pasos que intervienen en el tratamiento de aguas residuales.

Tratamiento de agua residual procedente de ribera:

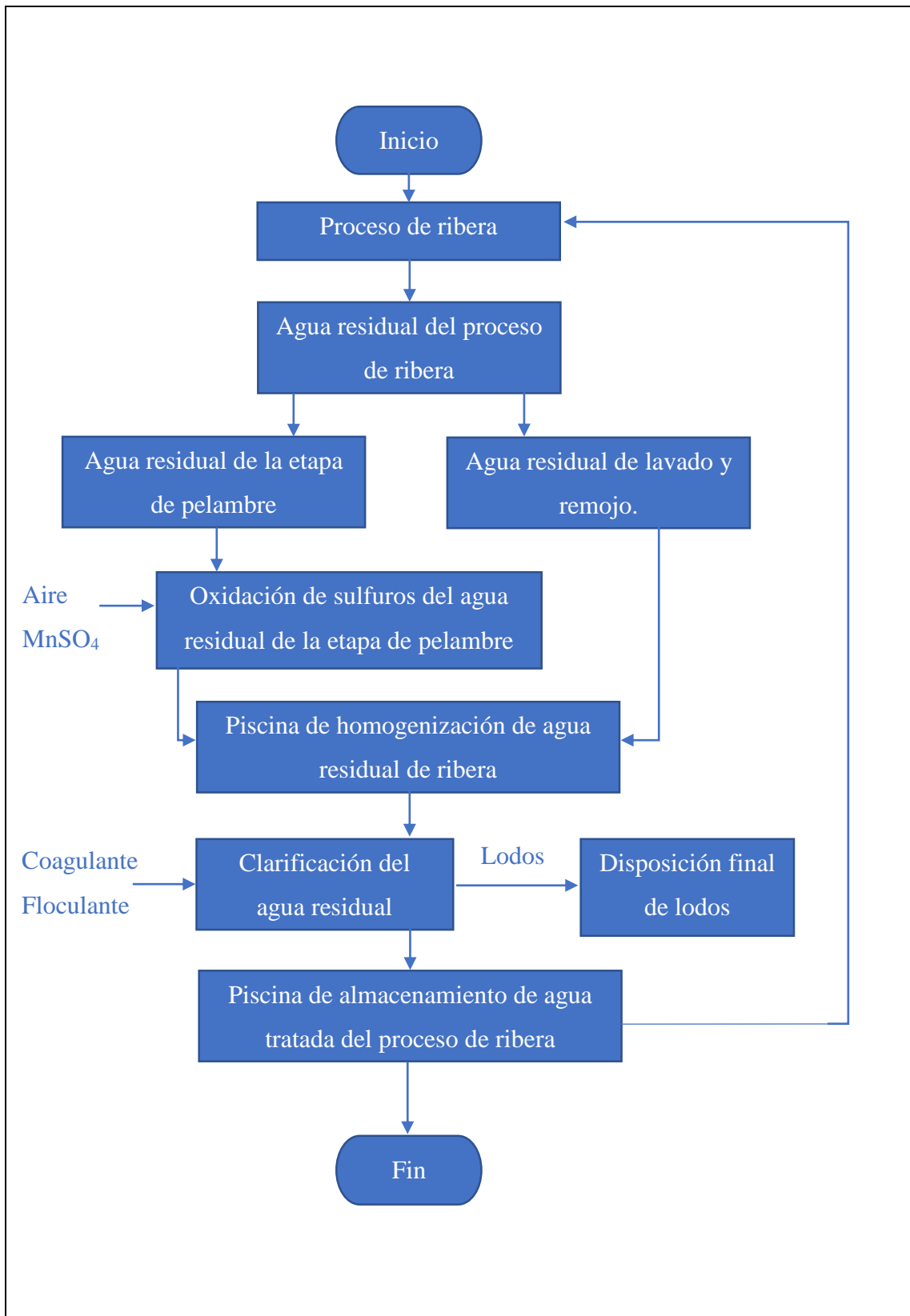
1. El agua residual procedente del proceso de ribera se la divide en dos. Por un lado, se da el tratamiento para la oxidación de sulfuros procedentes de la etapa de pelambre y, por otro lado, se transporta el agua residual procedente de las demás etapas de ribera.
2. La etapa de pelambre en la curtiduría José Laura se la realiza en una piscina que mantiene las pieles sumergidas en una solución donde se adiciona el sulfuro de sodio para la ejecución de esta parte del proceso. Producto de ello el agua residual contiene una concentración elevada de sulfuros, los cuales requieren ser oxidados para transformarlos en un compuesto menos perjudicial para la salud como es el sulfato. Aprovechando que este residuo líquido se encuentra en una piscina, lo que brinda la facilidad de instalar un difusor de aire conectado a un compresor y añadiendo sulfato de manganeso como catalizador se lo mantiene por 6 horas con el aire burbujeando desde su interior.
3. Después de haber sido sometido al primer tratamiento para eliminación de sulfuros y junto al agua residual procedente de las demás etapas del proceso de ribera se las dirige

hacia una piscina que las homogenizará, hasta el momento del tratamiento para su clarificación.

4. Posteriormente se transporta el agua homogenizada hacia el tanque floculador que la tratará en un sistema por lotes, ya que su capacidad es 1,75 m<sup>3</sup>. Cuando el tanque se ha llenado se procede a agitar el líquido por medio del encendido del equipo de mezclado y con las revoluciones a su máxima capacidad se añade el coagulante que desestabilizará las partículas suspendidas, dejándolo girar por un minuto. Después se añade el floculante y se reduce la velocidad de las paletas hasta su mínimo, para que se aglomere las partículas suspendidas para conseguir formar los flocs que por su peso descienden hasta el fondo del tanque floculador, de modo que se forme un lodo en la base del tanque.
5. El agua clarificada se envía a otra piscina que la contendrá hasta el momento que se requiera para los lavados de las pieles que se encuentran en el proceso.

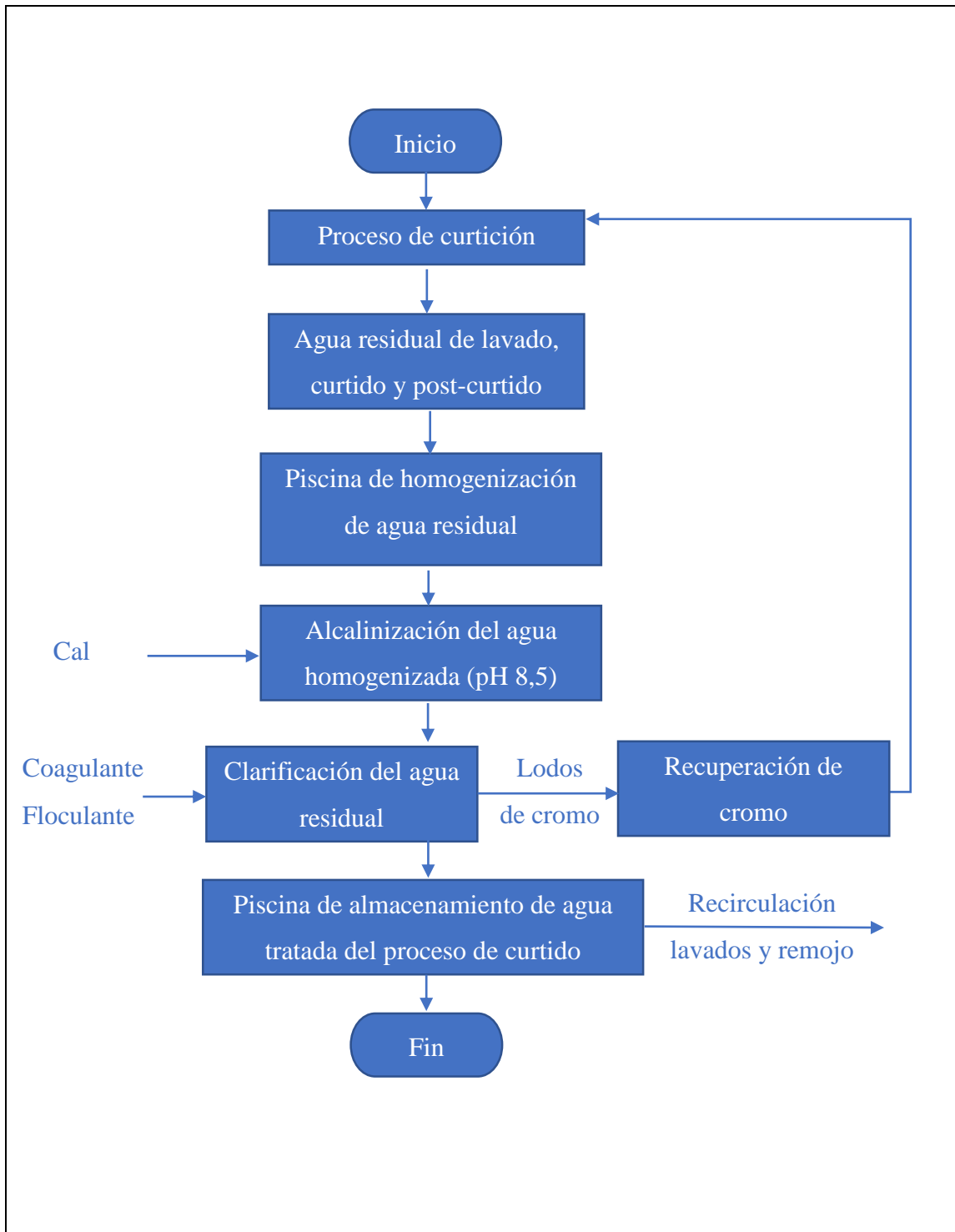
#### Tratamiento de aguas residuales del proceso de curtido:

1. El proceso de curtido tiene como producto no deseado el cromo en su efluente. Para separar la mayor cantidad de este elemento se direcciona el agua residual procedente de la etapa de lavados, curtido y post-curtido hacia una piscina que las homogenizará hasta el momento de su tratamiento.
2. El agua residual procedente de lavados, curtido y post-curtido se alcaliniza hasta un pH de 8,5 y posteriormente, se la transporta hasta el tanque floculador para su tratamiento y se llena hasta su máxima capacidad.
3. Del mismo modo, como el paso 4 del anterior proceso se añade el coagulante en la concentración indicada anteriormente más una alta velocidad de las paletas y el floculante con una baja velocidad de estas para promover la formación de los flocs. Con ello se conseguirá que el cromo y las demás partículas suspendidas en el agua formen un lodo al fondo del floculados, el mismo que por su cantidad de este elemento se lo puede recuperar.
4. Finalmente, el agua clarificada se envía a una piscina que la almacenará hasta su requerimiento en alguna de las etapas del proceso de curtido.



**Gráfico 3-3:** Diagrama de flujo del tratamiento de aguas residuales del proceso de ribera

Realizado por: Juan Viñán, 2019



**Gráfico 4-3:** Diagrama de flujo del tratamiento de aguas residuales del proceso de curtido

Realizado por: Juan Viñán, 2019



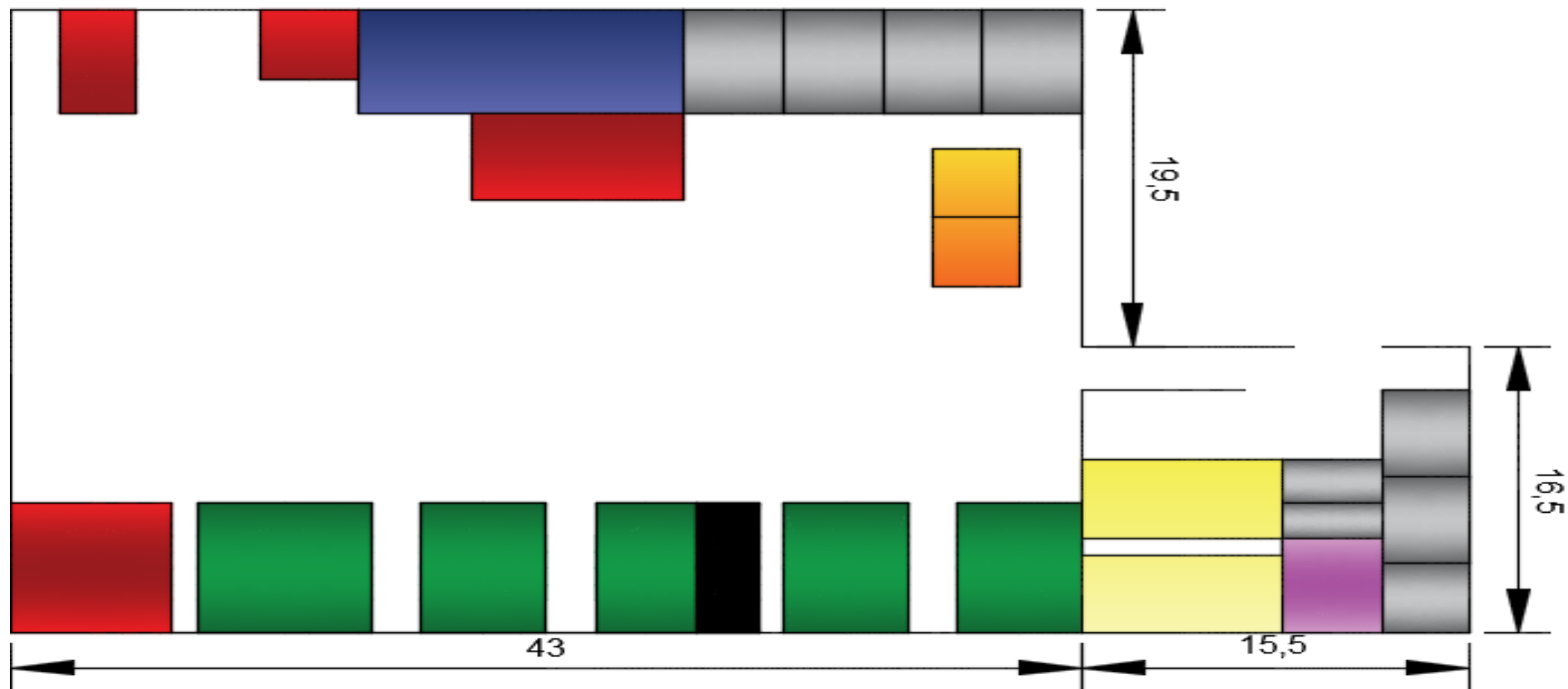
### ***3.3.3 Descripción de la distribución de la planta de tratamiento***

La Curtiduría José Laura tiene una distribución de las áreas de proceso ya establecidas, en la cual se detectó que existen varias piscinas, algunas de las cuales no se están ocupando, es por lo que se ha propuesto el aprovechamiento de estos espacios para así realizar un proyecto que las incluya para obtener un resultado final con costos más bajos.

De este modo no se hará modificaciones en su distribución espacial, más que para establecer un lugar donde descansará el tanque floculador, el mismo que por las condiciones del proceso en que interviene se necesita la cercanía a las piscinas de almacenamiento de las aguas residuales y las piscinas para el almacenamiento de las aguas después de su tratamiento.

Los bombos antiguos que se encuentran marcados de color amarillo en la Figura 4-3, será retirados para conseguir el área necesaria para el tanque floculador. En cuanto al transporte de los líquidos residuales y tratados que se generan se lo realizará por medio de tuberías y bombas que los impulsen.

- Piscina vacía
- Piscina de almacenamiento de agua de proceso
- Piscina de pelambre
- Piscina de almacenamiento de agua residual de curtido
- Bombos de proceso
- Bombos antiguos
- Otros



**Figura 5-3:** Diagrama de distribución de la Curtiduría José Laura

Realizado por: Juan Viñán

### 3.4 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

Los materiales y equipos necesarios se resumen en la siguiente tabla con las características necesarias para su adquisición.

**Tabla 24-3:** Requerimiento de equipos y materiales para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales

Materiales/Equipo	Característica	Capacidad	Costo	Observación
Tubería	PVC	4 in	7,00 USD/m	
Codos	PVC	4 in	5,50 USD/U	
Tubería	Hierro galvanizado	3 in	28,00 USD/m	
Codos	Hierro galvanizado	3 in	6,00 USD/U	
Válvula antirretorno	Hierro galvanizado	3 in	20,00 USD/U	
Paletas	Hierro galvanizado	1,7 m <sup>2</sup>	50,00 USD/U	
Difusor circular	Hierro galvanizado	-	75,00 USD/U	
Tanque floculador	PE	1,75 m <sup>3</sup>	0	Existente
Vaso de precipitación	Vidrio	1 L	15,00 USD/U	
Pipeta	Vidrio	10 mL	8,00 USD/U	
Agitador	Vidrio	15 cm	3,50 USD/U	
Compresor	-	1 hp	0,00	Existente
Motor eléctrico para mezclador	-	3 hp	135,00 USD/U	
Bomba	-	2 hp	255,00 USD/U	
Balanza	Digital	-	35,00 USD/U	
Medidor de pH	-	-	15,00 USD/U	

Realizado por: Juan Viñán, 2019

### 3.5 Análisis de costo/beneficio del proyecto

El rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la Curtiduría José Laura y su implementación beneficia a la empresa en cuanto a evitar fuertes multas de parte de organismos de control ambiental que se extienden a cifras que van en torno a 3 o 4 dígitos, pero también representa un beneficio más allá de las ganancias monetarias que este proyecto representa, el beneficio que nace de la voluntad propia hacia el cuidado del ambiente y que con ello viene el cuidado a la vida.

A continuación, se muestra los costos de implementación y funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales.

**Tabla 25-3:** Costo del rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales

	Rubro	Cantidad	Medida	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
<b>Materiales</b>					
1	Tubería de PVC	20	4 in	7,00	140,00
2	Codos de 90° de PVC	6	4 in	5,50	33,00
3	Tubería de hierro galvanizado	10	3 in	28,00	280,00
4	Codos de hierro galvanizado	3	3 in	6,00	18,00
5	Válvula antirretorno	1	3 in	20,00	20,00
6	Paleta de hierro galvanizado	1	1.7 m <sup>2</sup>	50,00	50,00
7	Difusor de hierro galvanizado	1	-	75,00	75,00
8	Tanque floculador	1	1.75 m <sup>3</sup>	0,00	0,00
9	Vaso de precipitación	2	1000 mL	15,00	30,00
10	Pipeta	2	10 mL	8,00	16,00
11	Agitador	2	10 cm	3,50	7,00
<b>Equipos</b>					
12	Compresor	1	1 hp	0,00	0,00
13	Motor eléctrico para mezclador	1	3 hp	135,00	135,00
14	Bomba	2	2 hp	255,00	510,00
15	Balanza	1	-	35,00	35,00
17	Medidor de pH	1	-	15,00	15,00
<b>Otros</b>					
18	Mano de obra para construcción		-		500,00
<b>Estimación del Precio Total</b>					1864,00

Realizado por: Juan Viñán, 2019

**Tabla 26-3:** Costo de insumos por mes para el tratamiento de agua residual

Insumo	Caudal por tratar (L/mes)	Concentración media utilizada (mg/L)	Precio unitario (USD/kg)	Cantidad (kg/mes)	Precio total (USD/mes)
PAC o MnSO <sub>4</sub>	252 000	50	1,15	12,60	14,49
Floculante aniónico	252 000	8	6,50	2,02	13,13
Cal p24	16 000	4000	0,30	64	19,20
Sulfato de manganeso	16 000	1000	1,20	16	19,20
Total					66,02 USD/mes

Realizado por: Juan Viñán, 2019

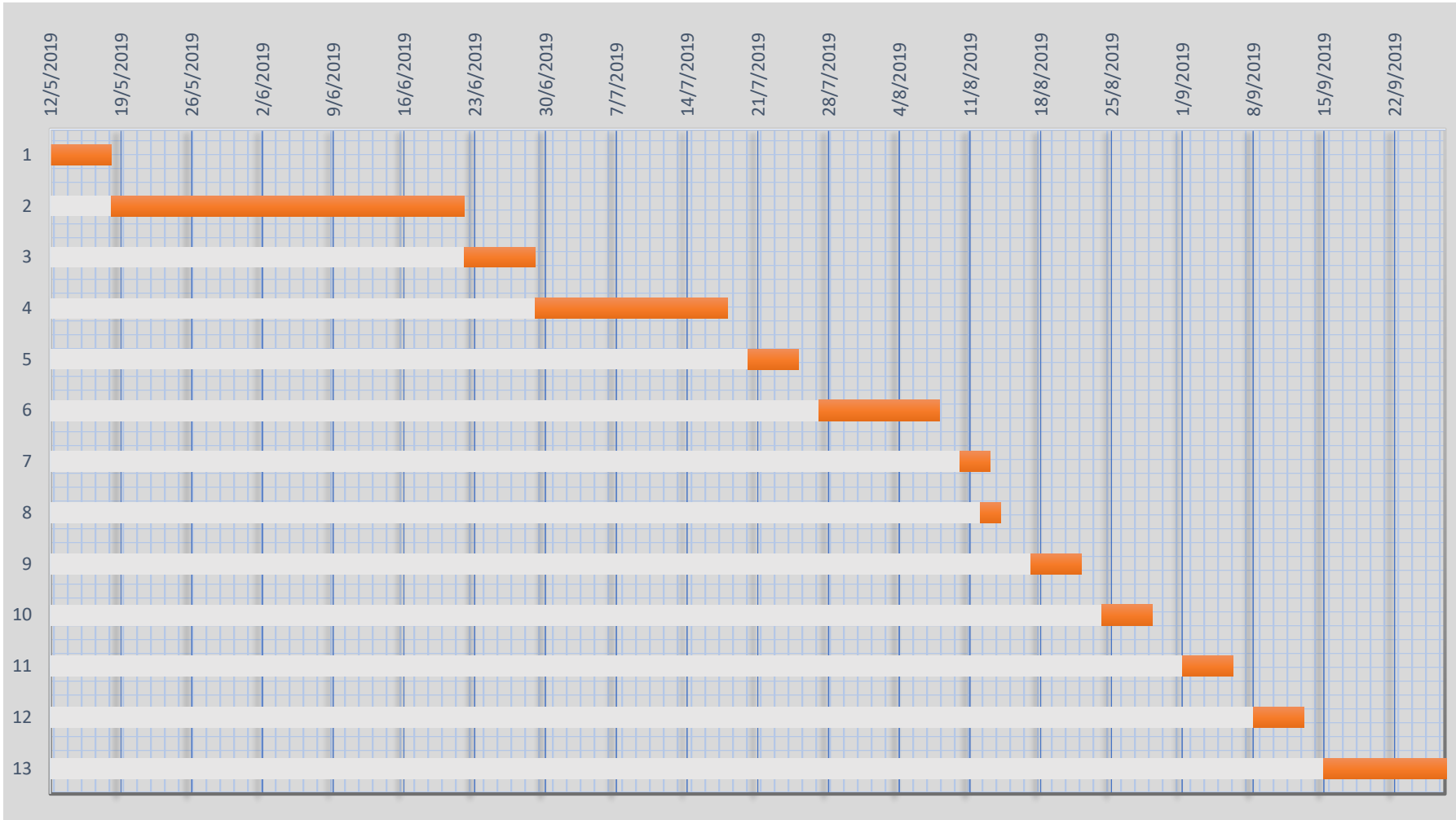
### 3.6 Cronograma de ejecución del proyecto

A continuación, se presenta las actividades a realizar para la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales en la curtiduría José Laura con las variantes propuestas en el rediseño que se realizó en este proyecto, como se indica en la tabla y el diagrama de Gantt para el cronograma de este proyecto.

**Tabla 27-3:** Cronograma de ejecución para la instalación del sistema de tratamiento de aguas residuales

	<b>Actividad</b>	<b>Fecha de inicio</b>	<b>Fecha final</b>
1	Caracterización de aguas residuales	11/05/2019	18/05/2019
2	Pruebas de Jarras	18/05/2019	21/06/2019
3	Caracterización de aguas residuales después del tratamiento	22/06/2019	28/06/2019
4	Adquisición de materiales para la construcción de la planta de tratamiento	29/06/2019	19/07/2019
5	Adquisición de insumos para el tratamiento de aguas residuales	20/07/2019	26/07/2019
6	Instalación del sistema de aireación	27/07/2019	09/08/2019
7	Instalación del tanque floculador	10/08/2019	11/08/2019
8	Instalación del sistema de agitación	12/08/2019	16/08/2019
9	Instalación del sistema de bombeo de agua	17/08/2019	23/08/2019
10	Prueba del sistema de tratamiento de aguas residuales instalado en la curtiduría José Laura	24/08/2019	31/08/2019
11	Caracterización del agua residual tratada en la curtiembre	01/09/2019	07/09/2019
12	Corrección y ajuste para el cumplimiento de los parámetros de calidad del agua	08/09/2019	14/09/2019
13	Puesta en marcha de la planta de tratamiento	15/09/2019	En adelante

**Realizado por:** Juan Viñán, 2019.



**Gráfico 5-3:** Cronograma de actividades, diagrama de Gantt.

Realizado por: Juan Viñán, 2019.

## CONCLUSIONES

- Se diagnosticó las condiciones iniciales de la planta de tratamiento de aguas residuales existente, donde se determinó que carece de un procedimiento eficiente para la remoción de contaminantes peligrosos específicos de la curtición de pieles (sulfuros y cromo III).
- Se caracterizó el agua residual de los dos efluentes de la Curtiduría José Laura que en su mayoría se encontraron fuera de los límites permisibles para la descarga de líquidos al alcantarillado público, para el efluente de descarga del proceso de ribera se obtuvo los valores de conductividad 27,8 mS/cm, **DBO 13 700 mg/L, DQO 22 200 mg/L**, pH 12,6, SD 20 mg/L, SST 2500 mg/L, ST 4200 mg/L, **sulfuros 1536 mg/L** y turbidez 7430 NTU. En cuanto al efluente de descarga del proceso de curtido se obtuvo los valores de conductividad de 54,2 mS/cm, **cromo hexavalente 0,7 mg/L, cromo trivalente 122,98 mg/L, DBO 6640 mg/L, DQO 14 760 mg/L**, pH 5,1, SD 150 mg/L, SST 1000 mg/L, ST 2280 mg/L y turbidez 3820 NTU.
- Se realizó el rediseño y cálculos de ingeniería, donde se incorpora un sistema de tratamiento fisicoquímico enfocado principalmente hacia la remoción de sólidos suspendidos y sedimentables, cromo y sulfuros que resultan de todo el proceso de curtición de pieles y que, con el tratamiento permite una recirculación del agua para lavados y remojo de pieles. Además, se optimizó los espacios de la Curtiduría José Laura, de tal manera que sea implementadas las variantes del rediseño en las instalaciones existentes y con ello, el costo de una planta de tratamiento de aguas residuales con un funcionamiento correcto sea mucho menor a lo esperado.
- Se validó el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la curtiduría José Laura, donde se aplicó los procesos fisicoquímicos propuestos para reducir la concentración de los contaminantes, con los cuales se obtuvo rendimientos que en su mayoría superan el 90% de la remoción de estos, sin embargo, las aguas tratadas se recircularán para los procesos de lavados y remojo con el fin de evitar su descarga al alcantarillado público ya que los sulfuros no se encuentran dentro del límite máximo permisible de la legislación ambiental para descarga al alcantarillado público.

## RECOMENDACIONES

- Programar el mantenimiento una vez cada año de todo lo que conforma la planta de tratamiento de aguas residuales, después de ser implementados los equipos. Además, controlar el buen funcionamiento de la planta mediante la realización de análisis fisicoquímicos.
- Reutilizar el agua del proceso de ribera después de su tratamiento en el lavado de pieles y equipos correspondientes a esta parte del proceso. Del mismo modo, utilizar el agua tratada del proceso de curtido en el lavado de pieles y equipos de proceso.
- Como futura investigación para la reutilización de los lodos de cromo de curtiduría José Laura se puede implementar la recuperación de cromo procedente de los lodos del agua residual de curtido y la producción de abono a partir del lodo procedente del agua residual de ribera, junto con los trozos de piel producto del mismo proceso. Mientras se considera esta recomendación, se debe secar los lodos para su posterior envío a un relleno sanitario.
- Almacenar el coagulante, floculante, cal y sulfato de manganeso en recipientes cerrados, de modo que la humedad no los afecte y etiquetarlos correctamente. Además, contar con un lugar específico para la preparación de las soluciones de estos, donde se cuente con los equipos necesarios para llevarlo a cabo.
- Mejorar la señalética de la curtiduría, almacenar correctamente y etiquetar las materias primas utilizadas para la curtición de pieles.
- Se recomienda realizar estudios más avanzados para la oxidación de sulfuros, ya que existe una reducción superior al 90% en la concentración inicial, sin embargo, no cumple con la norma para descarga al alcantarillado público de 1 mg/L. Un punto de partida es la oxidación con peróxido de hidrógeno.



## GLOSARIO

°C	Grado Celsius.
ADN	Ácido desoxirribonucleico
Art	Artículo
cm	centímetro
Cr	Elemento químico cromo
Cr (OH) <sub>3</sub>	Hidróxido de cromo (III)
Cr <sup>+3</sup>	Ion cromo (III)
Cr <sup>+6</sup>	Ion cromo (VI)
Cr <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Sulfato de cromo (III)
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
ft <sup>3</sup>	Pie cúbico
g	Gramo
g	Gravedad
h	Altura
H <sub>2</sub> S	Ácido sulfhídrico
hp	Caballo de fuerza
in	Pulgada
K	Grado Kelvin
kg	Kilogramo
L	Litro
m	Metro
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
m/s	Metro por segundo
m/s <sup>2</sup>	Metro por segundo cuadrado
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
mg	Miligramo
min	Minuto
mL	Mililitro
MnSO <sub>4</sub>	Sulfato de manganeso
N/m	Newton por metro
Na <sub>2</sub> S	Sulfuro de sodio
NaHS	Sulfuro ácido de sodio
NTU	Unidad de medida de turbiedad
Pa	Pascal
PAC	Policloruro de aluminio
PE	Polietileno

pH	Potencial de hidrógeno
ppm	Partículas por millón
Psi	Libra por pulgada cuadrada
PVC	Policloruro de vinilo
rpm	Revoluciones por minuto
s	Segundos
S <sup>-2</sup>	Ion sulfuro
SD	Sólidos sedimentables
SST	Sólidos suspendidos totales
ST	Sólidos totales
USD	Dólar estadounidense
USD/U	Dólar estadounidense por unidad
W	Watt
$\pi$	Número pi
$\rho$	Símbolo de densidad

## BIBLIOGRAFÍA

ACOSTA, Yaniris. "Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación". *ICIDCA*. [en línea]. 2012, Vol. 46, p. 26-35. [Consulta: 18 marzo 2019]. Disponible en : <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664002>

ASAMBLEA NACIONAL CONSTITUYENTE DEL ECUADOR. "*Constitución de la República del Ecuador*". Ciudad Alfaró, 2008. ISBN 9788578110796. DOI 10.1017/CBO9781107415324.004

BIO ACTIVO-CONSULTORA AMBIENTAL. "*Estudio del impacto ambiental ex post de las actividades de la Curtiduría Artesanal de José Laura*" [en línea]. [S. l.]: [s. n.], 2015. [Consulta: 20 marzo 2019]. Disponible en: <https://maetungurahua.files.wordpress.com/2015/12/esia-curt-jose-laura.pdf>

CAJIAS, Evelyn y VILLABLANCA, Alexis. "Diseño de un desarenador para el pre-filtrado de agua de riego". *Red de Especialistas en Agricultura* [en línea]. 2017. [Consulta: 18 marzo 2019]. Disponible en: <http://agriculturers.com/disenio-de-un-desarenador-para-el-pre-filtrado-de-agua-de-riego/>

CONGRESO NACIONAL DEL ECUADOR. "*Ley de Gestión Ambiental*" [en línea]. 2004. [Consulta: 19 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/07/Ley-de-Gestio-n-Ambiental.pdf>

CONGRESO NACIONAL DEL ECUADOR. "*Ley de prevención y control de la contaminación ambiental*" [en línea]. 2004. [Consulta: 19 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-PREVENCION-Y-CONTROL-DE-LA-CONTAMINACION-AMBIENTAL.pdf>

CONGRESO NACIONAL DEL ECUADOR. "*Ley organica de salud*" [en línea]. 2006. [Consulta: 20 marzo 2019]. Disponible en: [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)

DEL VALLE, Agustín. "Apuntes sobre la elaboración del cuero y su historia: noticias sobre una fábrica de curtir pieles en Algeciras". *Eúphoros* [en línea]. 2006, nº 7, p. 21-34. [Consulta: 20 marzo 2019]. Disponible en: <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1973638>

FERNANDEZ, Alicia. "El agua: un recurso esencial". *Química viva*. [S. l.]: Universidad de Buenos Aires, 2012. ISBN 978-3-319-54456-4. DOI 10.1007/978-3-319-54458-8\_5

GASPAR, Demetrio. "*Algunas consideraciones sobre la presencia de sulfuros metálicos en los áridos*" [en línea]. [s. d.], p. 34. [Consulta: 20 marzo 2019]. Disponible en: <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/1259/1387>

GEODATOS. "*Coordenadas geográficas de Ambato, Ecuador - Latitud y longitud*" [en línea]. 2019. [Consulta: 13 enero 2019]. Disponible en: <https://www.geodatos.net/coordenadas/ecuador/tungurahua/ambato>

GOOGLE. Google Maps. *Google Developers* [en línea]. 2017. [Consulta: 13 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.google.com/maps/place/1°14'13.7%22S+78°35'40.6%22W/@-1.237374,->

78.5951609,262m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x0:0x0!7e2!8m2!3d-1.2371256!4d-78.5946031

GREENPEACE. "*Cueros tóxicos*" [en línea]. Buenos Aires : [s. n.], 2012. [Consulta: 11 noviembre 2018]. Disponible en: <http://www.greenpeace.org/argentina/es/informes/La-contaminacion-viste-a-la-modas/>

GUZMÁN, Katherine y LUJÁN, Marcos. "*Pelambre en el proceso de curtido de pieles*" [en línea]. 2010, Vol. 4, p. 464-492. [Consulta: 20 marzo 2019]. Disponible en: <http://www.scielo.org.bo/pdf/ran/v4n4/v4n4a02.pdf>

MASABANDA, Marco et al. "*Análisis y localización de curtiembres en el cantón Ambato, como parte del patrimonio cultural*". 2017, Vol. II, n° 4, p. 41-56

MÉNDEZ, Ramón. "*Producción limpia en la industria de curtiente*" [en línea]. 2007, marzo, p. 63. ISBN 9788497507967. [Consulta: 20 marzo 2019]. Disponible en: [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=h4h5ZeI3howC&oi=fnd&pg=PA113&dq=flotacion+en+operaciones+unitarias&ots=UPLn1e1Rtr&sig=4NkdqwacxyE0nxSntu2\\_kHIEKk0#v=onepage&q=flotacion+en+operaciones+unitarias&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=h4h5ZeI3howC&oi=fnd&pg=PA113&dq=flotacion+en+operaciones+unitarias&ots=UPLn1e1Rtr&sig=4NkdqwacxyE0nxSntu2_kHIEKk0#v=onepage&q=flotacion+en+operaciones+unitarias&f=false)

METCALF & EDDY. "*Ingeniería de aguas residuales. tratamiento, vertido y reutilización*". 3era éd. Madrid : [s. n.], 1995. ISBN 0 07 041690 7. DOI 10.1036/0070418780

MINISTERIO DE INDUSTRIAS Y PRODUCTIVIDAD DEL ECUADOR. "*Ecuador: modelo a seguir en el crecimiento del sector cuero y calzado*". DCS-B2013- [en línea]. 2013. [Consulta: 9 noviembre 2018]. Disponible en: <https://www.industrias.gob.ec/ecuador-modelo-a-seguir-en-el-crecimiento-del-sector-cuero-y-calzado/>

MINISTERIO DEL AMBIENTE DEL ECUADOR. "*Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua*" [en línea]. 2015. [Consulta: 19 marzo 2019]. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>

MOLINA, Nancy et al. "Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana". *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular*. 2010, Vol. 8, n° 1, p. 77-88. ISBN 1692-8415. DOI 10.19052/SV.831.

PAPP, J. "Chromium Toxicity". *World Review* [en línea]. 2004, Vol. 1993, julio 2000, p. 1-24. [Consulta: 14 marzo 2019]. ISBN 0597838682. Disponible en: [www.cdc.gov/atsdr/index.html](http://www.cdc.gov/atsdr/index.html)

QUISHPE, Ángela et al. "*Tratamiento de efluentes líquidos de la industria de curtido mediante precipitación química, adsorción con carbón activado y rizofiltración*" [en línea]. 2005. [Consulta: 15 marzo 2019]. Disponible en: [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/viewFile/200/pdf](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/viewFile/200/pdf)

RODRIGUES, Luciano. "*Verification of a proposed computational model for an oscillating water column type energy converter considering*". 2017, diciembre. DOI 10.20906/CPS/CILAMCE2017-0607

ROJAS, Ricardo. "Conferencia sistemas de tratamiento de aguas residuales". *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud*. 2002, p. 9. ISBN 9788578110796

RONDAL BALSECA, Julio César. "*Elaboración de un modelo de difusor de aire para tratamiento de aguas*"

[en línea]. [S. l.]: [s. n.], 2018. [Consulta: 20 marzo 2019]. ISBN 0703737627. Disponible en: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/8722/1/UDLA-EC-TIAM-2018-01.pdf>

SALAS, Guillermo. "Eliminación de sulfuros por oxidación en el tratamiento del agua residual de una curtiembre". *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química* [en línea]. 2005a, Vol. 8, p. 49-54. [Consulta: 20 marzo 2019]. Disponible en: [https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista\\_politecnica2/article/viewFile/200/pdf](https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/viewFile/200/pdf)

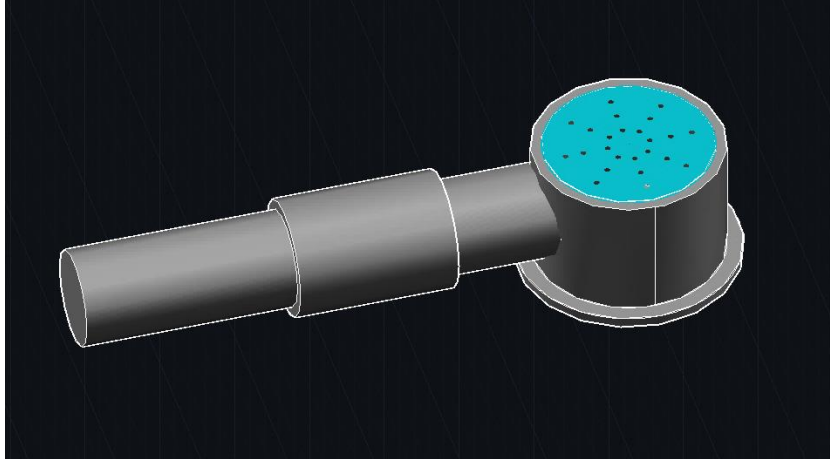
SALAS, Guillermo. "Reuso de cromo en el tratamiento de efluentes de una curtiembre". *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química* [en línea]. 2005b, Vol. 8, n° 2, p. 61-67. [Consulta: 20 marzo 2019]. Disponible en: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/5427/4661>

THE INTERNATIONAL VOLCANIC HEALTH HAZARD. "*Hidrogeno de sulfuro*" [en línea]. 2017. [Consulta: 14 marzo 2019]. Disponible en: <https://www.ivhhn.org/es/guidelines/guia-sobre-gases-volcanicos/hidrogeno-de-sulfuro>

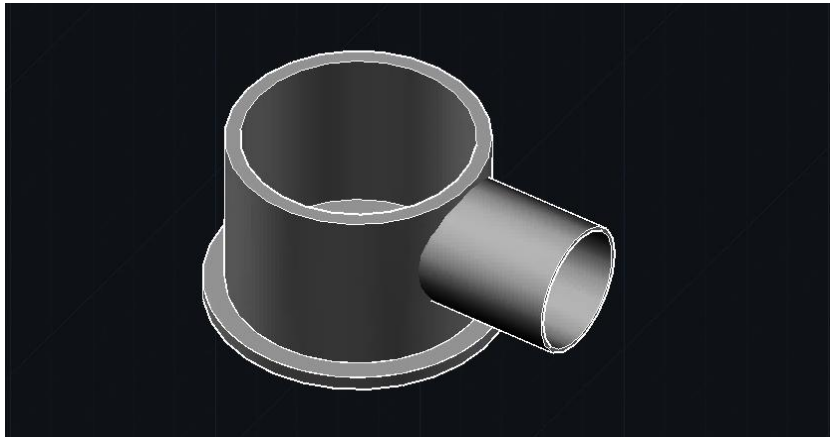
## ANEXOS

### Anexo A: Difusor para la oxidación de sulfuros

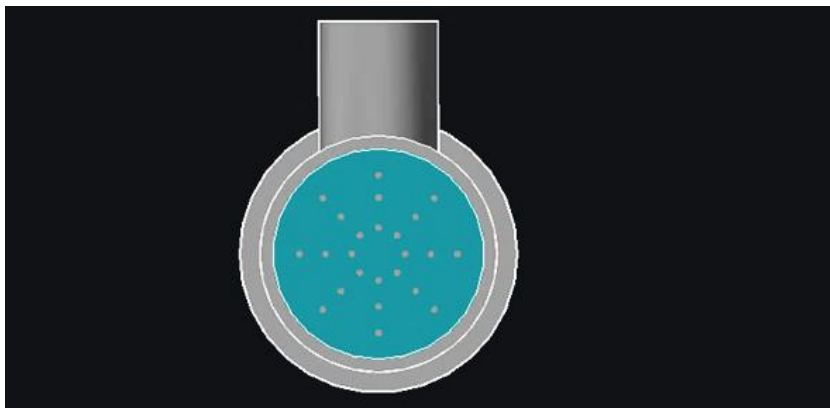
1) Vista del difusor y válvula antirretorno



2) Vista interno del difusor

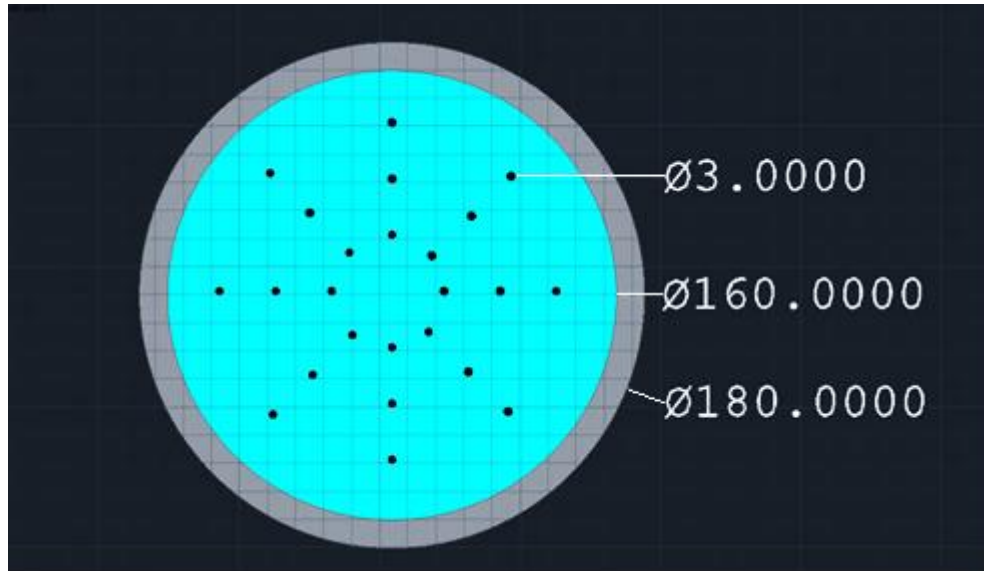


3) Vista de la placa de difusión

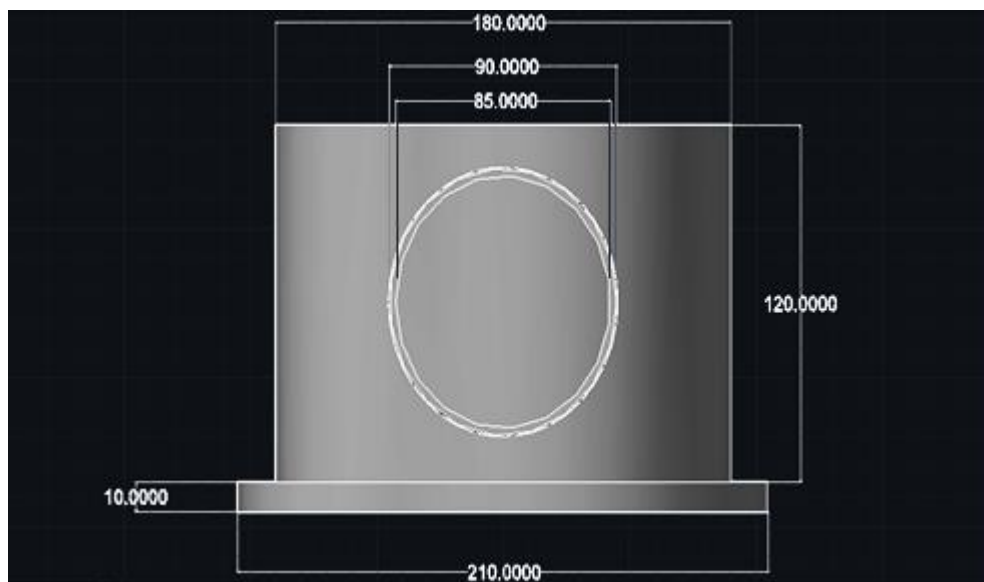


## Anexo B: Dimensiones del difusor

### 1) Dimensiones de la placa de difusión (mm)

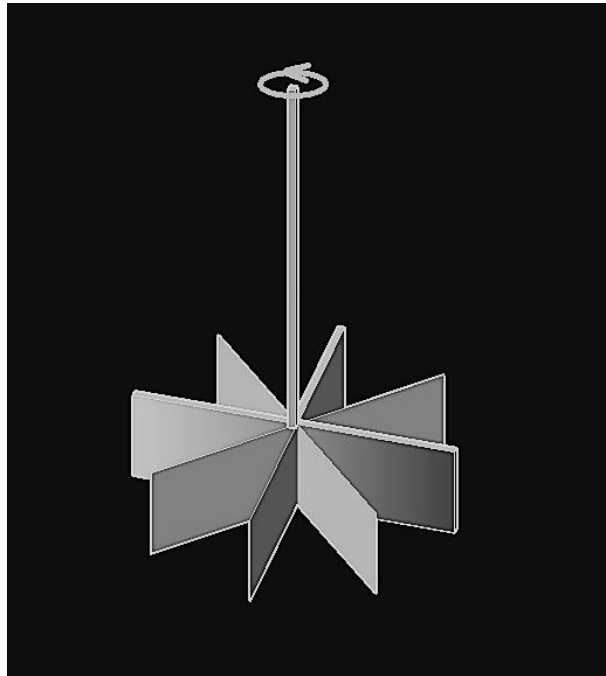


### 2) Dimensiones del difusor (mm)

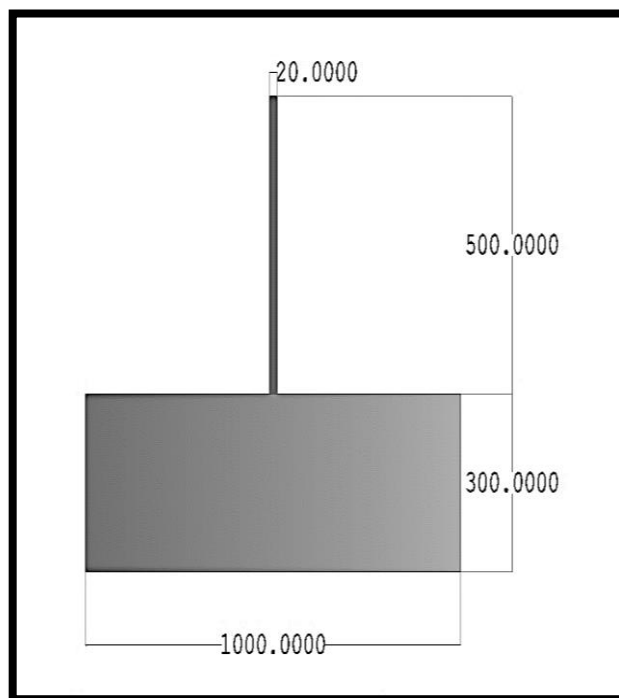


**Anexo C: Dimensiones de la paleta**

a) Vista del dispositivo de agitación

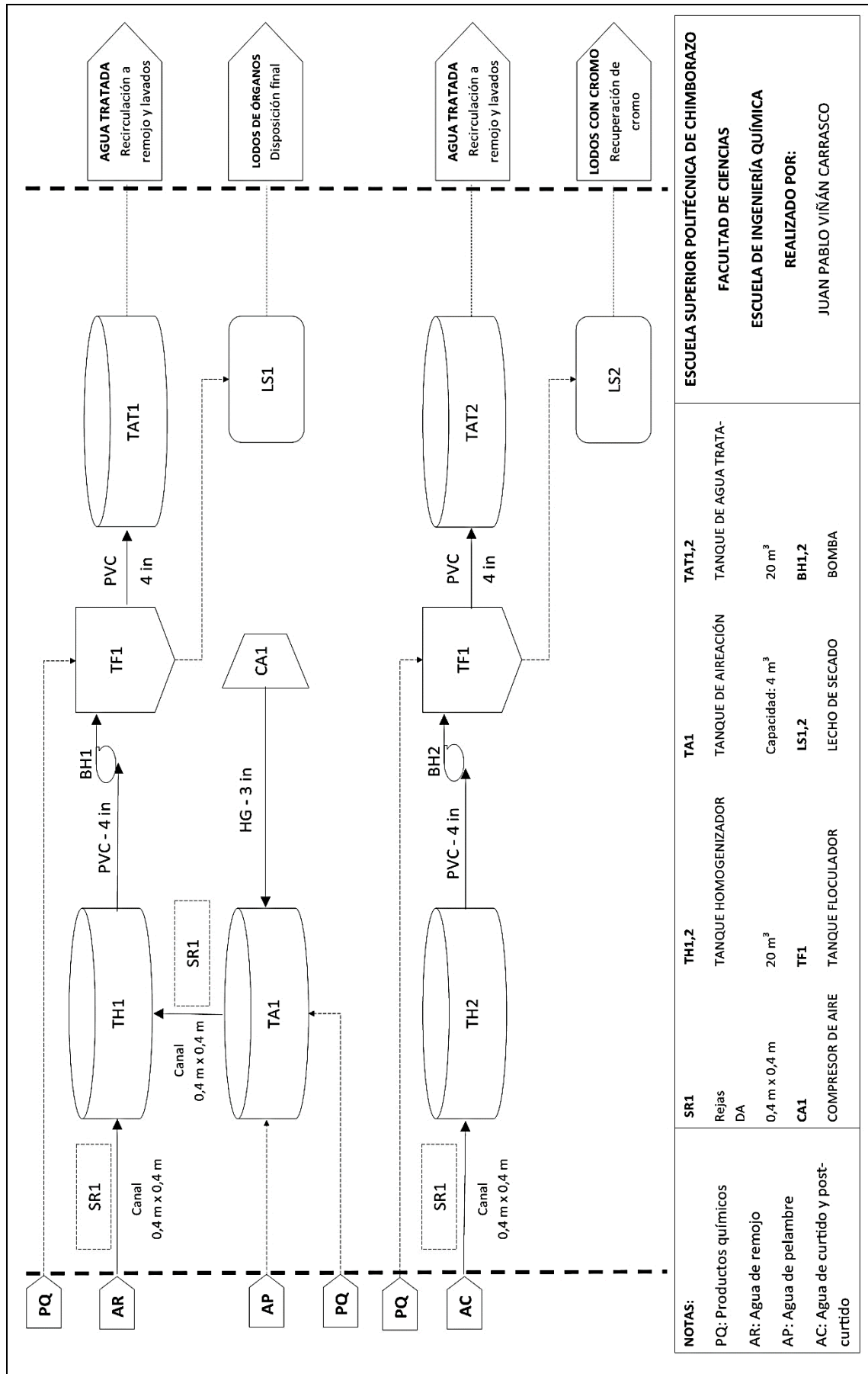


b) Dimensiones para las paletas (mm)





Anexo D: Diagrama P & ID del rediseño de la planta de tratamiento de agua residual



**Anexo E: Informe de análisis de agua residual del proceso de curtido**



# ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS**

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

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Juan Pablo Viñán Carrasco

Fecha de Análisis: 25/06/2019

Tipo de muestras: Agua Residual del Proceso de Curtido, Curtiduría José Laura.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

**TRABAJO DE TITULACION**

Determinaciones	Unidades	*Método	Límites	Resultados
Conductividad	mS/cm	2510-B	-	54,20
pH	Und.	4500-B	6-9	5,10
TDS	mg/L	2540-C	-	1000,00
Turbiedad	NTU	2130-B	-	3820,00
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500,00	14 760,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250,00	6640,00
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	20,00	15,00
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600,00	2280,00

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

\*\*TULSMA.



Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.  
**RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA**



## Anexo F: Informe de análisis de cromo del agua residual del proceso de curtido

	<b>LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES</b>	
Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. OAE LE C 12-006		
N° SE: 075-19		
<b>INFORME DE ANALISIS</b>		
<b>NOMBRE:</b> Juan Pablo Viñán	<b>INFORME N°:</b> 075- 19	
<b>EMPRESA:</b> Proyecto de Tesis ESPOCH	<b>N° SE:</b> 075 - 19	
<b>DIRECCIÓN:</b> Chimborazo y Pichincha		
<b>TELÉFONO:</b> 0987360707	<b>FECHA DE RECEPCIÓN:</b> 13 - 05 - 19	
	<b>FECHA DE INFORME:</b> 17 - 05 - 19	
<b>NÚMERO DE MUESTRAS:</b> 1, Agua residual, Curtiduría	<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	
<b>IDENTIFICACIÓN:</b> MA - 164 -19	Agua residual	

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


**RESULTADO DE ANÁLISIS**

MA -164-19

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	123,68	N/A	13 - 05 - 19
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0,70	N/A	13 - 05 - 19

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

FMC2101-01

Página 1 de 1

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

**Anexo G: Informe de análisis de agua tratada del proceso de curtido**



**ESPOCH**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS**

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

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Juan Pablo Viñán Carrasco

Fecha de Análisis: 26/06/2019

Tipo de muestras: Agua Tratada del Proceso de Curtido, Curtiduría José Laura.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

**TRABAJO DE TITULACION**

Determinaciones	Unidades	*Método	Límites	Resultados
Conductividad	mS/cm	2510-B	-	6,10
pH	Und	4500-B	6-9	8,20
TDS	mg/L	2540-C	-	4,00
Turbiedad	NTU	2130-B	-	1,60
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500,00	400,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250,00	260,00
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	20,00	0,00
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600,00	105,00

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

\*\*TULSMA.

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.  
**RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA**

## Anexo H: Informe de análisis de cromo del agua tratada del proceso de curtido



### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



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

N° SE: 083-19

#### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Juan Pablo Viñán **INFORME N°:** 083- 19  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 083 - 19  
**DIRECCIÓN:** Chimborazo y Pichincha  
**TELÉFONO:** 0987360707 **FECHA DE RECEPCIÓN:** 23 - 05 - 19  
**FECHA DE INFORME:** 28 - 05 - 19

**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1, Agua residual tratada, Curtiduría **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 174 -19 Agua residual tratada

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

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA -174-19

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	17,51	N/A	23 - 05 - 19
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0,038	N/A	23 - 05 - 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 Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

**Anexo I: Informe de análisis del agua residual del proceso de pelambre**



**ESPOCH**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS**

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

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Juan Pablo Viñán Carrasco

Fecha de Análisis: 26/06/2019

Tipo de muestras: Agua Residual del Proceso de Pelambre, Curtiduría José Laura.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

**TRABAJO DE TITULACION**

Determinaciones	Unidades	*Método	Límites	Resultados
Conductividad	mS/cm	2510-B	-	27,80
pH	Und	4500-B	6-9	12,60
TDS	mg/L	2540-C	....	2500,00
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	7430,00
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500,00	22 200,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250,00	13 700,00
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	20,00	20,00
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600,00	4200,00
Sulfuros	mg/L	4500-SO <sub>4</sub> -E	1,00	1536,00

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

\*\*TULSMA.

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.  
**RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA**

**Anexo J: Informe de análisis del agua tratada del proceso de pelambre**



**ESPOCH**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA  
FACULTAD DE CIENCIAS**

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

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Juan Pablo Viñán Carrasco

Fecha de Análisis: 26/06/2019

Tipo de muestras: Agua Tratada del Proceso de Pelambre, Curtiduría José Laura.

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

**TRABAJO DE TITULACION**

Determinaciones	Unidades	*Método	Límites	Resultados
Conductividad	mS/cm	2510-B	-	8,60
pH	Und	4500-B	6-9	9,40
TDS	mg/L	2540-C	....	190,00
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	12,00
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500,00	710,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250,00	330,00
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	20,00	0,00
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600,00	390,00
Sulfuros	mg/L	4500-SO <sub>4</sub> -E	1,00	48,00

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

\*\*TULSMA.

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.  
**RESP. LAB. CALIDAD DEL AGUA**