



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA LA PENÍNSULA DE LA
PARROQUIA PENÍNSULA-TUNGURAHUA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: CRISTIAN ALDAIR FLORES BOTINA

DIRECTOR: Ing. SEGUNDO HUGO CALDERÓN, Mgs.

Riobamba – Ecuador

2022

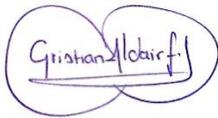
© 2022, Cristian Aldair Flores Botina

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

Yo, CRISTIAN ALDAIR FLORES BOTINA, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo 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 Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 30 de mayo del 2022



.....

Cristian Aldair Flores Botina

C.I: 040167368-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA LA PENÍNSULA DE LA PARROQUIA PENÍNSULA-TUNGURAHUA**, realizado por el señor: **CRISTIAN ALDAIR FLORES BOTINA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-05-30
Ing. Segundo Hugo Calderón, Mgs. DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2022-05-30
Ing. Mónica Lilián Andrade Ávalos MIEMBRO DE TRIBUNAL		2022-05-30

DEDICATORIA

El presente Trabajo de Integración Curricular se lo dedico a mis padres, Lidia Carmen Botina y José Alberto Flores, quienes fueron el apoyo fundamental para llegar a cumplir esta meta, inculcándome valores, disciplina y un buen ejemplo. A mi hermana Diana Karolina Botina que es una persona muy importante en mi vida y mi inspiración para tener siempre ese deseo de superación. A mi familia y amigos que siempre han estado para apoyarme y darme un consejo.

Cristian

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quien con su bendición me ha permitido llegar a culminar esta etapa tan importante en mi vida, a mis padres Lidia Carmen Botina y José Alberto Flores que con su ejemplo de esfuerzo me han demostrado que todo es posible mientras exista voluntad.

A mis hermanos Diana B., Anyi F., Jorge G., por brindarme un abrazo y un consejo cuando lo necesite.

A mis tías Berta B., Aidé B., Pilar A., por haberme regalado su apoyo, ser mis mejores amigas, por tomarme en cuenta en su vida como un hijo más y encaminarme como una persona de bien.

A los docentes Ing. Segundo Hugo Calderón, Mgs. y a la Ing. Mónica Andrade A. por su colaboración y conocimientos impartidos como miembros en mi Trabajo de Integración Curricular además de agradecerles por su gentileza, amabilidad y gran calidad de seres humanos.

A la doctora Gina Álvarez por brindarme la asesoría necesaria en el desarrollo experimental de este proyecto.

A mis amigos, familiares y docentes quienes formaron parte de esta etapa de formación académica les quedo muy agradecido por cada una de las experiencias.

Cristian

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1.	Antecedentes	2
1.1.1.	<i>Identificación del problema</i>	2
1.1.2.	<i>Justificación del proyecto</i>	3
1.1.3.	<i>Localización del proyecto</i>	4
1.1.4.	<i>Beneficiarios</i>	4
1.1.4.1.	<i>Beneficiarios directos</i>	4
1.1.4.2.	<i>Beneficiarios indirectos</i>	4
1.2.	Objetivos	5
1.2.1.	<i>General</i>	5
1.2.2.	<i>Específicos</i>	5

CAPÍTULO II

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
2.1.	Marco teórico	6
2.1.1.	<i>Curtiduría</i>	6
2.1.2.	<i>Proceso de curtiduría</i>	6
2.1.2.1.	<i>Operaciones de precurtido</i>	7
2.1.2.2.	<i>Operaciones de curtido</i>	9
2.1.2.3.	<i>Operaciones de postcurtido</i>	10
2.1.3.	<i>Impacto ambiental generado por curtiembres</i>	11
2.1.3.1.	<i>Aguas residuales</i>	14
2.1.3.2.	<i>Residuos sólidos</i>	15
2.1.3.3.	<i>Compuestos orgánicos volátiles (COV)</i>	15

2.1.4.	<i>Principales parámetros de las aguas residuales en la industria de curtiembre</i>	16
2.1.4.1.	<i>Caudal</i>	16
2.1.4.2.	<i>Potencial de Hidrógeno (pH)</i>	16
2.1.4.3.	<i>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)</i>	17
2.1.4.4.	<i>Demanda química de oxígeno (DQO)</i>	17
2.1.4.5.	<i>Sólidos Suspendidos Totales (SST)</i>	17
2.1.4.6.	<i>Sólidos Totales (ST)</i>	17
2.1.4.7.	<i>Grasas y aceites</i>	18
2.1.4.8.	<i>Sulfatos</i>	18
2.1.4.9.	<i>Cromo hexavalente</i>	18
2.1.4.10.	<i>Color</i>	19
2.1.5.	<i>Tratamiento de aguas residuales</i>	20
2.1.5.1.	<i>Pre tratamientos</i>	20
2.1.5.2.	<i>Tratamientos Primarios</i>	22
2.1.5.3.	<i>Tratamientos secundarios</i>	25
2.1.5.4.	<i>Tratamientos terciarios</i>	27
2.1.5.5.	<i>Dimensionamiento de equipos</i>	28

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	30
3.1.	Proceso metodológico	30
3.1.1.	<i>Muestreo de agua residual</i>	30
3.1.2.	<i>Manejo y conservación de muestras</i>	31
3.1.3.	<i>Técnicas de laboratorio</i>	32
3.1.3.1.	<i>Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)</i>	32
3.1.3.2.	<i>Determinación de sólidos sedimentables</i>	32
3.1.3.3.	<i>Determinación de Sólidos Totales</i>	33
3.1.3.4.	<i>Determinación de sulfuros</i>	34
3.1.3.5.	<i>Determinación del Potencial de Hidrógeno (pH)</i>	35
3.1.3.6.	<i>Determinación de temperatura</i>	35
3.1.3.7.	<i>Determinación de la turbidez</i>	37
3.1.3.8.	<i>Determinación de Sulfatos</i>	38
3.1.4.	<i>Caracterización del agua residual de curtiembre de la empresa “La Península”</i> .	38
3.1.5.	<i>Diseño actual de la planta de tratamiento de la empresa “La Península”</i>	40
3.1.5.1.	<i>Vista 2D</i>	40

3.1.6.	<i>Determinación de caudal experimenta para agua residual de pelambre y curtido..</i>	41
3.1.7.	<i>Índice de biodegradabilidad de agua de pelambre</i>	42
3.1.8.	<i>Índice de biodegradabilidad de agua de curtido</i>	43
3.1.9.	<i>Selección del sistema de tratamiento</i>	44
3.1.10.	<i>Pruebas de tratabilidad</i>	45
3.1.10.1.	<i>Test de jarras para el proceso de pelambre</i>	45
3.1.10.2.	<i>Test de jarras para el proceso de Curtido</i>	49
3.1.11.	<i>Cálculos de ingeniería</i>	51
3.1.12.	<i>Dosificación de químicos utilizados a nivel industrial</i>	81

CAPÍTULO IV

4	RESULTADOS	87
4.1.	Resultados del diseño del sistema de aguas residuales de pelambre	87
4.1.1.	<i>Caudal de agua de pelambre</i>	87
4.1.2.	<i>Sistema de rejillas</i>	87
4.1.3.	<i>Canal de entrada</i>	87
4.1.4.	<i>Tanque de aireación</i>	88
4.1.5.	<i>Taque de Coagulación-floculación</i>	88
4.1.6.	<i>Tanque del sedimentador</i>	89
4.2.	Resultados del diseño del sistema de aguas residuales de curtido	89
4.2.1.	<i>Caudal de agua de curtido</i>	89
4.2.2.	<i>Sistema de rejillas</i>	89
4.2.3.	<i>Canal de entrada</i>	90
4.2.4.	<i>Taque de Coagulación-floculación</i>	90
4.2.5.	<i>Tanque sedimentador</i>	90
4.3.	Resultados de dosificación de químicos a nivel industrial	91
4.4.	Resultados de tratamiento de las muestras analizadas	91
4.5.	Porcentaje de remoción de contaminantes en las muestras analizadas	92
4.6.	Propuesta de rediseño	94
4.7.	Análisis de costos	95
4.8.	Análisis de resultados	96

CONCLUSIONES	98
RECOMENDACIONES	99
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Coordenadas Curtiduría “La Península”.....	8
Tabla 1-2:	Antecedentes del proyecto.....	11
Tabla 2-2:	Composición típica de los efluentes generales homogenizados en las curtiembres	23
Tabla 1-3:	Técnicas de muestreo	36
Tabla 2-3:	Conservación de muestras	36
Tabla 3-3:	Caracterización del agua del proceso de curtiembre	44
Tabla 4-3:	Porcentaje de remoción a diferentes concentraciones de sulfato de manganeso....	47
Tabla 5-3:	Elección de coagulante para el agua residual de pelambre.....	48
Tabla 6-3:	Pruebas de pH en el agua residual de pelambre	48
Tabla 7-3:	Pruebas de dosificación de PAC en el agua residual de pelambre rango amplio...	49
Tabla 8-3:	Pruebas de dosificación de PAC en el agua residual de pelambre rango corto...50	
Tabla 9-3:	Elección de coagulante para el tratamiento de agua residual de pelambre	50
Tabla 10-3:	Dosificación de floculante aniónico para el tratamiento de pelambre.....	51
Tabla 11-3:	Prueba de coagulantes para el agua de curtido.....	51
Tabla 12-3:	Prueba de pH para agua residual del proceso de curtido	52
Tabla 13-3:	Prueba de dosificación de PAC rango amplio.....	52
Tabla 14-3:	Prueba de dosificación de PAC rango corto	53
Tabla 15-3:	Elección de coagulante para el tratamiento de agua residual de curtido	53
Tabla 16-3:	Dosificación de floculante aniónico para el tratamiento de curtido	54
Tabla 17-3:	Propuesta de rediseño de la planta actual	54
Tabla 18-3:	Parámetros de diseño.....	56
Tabla 19-3:	Tipos de tratamiento.....	57
Tabla 20-3:	Parámetros de diseño para un sistema de cribas de limpieza manual.....	58
Tabla 21-3:	Criterios de diseño para el vertedero rectangular	62
Tabla 22-3:	Parámetros de diseño del tanque homogeneizador y trampa de grasa.....	64
Tabla 1-4:	Características de la criba	68
Tabla 2-4:	Parámetros de diseño del vertedero.....	68
Tabla 3-4:	Características del tanque homogeneizador y trampa de grasa.....	69
Tabla 4-4:	Características del tanque de flotación por aire directo.....	69
Tabla 5-4:	Características del tanque de floculación y coagulación	69
Tabla 6-4:	Características del agua luego del tratamiento planteado	70

Tabla 7-4: Costo de rediseño72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Condiciones para instalación de rejas en un sistema de cribado	20
Figura 2-2:	Tamiz estático.....	21
Figura 2-3:	Dimensiones de un mezclador	29
Figura 1-3:	Etapas del proceso metodológico	35
Figura 2-3:	Vista 2D de la antigua planta de tratamiento.....	45
Figura 3-3:	Variedad de formas de varillas para rejilla.....	60
Figura 4-3;	Rejillas para el tratamiento de aguas de pelambre.....	61
Figura 5-3:	Canal de entrada para el proceso de agua de pelambre.....	65
Figura 6-3:	Tanque de aireación para tratamiento de agua residual de pelambre.....	69
Figura 7-3:	Tanque de coagulación-floculación para el agua de pelambre	71
Figura 8-3:	Diseño del tanque sedimentador	74
Figura 9-3:	Rejillas para el agua residual de curtido.....	79
Figura 10-3:	Diseño del canal de entrada para agua de curtido.....	82
Figura 11-3:	Tanque de coagulación-floculación para agua de curtido	84
Figura 12-3:	Tanque sedimentador para agua de curtido	87
Figura 1-4:	Propuesta de tratamiento de aguas residuales.....	101

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Proceso de pelambre.....	13
Gráfico 2-2:	Proceso de curtido	14
Gráfico 1-3:	Etapas de proceso metodológico	30
Gráfico 2-3:	Pruebas de pH para agua de pelambre.....	45
Gráfico 3-3:	Concentración vs turbidez	47
Gráfico 4-3:	Pruebas de pH para agua de curtido	48
Gráfico 5-3:	Dosificación de PAC para agua de curtido	49

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** AVAL DE LA CURTIDURÍA “LA PENÍNSULA”
- ANEXO B:** AGUA TRATADA DEL PROCESO DE CURTIDO DE
- ANEXO C:** AGUA TRATADA DEL PROCESO DE PELAMBRE”
- ANEXO D:** TEST DE JARRAS PARA AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE Y CURTIDO
- ANEXO E:** ESTADO ACTUAL DE LA PTAR
- ANEXO F:** VISTA 3D DE LA NUEVA PLANTA DE TRATAMIENTO
- ANEXO F:** VISTA SUPERIOR DE LA NUEVA PLANTA DE TRATAMIENTO

ABSTRACT

The objective of this work was to redesign the wastewater treatment system for "La Península" tannery in the parish of La Península-Tungurahua, thus determining the physicochemical and microbiological characteristics of the wastewater, based on the permissible limits of the Ministerial Agreement 97 Annex 1 of Book VI of the Unified Text of Secondary Legislation of the Ministry of the Environment (TULSMA): Environmental Quality Standard and Effluent Discharge to the Water Resource, Table 11: Discharge limits to the public sewage system; values were measured for BOD out of range 6. 520.00 mg/L in liming water and 1,310.00 mg/L in tanning water. The variables taken into account for the redesign of the wastewater treatment system were identified, where the primary values that influenced on the calculations and sizing of the different design stages are the design flow rates; 0.346 L/s in tanning water and 0.247 L/s in liming water. By means of calculations, the treatment plant was redesigned and the following results were obtained: one system for tanning wastewater and one for liming wastewater, where several elements of the plant were taken into account and coupled to a new proposal which includes two new settling tanks and the calculation of chemical dosages based on the design flow rates. Therefore, it was concluded that the proposed design is validated by the physicochemical characterization of the treated water based on the permissible limits of the Ministerial Agreement 097 of the TULSMA. It is recommended to take into account that the redesign of the water treatment system has been considered based on the production flows of this tannery.

Key words: <TANNING>, <CHROME>, <TUNGURAHUA (PROVINCE)>, < DESIGN>, <TREATMENT PLANT>, <WASTEWATER>.

ANA GABRIELA REINOSO ESPINOSA
Firmado digitalmente
por ANA GABRIELA
REINOSO ESPINOSA
Fecha: 2022.07.13
01:03:13 -05'00'

INTRODUCCIÓN

Los altos porcentajes de metales pesados en las aguas residuales afectan directamente al entorno y son dañinos para la salud animal, vegetal y humana. Las curtidorías pertenecen a las industrias de proceso más antiguas y consumen una gran cantidad de agua en varias etapas, en la industria de las curtidorías todos los procesos son procesos húmedos y generan enormes cantidades de desechos líquidos por lo que sus efluentes están lejos del nivel deseado para su aceptación debido a la gran carga de contaminantes como: Cromo, Cloruros, Sodio, Sólidos Disueltos, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Nitrógeno y Sólidos en suspensión. (Sanchez, 2019, p.12). Una de las zonas con mayor impacto en la industria de la curtiembre es la provincia de Tungurahua donde con un 60% esta acción se ha transformado en una de las primeras para lograr dinamizar la economía principalmente en la ciudad de Ambato. Existen sectores definidos como: Puerto Arturo, Picaihua, Terremoto, Tres Juanes, Santa Rosa que son considerados como los principales focos de contaminación por el funcionamiento de curtiembres y textileras, en este mismo informe se indica que se han realizado análisis en lo que atañe al manejo y tratamiento de aguas residuales en Ambato, pero sin lugar a duda la colaboración de las empresas generadoras de estos residuos es de suma importancia para disminuir el impacto causado por esta actividad industrial (Morocho, 2017, p.57).

El proyecto de titulación prevé brindar un esquema adecuado para el rediseño del sistema de tratamiento de agua residual de la empresa en estudio, por tal motivo en el trabajo se desarrollará una propuesta viable y con disminución de contaminantes presentes en el agua residual de las curtiembres.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

1.1.1. Identificación del problema

En la provincia de Tungurahua se procesa la mayor parte del cuero en el Ecuador con un 75,58 %, estas pieles son usadas frecuentemente en el área textil para la confección de artículos de cuero como: zapatos, chompas y carteras a nivel nacional e internacional (Morocho, 2017, p.57).

Las industrias de curtiembre ubicadas en la ciudad de Ambato no tienen un sistema adecuado para el manejo de aguas residuales, estas empresas han generado gran contaminación debido a la concentración elevada de sulfuro, cromo y carga orgánica diversa de sus aguas residuales producto del procesamiento de las pieles, estos efluentes son descargados de manera directa hacia el alcantarillado del cantón llegando así a convertirse en un foco de contaminación para el ambiente, estas aguas además de contaminar restringen su uso a lo largo del río Ambato ya que podrían ser utilizadas para otras actividades que puedan generar beneficios para los habitantes del sector como en la agricultura (Lombeida, 2017, p.14).

La Curtiduría “La Península” es una fábrica de curtido y acabado de pieles ubicada en la parroquia La Península del cantón Ambato, esta empresa cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) que no se encuentra en funcionamiento convirtiéndose así en una problemática para el sector, ya que, debido a su falta de funcionamiento se generan malos olores y contaminación. Estos olores son consecuencia de la degradación de componentes usados en el proceso de curtido de pieles como pelambre, dividido y descarnado.

La planta de tratamiento se encuentra paralizada debido a que está diseñada de una manera artesanal y no cumple con el objetivo de disminuir la carga contaminante de sus aguas tratadas. En consecuencia, es de gran importancia resolver estos problemas con el afán de que la empresa pueda operar sin generar molestias a los habitantes de la zona y pueda seguir operando cumpliendo con la normativa nacional vigente.

1.1.2. Justificación del proyecto

En la ciudad de Ambato no se da un tratamiento conveniente para las aguas residuales de la mayoría de las empresas de la industria del curtido debido a que no poseen un sistema de tratamiento para eficiente para sus desechos por tal razón estas industrias vierten sus aguas residuales de forma directa al sistema de alcantarillado o a los ríos, causando contaminación en los cuerpos hídricos de la zona (Lombeida, 2017, p.16). Las curtiembres desarrollan problemas por contaminación ambiental de sus efluentes líquidos, pues la cantidad de productos químicos no se concentran en la piel y se mezclan en las aguas residuales de la curtiduría, entre ellos encontramos: sales, carga orgánica diversa, cromo, sulfuros y sólidos suspendidos. La demanda de pieles en la Curtiduría “La Península” ha incrementado, como consecuencia de este requerimiento el caudal de agua a ser tratada es superior al caudal con el que planta de tratamiento de la curtiembre puede trabajar, esto ha causado que la planta se encuentre paralizada y que la empresa no de ningún tipo de tratamiento para sus aguas. La curtiduría libera su efluente de manera directa a la alcantarilla de la ciudad contaminando el agua de la zona, causando una problemática ambiental para la parroquia y llamando la atención de los organismos de control ambiental.

La justificación del proyecto de rediseño se la realiza en base a los problemas mencionados y los beneficios para el dueño de la empresa; entre los principales beneficios están: se llegará a cumplir con la normativa establecida, se evitarán malos olores y molestias a la población de esta parroquia, se evitarán sanciones por parte de las autoridades, existirán mejoras del proceso de tratamiento y la empresa podrá seguir laborando de manera continua.

1.1.3. Localización del proyecto

El presente Trabajo de Integración Curricular se desarrolló en en la Curtiduría “La Península” perteneciente a la parroquia La Península en la provincia de Tungurahua, el mismo que se encuentra ubicado en las calles Caracas y Cochabamba de la ciudad de Ambato.

Tabla 1-1: Coordenadas Curtiduría “La Península”

Latitud	1°14'40.0''S	Altitud	2495 msnm
Longitud	78°36'20.0''W	Clima	12°C

Fuente: (Google, 2021).

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

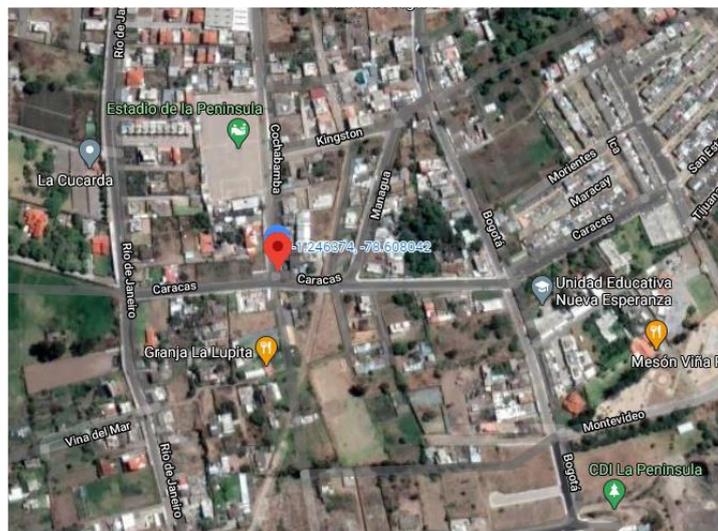


Figura 1-1: Ubicación de la Curtiduría La Península

Fuente: (Google,2021).

1.1.4. Beneficiarios

1.1.4.1. Beneficiarios directos

La Curtiduría “La Península” debido a que mejorará su sistema de efluentes cumpliendo con normativas ambientales.

1.1.4.2. Beneficiarios indirectos

Los habitantes de la parroquia Península podrán tener una mejor calidad de agua la cual podría ser necesaria para la agricultura o de uso industrial.

Los Estudiantes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que realicen prácticas pre profesionales en la Curtiduría “La Península”, ya que, tendrán el conocimiento del proceso sobre el tratamiento de sus aguas residuales.

El GAD (Gobierno Autónomo Descentralizado) del cantón Ambato podrá velar por el cumplimiento de la normativa ambiental, así se podrá dar un seguimiento y regularización de sus aguas residuales.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

- Rediseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría La Península de la parroquia La Península-Tungurahua.

1.2.2. Específicos

- Determinar las características fisicoquímicas de las aguas residuales, basadas en los límites permisibles del Acuerdo Ministerial 97 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, Cuadro 11: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.
- Identificar las variables de proceso para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento del rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Validar el diseño propuesto mediante la caracterización fisicoquímica del agua tratada basadas en los límites permisibles del Acuerdo Ministerial 97 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, Cuadro 11: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Marco teórico

2.1.1. Curtiduría

El curtido es un proceso en el cual la proteína para la fabricación del cuero se estabiliza permanentemente contra el calor, la biodegradación enzimática y el estrés termomecánico. En la práctica comercial, el curtido vegetal y al cromo son los métodos que se utilizan ampliamente (Thanikaivelan et al., 2004: p.43).

La industria del procesamiento del cuero es una de las principales en todo el mundo debido a sus enormes impactos en el desarrollo económico de un país (Kandasamy et al., 2020, p.3). Sin embargo, la esta industria ha sido altamente contaminante con el ambiente y su aumento en la producción mundial de cuero da como resultado impactos ambientales adversos (Kandasamy et al., 2020: p.3).

2.1.2. Proceso de curtiduría

El curtido de pieles se realiza de forma escalonada en las curtidurías, los cueros crudos se someten a varios tratamientos químicos y mecánicos para tornearse cueros terminados. Estas operaciones de curtiduría se dividen a grandes rasgos en tres secciones: operaciones de precurtido o ribera, operaciones de curtido y operaciones de postcurtido o acabado (Kandasamy et al., 2020: p.4).

De manera inicial las pieles y cueros crudos utilizados en las curtidurías se encuentran en condiciones húmedas saladas, seguidamente en las operaciones de ribera; las pieles saladas y húmedas conllevan un proceso en donde se eliminan materiales no deseados: carne, grasa, pelo y sustancias proteicas las cuales se encuentran asociadas con la piel. Después, en el proceso de curtido, las pieles se transforman en cueros semielaborados en los que el material adquiere resistencia frente a la degradación bacteriana. Luego del proceso de curtido se toma en cuenta las características específicas del cuero semiacabado en función de métodos para bronceado. En las operaciones de postcurtido, las pieles semiacabadas y curtidas se tiñen/pulen para dar color al tejido de la piel y se someten a un proceso de licuado de grasa para incorporar el grado de suavidad requerido en el material final. Finalmente, a esto le sigue el paso de recurtido para impartir el relleno, apretar el grano y mejorar la uniformidad en el cuero terminado (Kandasamy et al., 2020, p.7).

2.1.2.1. Operaciones de precurtido

En esta etapa la limpieza y acondicionamiento de pieles saladas y húmedas produce una gran cantidad de efluentes y desechos sólidos.

➤ *Remojo*

Es la primera operación que se realiza en las industrias del cuero con el fin de eliminar la sal de las pieles, se sumergen las pieles en agua para restaurar la humedad eliminada durante la conservación inicial. En este paso, la sangre adherida, la suciedad, el estiércol, los conservantes (cloruro de Sodio, bactericidas) y otras proteínas solubles como la albúmina y la globulina también se eliminan y se desechan. El remojo generalmente se realiza en pozos o remos. En este proceso, las pieles y cueros se aplanan para eliminar la sal y otros materiales adheridos remojándolos en agua principalmente de dos a tres veces para recuperar la materia prima a su estado original. En esta etapa se utiliza entre 300% y 400% de agua además de agregar bactericidas para evitar daños bacterianos. El proceso de remojo toma de 3 horas a toda la noche dependiendo de la naturaleza del material y se usa carbonato de sodio o el sulfuro de sodio que es una ayuda para este proceso (Cassano et al., 2001; citado en Kandasamy et al., 2020).

➤ *Eliminación de la carne, depilación y encalado*

En este proceso, las pieles humedecidas se despojan para eliminar el exceso de grasa y carne adherida a la hipodermis. Luego, se coloca en disoluciones con un pH alcalino como: cal ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y sulfuro de sodio (Na_2S); además se pueden utilizar enzimas para asegurar el depilado. El proceso de encalado ayuda a abrir los poros en la estructura de la fibra (colágeno) de las pieles; que está mediada por hinchazón osmótica, por lo que se consigue la depilación. En general, una mecánica del proceso se utiliza para la depilación. Además, las grasas extrañas naturales se eliminan mediante este proceso de encalado. El proceso de pelado contribuye a la alta demanda química de oxígeno (DQO) en la corriente del efluente, que se debe principalmente al uso de sales orgánicas e inorgánicas durante estas operaciones. Además, en estos procesos se produce una gran cantidad de desechos de queratina y desechos de carnes (Hashem et al., 2015; citado en Kandasamy et al., 2020).

➤ *Descarnado y partición de cal*

En las operaciones de descarnado con cal, los cueros encalados se dejan para un segundo proceso de descarnado para limpiar y obtener la forma adecuada de la piel/carne, por lo que puede ser

adecuado para su uso en operaciones posteriores. Para ello, el corte mecánico se lleva a cabo para eliminar la carne no deseada y las sustancias grasas asociadas. Después de este paso, las pieles son sometidas a un proceso de escisión en el que las pieles se dividen en dos o tres capas. En estos pasos, las materias orgánicas que contienen grasas alcalinas se eliminan como desechos sólidos (Ozgunay et al., 2007; citado en Kandasamy et al., 2020).

➤ *Descascarillado y rendido*

El método de descalcificación disminuye el pH (8,0 o 8,5), es decir, las condiciones las condiciones alcalinas cambian para adecuarse a un nuevo proceso.

Para el proceso de descalcificado se utilizan generalmente cloruros (Cl^{-1}) y sulfatos de sales de Amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$). Según el tipo de cuero la cantidad de sales puede variar para así obtener diferentes resultados en el proceso. En su mayoría, estas operaciones se realizan en bidones en los que se utilizan grandes volúmenes de agua. Posteriormente, en el mismo baño se somete la carne descascarada al proceso de rendido. Durante el proceso de batido, las pieles se exponen a las enzimas proteolíticas como la tripsina para eliminar todas las sustancias proteínicas no deseadas como: la epidermis, el pelo corto, las raíces del pelo y los pigmentos. Como resultado de este proceso se logrará textura, suavidad y flexibilidad en los productos terminados. Durante las operaciones de descalcificación, se cargará una alta cantidad de sales de amonio y calcio en el efluente, lo que conduce al aumento del pH y la dureza total del efluente. Y en las operaciones de reñido, una cantidad considerable de residuos sólidos proteínáceos son generados (Thanikaivelan et al., 2004: p.42).

➤ *Desengrasado*

El exceso de grasas naturales presentes en las pieles se elimina en el proceso de desengrasado para conseguir una distribución homogénea de grasas en el material. Generalmente, esto se lleva a cabo junto con el remojo, el decapado o después del curtido. En este proceso se utilizan una gran cantidad de tensoactivos o disolventes orgánicos, que finalmente darán lugar a un alto nivel de demanda química de oxígeno (DQO) en el efluente descargado (Kandasamy et al., 2020: p.6).

➤ *Decapado*

En el proceso de decapado, el pH de las pieles se ajusta de 2,5 a 3,0 usando una mezcla de ácido fórmico y sulfúrico para lograr una difusión rápida y una distribución uniforme de productos químicos como el cromo y los taninos en el material parcial. El decapado se realiza para mantener el pH en el rango de 4,0 a 4,5 para el proceso de curtido vegetal. A esto, 10% (v/v) de solución

salina de cloruro de sodio se agrega para prevenir los efectos de hinchamiento ácido y preparar para el bronceado. Para preservar el material de los ataques de bacterias y hongos, 0,03% a 2,0% (p/p) de bactericidas y fungicidas se utilizan antes siendo sometido al proceso de curtido. El efluente liberado de esta unidad tendrá una gran cantidad de sólidos disueltos, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO) (Kandasamy et al., 2020: p.6).

2.1.2.2. Operaciones de curtido

Una vez acondicionadas las pieles con operaciones de ribera, se lleva a cabo el proceso de curtido en el que se busca la estabilización de enlaces en la fibra de colágeno, lo que da como resultado una alta estabilidad térmica, resistencia y flexibilidad en el cuero. El curtido se realiza mediante varios métodos, como el curtido al Cromo, el curtido vegetal y otros bronceados (Kandasamy et al., 2020: p.6).

➤ Curtido al cromo

En el procesamiento del cuero, el curtido al cromo es el proceso más aplicado debido a las características distintivas que proporciona al cuero. Este paso se sigue después del proceso de decapado en el que las sales de cromo (III) se suministran a las pieles recogidas en condiciones ácidas. Para acumular el cromo, el pH se eleva gradualmente con la adición de base. De esta manera, los iones de cromo se reticulan con los grupos carboxilo libres presentes en las fibras de colágeno. Por lo tanto, da como resultado el desarrollo de una alta estabilidad hidrotérmica, resistencia a altas temperaturas y bacterias, resistencia al material, debido a sus propiedades únicas, las pieles curtidas al cromo se utilizan para aplicaciones polivalentes. Durante esta operación, las pieles de desecho impregnadas de cromo se eliminan en grandes cantidades, y estas son desechos altamente resistentes a la degradación biológica. Además, los iones de cromo no unidos en el efluente descargado aumentan el nivel de toxicidad del efluente, lo que plantea un problema de eliminación significativo (Kandasamy et al., 2020: p.6).

➤ Curtido vegetal

El curtido vegetal se realiza principalmente utilizando una serie de cubas en las que concentraciones crecientes están provistos de licor curtiente. Se utilizan agentes curtientes vegetales como hidrolizables (castaño y myrobalan) y poli fenólica condensados (cicuta y acacia). Este proceso de curtido da como resultado un cuero moderadamente denso, suela y marrón pálido, donde al exponerse a la luz generalmente se vuelve de color oscuro. Los cueros producidos a

partir del proceso de curtido vegetal poseen menos estabilidad hidrotermal y baja resistencia al agua (Kandasamy et al., 2020: p.6).

➤ *Bronceado alternativo*

Se produce cuero de excelente calidad el cual puede resistir altas temperaturas de agua gracias a que no tiene minerales. Para este proceso, agentes curtientes orgánicos como polímeros orgánicos y polifenoles vegetales que contienen grupos pirogalol en él se utilizan combinaciones de sales metálicas. Este tipo de bronceado orgánico mejorará la estabilidad y la capacidad hidrofílica del material similar al cuero curtido al cromo (Thanikaivelan et al., 2004: pp.43-44).

➤ *División, clasificación y afeitado*

Antes de que las pieles se procesen mediante otras operaciones de postcurtido, las operaciones de replanteo se llevan a cabo. En este proceso, las pieles se colocan en los rodillos para eliminar el exceso de humedad, a lo que sigue desnudándose. El decapado se utiliza generalmente para eliminar los taninos, aceites y grasas no unidas presentes en el cuero. El proceso de decapado se realiza utilizando productos químicos alcalinos como bicarbonato de sodio o sulfito de sodio o bórax a lo largo con agentes desengrasantes. Luego, el cuero semiacabado curtido al cromo (cuero azul húmedo) se somete a la división, proceso en el que se separa en dos partes como la flor (para cuero de calidad) y la división (para forro). Después de esto, se realiza el afeitado para lograr un grosor uniforme del cuero. A este paso le sigue un lavado del material con ácido oxálico para eliminar las manchas de hierro formadas durante la operación de afeitado. El proceso de neutralización se lleva a cabo utilizando formiato de sodio o bicarbonato de sodio tanto para el azul húmedo como para el cuero semicromo antes de las operaciones de postcurtido. Como resultado de estos procesos, se produce una mayor carga en la dureza total en la corriente de efluente y los materiales divididos no deseados se eliminan como desechos sólidos (Kandasamy et al., 2020: p.7).

2.1.2.3. Operaciones de postcurtido

Después de las operaciones de curtido, se realizan los pasos de postcurtido para transformar el cuero semiacabado en cuero acabado con características requeridas.

➤ *Recurtido, teñido y licuado de grasa*

El proceso de recurtido se realiza para obtener la uniformidad en la naturaleza de los materiales, que luego es seguido por el tinturado. Los cueros se tiñen para proporcionar un color adecuado en función de los requisitos de los clientes. Principalmente, se utilizan tintes directos y complejos metálicos, también se utilizan algunos tintes básicos para dar tonos más oscuros como el negro o el marrón. El siguiente paso es el proceso de licuado de grasa para lubricar las fibras mediante la acción de una emulsión de aceite en agua para proporcionar suavidad al cuero. Se utilizan varios tipos de licores grasos en función de sus cargas como: aniónicos, licores grasos catiónicos, no iónicos y con múltiples cargas. Los aceites vegetales, animales y algunos de los aceites sintéticos se pueden utilizar junto con el agente fijador, como el ácido fórmico. Al final de estas operaciones, Se obtienen características específicas como: resistencia hidrofílica, resistencia a la abrasión, oleofobicidad, permeabilidad a los gases y capacidad anti electrostática por el cuero (Kandasamy et al., 2020: p.7).

➤ *Secado y recorte*

Antes del secado, los materiales se estiran y comprimen mecánicamente. En el proceso de secado, los materiales se cuelgan y son sometidos a secado al horno o al vacío para eliminar el exceso de humedad obtenido durante el licuado de grasa. Luego, las partes irregulares se recortan y eliminan para obtener una superficie uniforme en el cuero (Kandasamy et al., 2020: p.7).

➤ *Acabado*

El objetivo principal del proceso de acabado es impartir la belleza estética y mejorar el valor del producto en el mercado. En este proceso, se proporcionan una serie de recubrimientos utilizando pigmentos de cera y resinas en la superficie del cuero para realzar la suavidad y mejorar la calidad. Por lo general, se aplican recubrimientos a base de agua/solvente que dan protección de la superficie contra el roce, la abrasión y las manchas. Los productos químicos de recubrimiento utilizados en el proceso de acabado fino se gastan en la corriente del efluente (Kandasamy et al., 2020, p.7).

2.1.3. *Impacto ambiental generado por curtiembres*

Aunque la industria del procesamiento del cuero es económicamente significativa, genera un impacto ambiental negativo al producir desechos sólidos y efluentes de aguas residuales que

contienen sustancias químicas peligrosas como: cromo, taninos sintéticos, aceites, resinas, biocidas y detergentes (Sivaram y Barik, 2018, p.57).

En general, en cada etapa del procesamiento del cuero, se generan enormemente desechos sólidos y líquidos, que incluyen: partículas finas de cuero, vertidos de tratamientos químicos, licores de desecho, grandes trozos de serraje de cuero, desperdicios de virutas de corte, carnes, desperdicios de queratina, etc. De 1.000 Kg de cuero crudo, casi 850 Kg se generan como residuos sólidos en el procesamiento del cuero, y solo 150 kg de la materia prima se convierte en cuero (Kandasamy et al., 2020: p.7).

El procesamiento del cuero implica el uso de productos químicos, algunos altamente tóxicos y cancerígenos. Los desechos del procesamiento del cuero incluyen las sustancias orgánicas y metálicas. El impacto ambiental generado por la industria del cuero es causado por desechos sólidos y efluentes de aguas residuales con presencia de compuestos orgánicos volátiles (COV) y productos químicos tóxicos (Sivaram y Barik, 2018, p.61).

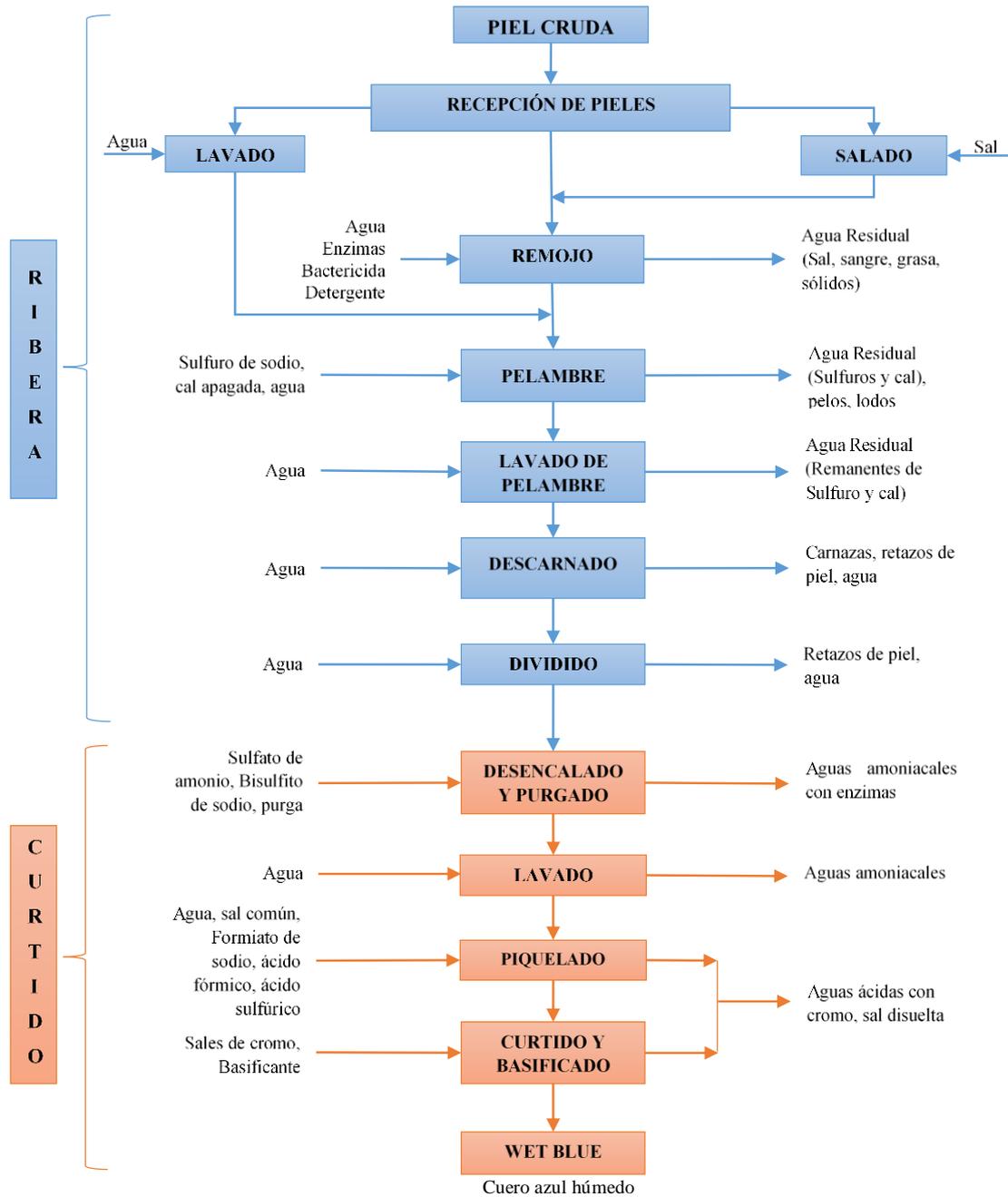


Gráfico 1-2. Proceso de curtiembre

Fuente: (Culqui, 2015, p.77).

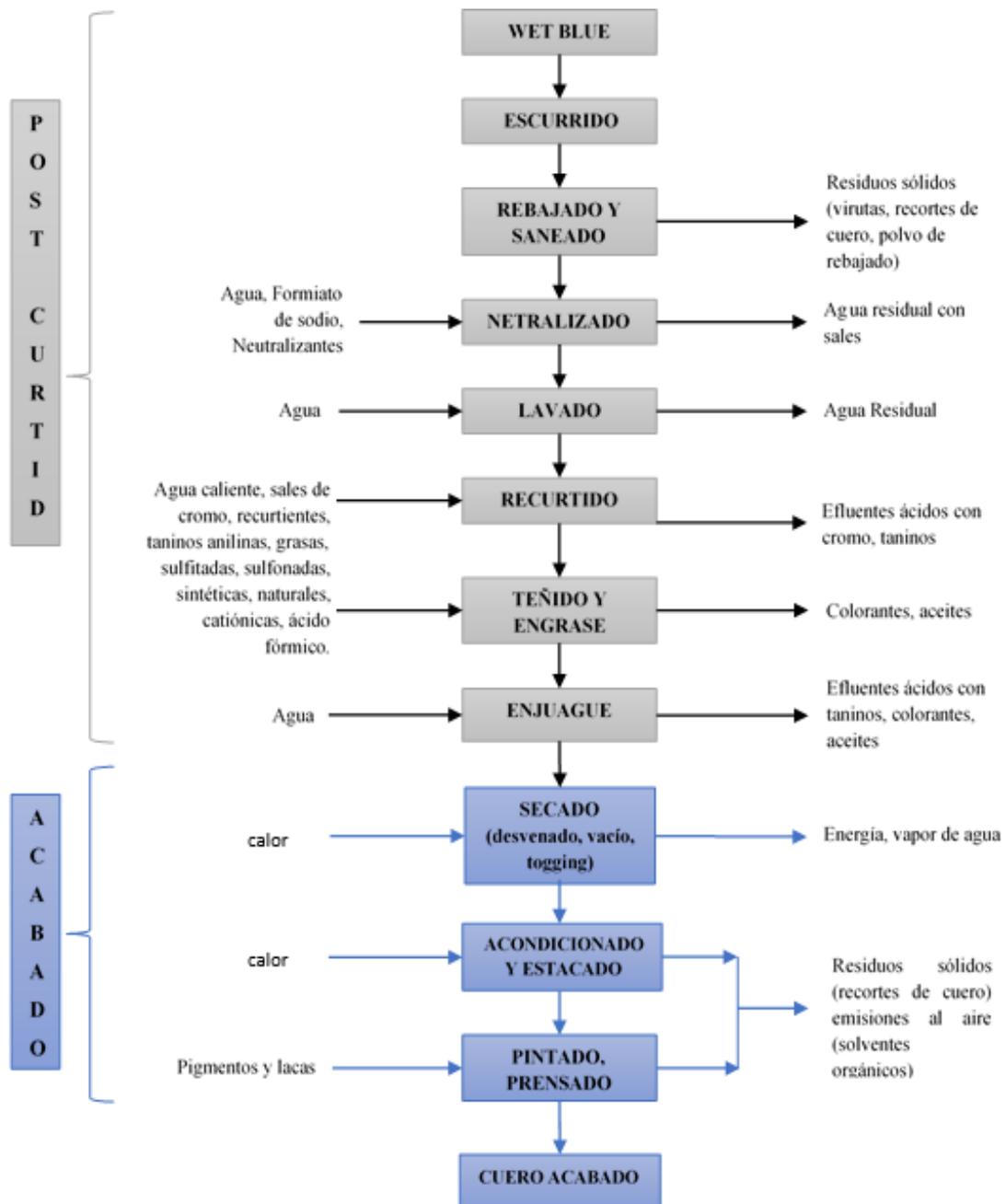


Gráfico 2-2. Proceso de curtiembre

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

2.1.3.1. Aguas residuales

Según (Sivaram & Barik, 2018: p.57) la mayoría de contaminantes en aguas residual en las curtidorías son agregadas en la etapa de precurtido y curtido, por lo tanto, esta son un foco de contaminación. En el proceso de pre curtido existen variaciones como: el pH, aumento de la demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), los cloruros y los sulfatos en las aguas residuales. La etapa de depilación normalmente se realiza con Na₂S (Sulfuro de Sodio) y Ca(OH) (Hidróxido de Calcio) y representan: el 84% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), el

75% de la DQO y el 92% de los sólidos en suspensión de una tenería. El uso de sulfuro de sodio no solo da lugar a una problemática ambiental además de disminuir la eficiencia de tratamiento de la planta. La absorción de 50% al 70% de cromo durante el método comercial de curtido al cromo da como resultado el desperdicio de material por un lado y crea desequilibrios ecológicos por el otro. El proceso de post curtido también produce modificaciones significativas en la contaminación por Sólidos Disueltos Totales (SDT), DQO y metales pesados. Los sedimentos muy contaminados resultantes de la descarga de sustancias químicas afectan negativamente al funcionamiento ecológico de los cuerpos de agua (Schilling et al., 2012: p.68).

Tabla 1-2: Composición típica de los efluentes generales homogenizados en las curtiembres

Parámetro	Rango de concentración
Potencial de Hidrógeno (pH)	7 – 10
Sulfuro (mg/L)	10 – 130
Cromo total (mg/L)	10 – 100
Demanda biológica de oxígeno (DBO, mg/L)	900 – 2 500
Demanda química de oxígeno (DQO, mg/L)	2 300 – 10 000
Aceites y grasas (mg/L)	200 – 1 500
Nitrógeno Kjeldalh (mg/L)	300 – 550
Nitrato (mg/L)	6 – 1
Fósforo total (mg/L)	3 – 25
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	1 000 – 5 000

Fuente: (Lombeida, 2017, p.16).

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

2.1.3.2. Residuos sólidos

Una gran cantidad de fangos generados en las plantas de curtido hace que el sistema de gestión de residuos sólidos sea muy inactivo debido a la no biodegradabilidad del cuero curtido. El cuero en sí es lentamente biodegradable y el tratamiento de diferentes productos químicos durante el proceso de curtido lo hace resistente a la degradación química, térmica y microbiológica. Esto, a su vez, afecta las actividades agrícolas y degrada el sistema de aguas subterráneas (Mwinyihija, 2010, p.6). Estos desechos son una amenaza para la ecología y el sistema acuático en las proximidades de las curtidurías (Kluska et al., 2018: p.23).

2.1.3.3. Compuestos orgánicos volátiles (COV)

Estos compuestos son generados en varias etapas de curtido de pieles como: descalcificación, secado y eliminación de pelos. Durante algunos de estos procesos existe emisión de contaminantes, entre los más comunes está el H₂S (Sulfuro de hidrógeno); el cual se encuentra en aguas residuales

con un pH menor a 8,0. Las emisiones de partículas contienen cromo, que puede ocurrir debido a la reducción de cromato o por manipulación de polvo de sulfato de cromo básico o por el proceso de pulido. Por lo tanto, se emiten cantidades sustanciales de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) durante los diferentes procesos de curtido que pueden representar una amenaza para la atmósfera si no se controlan adecuadamente (Kluska et al., 2018: p.30).

2.1.4. Principales parámetros de las aguas residuales en la industria de curtiembre

Según el Anexo 1 del libro VI del TULSMA: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua en la tabla 12 sobre el monitoreo de las descargas industriales, establece que los parámetros de monitoreo en las industrias manufactureras de adobo, teñido y curtido de pieles son: “Caudal, pH, DBO, DQO, SST, Grasas y aceites, Fenoles, Sulfatos (SO₄), Sulfuros (S₂), Cromo (Cr), Cromo hexavalente (Cr⁶⁺), y color. De acuerdo a la normativa ambiental el resultado de la medición de dichos parámetros debe ser comparados con el Acuerdo Ministerial 97A; Cuadro 11, en vista de que la descarga de las aguas residuales se hace generalmente hacia un cuerpo receptor” (Lombeida, 2017, p.16).

2.1.4.1. Caudal

Es la medida de agua que representa el volumen de agua que pasa por una sección en una unidad de tiempo. Esta puede calcularse de diferentes formas; las mismas que dependen de las condiciones del lugar que se necesite medir. Las unidades que se usan para este parámetro son litros por segundo. Este parámetro es importante en el tema de sistema de tratamiento debido a que nos permite analizar procesos con el objetivo de ver si existe un diseño correcto o si el mismo se debe cambiar.(Lombeida, 2017, p.19).

2.1.4.2. Potencial de Hidrógeno (pH)

Es una expresión para la concentración efectiva de iones de hidrógeno en solución, la determinación del pH es una de las medidas analíticas más ampliamente realizadas, con aplicaciones que van desde la investigación básica y los análisis clínicos hasta el control de procesos industriales y la monitorización ambiental. Diversos organismos como las bacterias se manifiestan arduamente en el tratamiento de aguas de curtiembres representando una mayor eficacia al trabajar con un pH entre 7-8. En el factor biológico existe una alcalinidad mínima de aguas residuales, esta es necesaria para neutralizar los ácidos generados por la biomasa generada en el proceso de nitrificación. Esta capacidad de mantener el pH adecuado en las aguas residuales a medida que se someten a tratamiento es la razón por la que la alcalinidad es tan importante para

el proceso de las aguas residuales. Un pH anormal o irregular en los procesos de tratamiento biológico puede resultar en una disminución significativa en la eliminación de compuestos orgánicos, lo que afectará las mediciones de la DQO (Durst, 2021, p.45).

2.1.4.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

Es la cantidad que demandan los organismos biológicos aeróbicos (principalmente bacterias) para descomponer el material orgánico presente en el agua residual de curtiembre a cierta temperatura durante un período de tiempo específico. De manera general este factor es usado para medir la contaminación de aguas residuales en industrias; este valor se determina en miligramos de oxígeno consumidos por litro de muestra. En el tratamiento de aguas de curtiduría es muy usual trabajar con el termino DBO5 el cual únicamente nos indica que se ha trabajado con 5 días de incubación de la muestra de agua a una temperatura de 20 °C (Li et al., 2019: p.214).

2.1.4.4. Demanda química de oxígeno (DQO)

Este elemento de medida establece cuanto oxígeno es necesario para un proceso de oxidación. Se manifiesta como la cantidad de masa de oxígeno consumido sobre el volumen de disolución, que en unidades del sistema internacional es miligramos por litro (mg/L). En general este proceso se usa para determinar fácilmente la cantidad de compuestos orgánicos presentes en el agua residual de curtiembre. En cuerpos de agua dulce y aguas residuales es usual utilizar este término debido a que se usa para cuantificar la oxidación de contaminantes. La DQO al igual que la DBO es útil en términos de calidad del agua al proporcionar una medida para determinar el efecto que tendrá un efluente en el cuerpo receptor (Rajasekharan et al., 2019: p.8).

2.1.4.5. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Se definen generalmente como partículas en agua de más de 0,45 μm . Estas partículas son transportadas por agua y corriente. Se depositan cuando el flujo es insuficiente para mantenerlas en suspensión. “Una cantidad elevada de sólidos en suspensión evita que la luz solar penetre en el agua y las plantas en el medio acuático no pueden realizar la fotosíntesis” (Boman et al., 2015: p.3).

2.1.4.6. Sólidos Totales (ST)

Es la cantidad de solidos que resultan del proceso de secado de lodo a una temperatura entre 103 y 105 °C; esta medida es proporcional a la remoción de fangos generado en varios procesos de planta. Estos solidos son producto de etapas como: retención de contaminantes de gran tamaño

en un cribado y los que se encuentran disueltos que no se retienen en un sistema de rejillas, sino que son separados en un tratamiento posterior de estas aguas. En el proceso de tratabilidad es de gran importancia remover la mayor cantidad de sólidos debido a que esto nos ayudara a cumplir y controlar los parámetros necesarios dentro de un proceso. (Rajasekharan et al., 2019: p.15).

2.1.4.7. Grasas y aceites

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos frecuentes en las aguas residuales vertidas por curtiembres; estos contaminantes se caracterizan químicamente como triacilgliceroles y ácidos grasos libres que contienen ácidos grasos saturados e insaturados con cadena larga con extremos hidrófilos e hidrófobos y estructura polimórfica. La estructura micelar inmisible de las grasas y aceites impide la acción microbiana y crea una barrera física, evitando el intercambio de agua, nutrientes y gases. Además, las propiedades tensoactivas de los aceites y grasas contribuyen a la aglomeración de sólidos en suspensión lo que da como resultado la separación de fases y la formación de espuma que conduce a fallas en el proceso de tratamiento (Khuntia et al., 2020, p.2).

2.1.4.8. Sulfatos

En aguas residuales de curtiduría los sulfatos son producto de oxidación e incidencia de bacterias. En aguas con presencia de sulfato se puede generar sulfuro de hidrogeno (H₂S) y precipitación de sólidos en medio ácido en el proceso de tratamiento. Este parámetro es el principal causante de la generación de malos olores en industrias de curtido. Además, es el principal causante de corrosión de elementos metálicos como tuberías y rejillas. (Patel et al., 2015: p.55).

2.1.4.9. Cromo hexavalente

El cromo hexavalente Cr (VI), se ha utilizado durante años en sectores de la industria química como: industria del cuero, madera, la producción de fertilizantes y el tratamiento de superficies. Se sabe que el Cr (VI) es altamente tóxico y cancerígeno. En la mayoría de los casos, el tratamiento de aguas residuales con iones de Cr (VI) se realiza por reducción a cromo trivalente, de menor toxicidad y formando hidróxido sólido para pH que van de 8 a 10. La tratabilidad convencional de aguas residuales de cromo hexavalente implica la reducción de cromo +6 a cromo +3 y la subsiguiente precipitación de cromo trivalente como hidróxido. La reducción de cromo hexavalente se logra comúnmente mediante reducción química (Zongo et al., 2017: p.159).

2.1.4.10. Color

El color de las aguas residuales es producto de la incidencia de varios iones contenidos en el agua; el color de estas aguas puede variar según el tipo de componente presente por ejemplo: el color rojo significa que existe incidencia de óxidos de hierro, mientras que si se tiene un color marrón significa que podrían existir óxidos de manganeso; se debe tener en cuenta que existen otros factores en el sector del curtido que afectan la coloración de efluentes como: la presencia de productos químicos utilizados en el proceso de teñido o sustancias orgánicas disueltas. Estas aguas necesitan la eliminación del este parámetro antes de descargarse en el arroyo porque una pequeña cantidad de color puede ser visible como contaminación del agua y causa problemas estéticos y de salud. El agua que tiene un color fuera de lo habitual nos indica que la contaminación no permitirá el crecimiento de algas y otras plantas. La luz es muy importante para el crecimiento de las plantas acuáticas y el agua coloreada puede limitar la penetración de la luz. Por lo tanto, una masa de agua muy coloreada no podría sustentar la vida acuática, lo que podría conducir al deterioro a largo plazo del ecosistema (Zongo et al., 2017: p.27).

2.1.4.11. Conductividad

Se define como conductividad a la medida de la capacidad que posee una disolución para conducir una cantidad corriente eléctrica. Este parámetro puede aumentar o disminuir según las siguientes condiciones: concentración, variación de temperatura y tipo de elemento químico. la presencia de sólidos disueltos inorgánicos presentes en el agua residual de curtiembre generalmente son: cloruros, sulfuros, sulfatos y aniones fosfatos o cationes de sodio, magnesio, calcio, hierro afectan a la conductividad (Khuntia et al., 2020: p.13).

2.1.4.12. Turbiedad

Se denomina turbiedad a la cualidad que tienen los materiales suspendidos en una muestra para impedir el paso de luz a través de una disolución. Este factor nos ayuda a medir la calidad de agua residual en los procesos. La turbiedad es importante durante la selección de los procesos adecuados para la tratabilidad del agua residual de curtiembre por ejemplo: la coagulación, sedimentación, filtración se diseñan y operan teniendo en cuenta el valor de la turbiedad (Patel et al., 2015: p.76).

2.1.5. Tratamiento de aguas residuales

En función del grado de tratamiento, se puede clasificar a los procesos usados en el tratamiento de aguas residuales de curtiembres de la siguiente manera: primario, secundario y terciario. Se describirán algunas alternativas comunes y actuales que pueden ser implementadas en una planta de tratamiento para aguas residuales con la finalidad de escoger el tratamiento más adecuado y que mejor se ajuste al rediseño en función de la caracterización de las aguas residuales.

2.1.5.1. Pre tratamientos

➤ Cribado o desbaste

Según (Harnisth, 2017, p.23) el principal uso de este tipo de sistemas es con el fin de separar sólidos de gran tamaño, los cuales pueden causar daños y obstaculización en las etapas de tratamiento. Usualmente se puede clasificar este sistema de la siguiente forma: según la separación entre las barras se denominan de desbaste fino cuando, aquí la separación entre los barrotes es de 10-25 mm y puede denominarse grueso cuando la separación es de 50-100 mm. Durante este proceso cabe recalcar que los sólidos separados en este proceso son empujados por una fuerza gravitatoria y un flujo de líquido hacia una tolva recolectora de residuos, para luego ser tratados como desechos sólidos.

Característica		Limpieza manual	Limpieza automática
Tamaño de la barra	Anchura (mm)	5-15	5-15
	Profundidad (mm)	25-37,5	25-37,5
Separación entre barras (mm)		25-50	15-75
Pendiente en relación a la vertical (°)		30-45	0-30
Velocidad de aproximación (m/s)		0,3-0,6	0,6-1,1
Pérdida de carga admisible (mm)		150	150

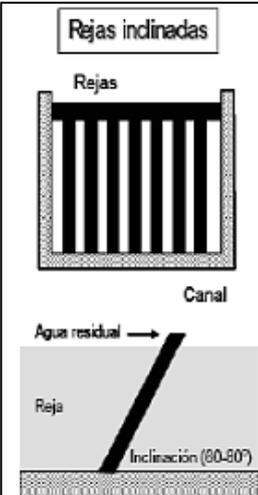


Figura 1-2: Condiciones para la instalación de las rejillas en un sistema de cribado

Fuente: (Harnisth, 2017, p.23).

➤ *Tamiz estático*

Este equipo se utiliza para tamizar cuando existe en régimen laminar, por lo que, permite una alta eficacia. Su diseño genera la separación de una fase sólida de una fase líquida, esta herramienta tiene aplicabilidad en toda clase de aguas, ya sea, potable, industrial o residual. Esta estructura consta de dos partes que son: un soporte y una malla de filtrado. Este sistema tiene como finalidad retener una gran cantidad de contaminantes en la malla mientras que el agua se cuele fácilmente por los espacios restantes del dispositivo de manera bruta distribuyéndola uniformemente a sus interiores triangulares. (HIDROWATER, 2019, p.57).

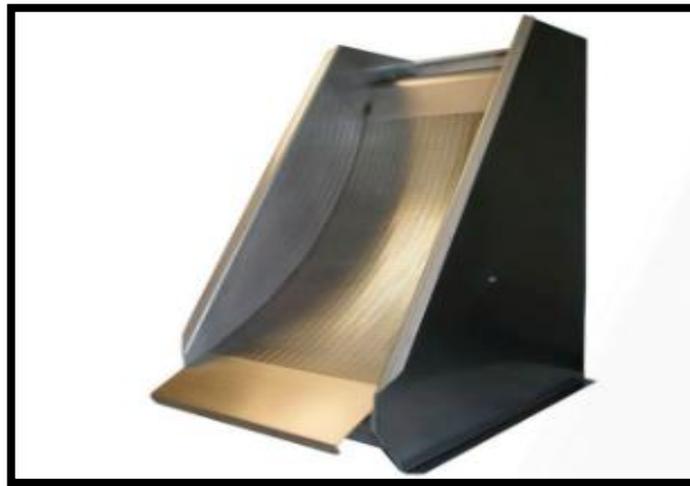


Figura 2-2: Tamiz estático

Fuente: (HIDROWATER, 2019, p.58).

➤ *Homogeneización*

El objetivo de la homogeneización es conseguir estabilizar una disolución; en una planta de tratamiento es indispensable para el tratamiento de residuos. En este proceso es indispensable trabajar con parámetros los cuales se encuentren en un proceso estacionario, es decir, no deben existir cambios en el tiempo. La ventaja de un proceso de homogeneización es que: no existen cambios en la caracterización de las aguas, no existen cambios fisicoquímicos, existen mejoras de tratamiento y se trabaja con una sola concentración de la muestra contaminada. Se debe mencionar que se encuentran varias técnicas de homogeneización por ejemplo: se denomina en línea si la muestra se unifica al finalizar un caudal, en paralelo si se proyecta una variabilidad de concentración en los caudales, con aireación cuando se requiere evitar la formación de lodos y una buscar una eficiencia de mezclado de la muestra (la ventaja en este proceso es que se evitan fermentaciones) y metálicas cuando las variaciones de un caudal son pequeñas; estas por lo general se usan en micro plantas y se usan con mecanismo de agitación (Hamisth, 2017, p.45).

➤ *Homogeneizador*

Es un equipo que sirve para emulsionar sustancias, generalmente se ubica en un depósito con el fin de lograr reducir o disipar el tamaño de las partículas, consiguiendo una mezcla homogénea (INOXMIM, 2020, p.23).

➤ *El tiempo de retención hidráulica (TRH)*

Es el tiempo medido en relación al caudal y volumen del sistema de tratamiento de aguas residuales (Real academia de la ingeniería, 2020, p.19).

➤ *Trampa de grasas*

Este equipo también es conocido como caja de grasas; el principal objetivo de este es separar: grasas, espumas, detergentes y aceites los cuales se encuentran contenidos en un agua residual. Este proceso separa las grasas mediante la densidad de cada componente. Por ejemplo: Las grasas y aceites tienen una densidad diferente a la del agua por ende estas se pueden separar filtrando cada uno de sus efluentes por diferentes tuberías. Es necesario realizar un tratamiento de este tipo debido a que evitamos el daño y permeabilidad de componentes de la planta. Las grasas y otros contaminantes separados son tratados por separado al igual que el agua residual sigue su transcurso en la planta. (Harnisth, 2017, p.23).

2.1.5.2. Tratamientos Primarios

Como pretratamiento, el tratamiento primario implica principalmente interacción física y reacciones químicas generales. Su principal función es separar y retener de sólidos de gran tamaño antes de ingresar a la planta. Además, la calidad y cantidad de las aguas residuales que ingresan a la planta de tratamiento biológico también se ajustan en cada caso. En particular, el tratamiento primario incluye principalmente los procesos de rejilla y cribado. Además de regular la calidad y cantidad de agua, estos procesos aseguran la eliminación de materiales gruesos, como caspa y pelo. Con estos procesos también se asegura la remoción de sólidos en suspensión.

Además, los procesos eliminan por completo varias características indeseables de las aguas residuales, etapas como la sedimentación, la flotación de algunos orgánicos y la sedimentación, así como la flotación por aire de múltiples sustancias químicas de coordinación y productos de coagulación (Zhao y Chen, 2019: p.3).

➤ *Método de flotación por aire*

El método de flotación por aire se usa generalmente para tratar las aguas residuales con grasas y aceites generados por las curtidurías. En este método, se usa un soplador de aire en las aguas residuales a través de un dispositivo de aireación, y las burbujas formadas en el agua llevan las grasas y aceites a la superficie del agua. Por lo tanto, la separación del aceite se logra de manera efectiva y la emulsión de aceite y agua se destruye por completo (Zhao y Chen, 2019, p.4).

➤ *Método de coagulación-floculación*

Como uno de los métodos más utilizados en el tratamiento de aguas residuales de tenerías, el método de coagulación tiene las ventajas de una baja inversión, un procesamiento rápido e idóneo para el tratamiento por lotes. El floculante utilizado en el método de coagulación tiene gran importancia en el tratamiento de aguas residuales. Actualmente, el tratamiento de coagulación se usa ampliamente, pero en la mayor parte de los casos se usan floculantes químicos, mientras que rara vez se usan floculantes biológicos. Basándonos en estudios de investigación anteriores, inferimos que este floculante biológico ciertamente juega un papel importante en la remoción de nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, cromo y DQO de las aguas residuales de las curtidurías (Qinhuan et al, 2015: p.180).

➤ *Sedimentación*

La sedimentación es el método que complementa a la coagulación-floculación, puesto que permite que los sólidos sedimentables, que han precipitado por acción de la gravedad se separen del agua. Existe gran cantidad de sólidos suspendidos en el agua de las curtiembres la cual no ha sido separada en el sistema de rejillas o sistema de pretratamiento; por lo tanto, es necesario el uso de sedimentadores debido a que estos permiten que las partículas sedimenten por su peso y precipiten en la parte inferior efecto de la gravedad. Al final del proceso obtenemos agua tratada y lodo; los sedimentadores más usados son de tipo circular con forma cónica y rectangular de flujo horizontal; los lodos decantan en un extremo del mismo (Zhao y Chen, 2019, p.45).

➤ *Método de neutralización*

Las aguas residuales de las empresas de curtido tienen un pH alcalino sin importar el tipo de tratamiento. En general, se necesita neutralización para ajustar su pH al rango requerido para el tratamiento posterior. Los métodos de neutralización se clasifican de la siguiente manera:

- Método de neutralización mutua de aguas residuales ácidas y alcalinas.

- Neutralización química.
- Neutralización por filtración.

El método de neutralización química es el más utilizado porque es conveniente, altamente eficiente y fácil de controlar. Este método utiliza HCl y NaOH como neutralizadores (Zhang et al., 2011; citados en Zhao y Chen, 2019, p.5).

➤ *Método de adsorción*

El método de adsorción es el proceso alternativo más usual para el tratamiento fisicoquímico, y también es uno de los principales procesos utilizados para la tratabilidad de aguas residuales coloreadas. El adsorbente más utilizado es el carbón activado, la diatomita, el óxido de silicio y los adsorbentes modificados a partir de diversos desechos. Este método no solo es económico y eficaz, sino que también proporciona una nueva forma de reciclar residuos (Nurealam et al., 2018: p.5).

➤ *Tecnología de microelectrólisis*

Además de los compuestos orgánicos refractarios en las aguas residuales de las curtidurías, los iones metálicos residuales generados por el proceso de curtido son difíciles de tratar. La tecnología de microelectrólisis resulta una alternativa viable al momento de purificar el agua oxidando los orgánicos y reduciendo los iones metálicos. Los resultados son satisfactorios cuando se utiliza el método de microelectrólisis para el tratamiento de aguas residuales de curtiduría las concentraciones medias de: DQO, sólidos en suspensión y sulfuro disminuyen (Zhao y Chen, 2019: p.3).

➤ *Método de fotocatalización*

Entre otras alternativas se puede destacar según el método de fotocatalización, según (Natarajan et al., 2013: p.31) que aplicando 100 mg de fotocatalizador de Degussa p-25 TiO₂ estándar para fotocatalizar y degradar el compuesto orgánico 2-Feniletanol en aguas residuales industriales de curtiembre bajo luz ultravioleta. La degradación del 2-Feniletanol se confirmó mediante un análisis químico de demanda de Oxígeno.

➤ *Método de electrodiálisis*

Por su parte, Moura et al. (2014) estudió el proceso de electrodiálisis y lo utilizó para separar los electrolitos del cuero salado o encurtido para recuperar el agua y los productos químicos que se

reutilizaron durante la producción. Además, la electrodiálisis también se utilizó para recuperar el licor de curtido residual del cromato y otras sales neutras.

2.1.5.3. Tratamientos secundarios

El tratamiento secundario es un método biológico, que incluye principalmente el tratamiento aeróbico y el tratamiento anaeróbico. El tratamiento aeróbico incluye: el método de lodos activados, el método de biopelícula y el método de tratamiento biológico natural. Los procesos de tratamiento secundario aplicados a las aguas residuales de las curtiembres integradas son los siguientes:

➤ *Tecnología de zanjas de oxidación*

La tecnología de zanjas de oxidación se utiliza para tratar grandes volúmenes de aguas residuales y lodos, y es una tecnología de tratamiento biológico que solo puede soportar cargas bajas. Debido a que es altamente adaptable a los cambios ambientales, sus operaciones son bastante estables. Además, la tecnología de zanjas de oxidación utiliza aireación mecánica con revolución de baja velocidad para disminuir el costo de operación y energía, demostrando así que es muy usual utilizar este proceso biológico en las curtiembres. Sin embargo, requiere una gran parcela de tierra. Por lo tanto, es adecuado para curtidurías a gran escala (Dang, 2015; citado en Zhao y Chen, 2019, p.4).

➤ *Método de secuenciación de lodos activados en reactores por lotes*

El método de secuenciación de lodos activados en reactores secuenciales en discontinuo (Sequencing Batch Reactor) es un tipo de proceso operacional intermitente que deforma el lodo activado. Consta de cinco procesos básicos, que incluyen: afluente, reacción, sedimentación, efluente y reserva. Debido a que el método SBR (Reactor Biológico Secuencial) tiene solo un tanque de reacción, no se requiere material de construcción masivo en este proceso. Además, el requisito de espacio en el suelo también es pequeño, por lo que este método es más flexible que el proceso tradicional de lodos activados. Por tanto, el método SBR es muy adecuado para el tratamiento de aguas residuales en curtidurías de pequeña y mediana escala (Zhao y Chen, 2019, p.4).

➤ *Proceso de oxidación por contacto biológico*

La oxidación por contacto biológico es una tecnología de tratamiento biológico que se implementa entre el tanque de aireación y el filtro biológico. Esta nueva tecnología posee las características

del proceso de lodos activados y del proceso de biopelícula. En la oxidación por contacto biológico, un relleno se sumerge en el tanque de aireación y los microorganismos se adhieren al relleno para formar biopelículas. Este método es muy resistente a los golpes. Debido a que en este método se forma muy poco lodo, no hay acumulación de lodo. Además, es fácil mantener y administrar el equipo utilizado en este método. Si el diseño es inadecuado, el equipo se puede bloquear fácilmente. Con este método, se logran tasas de eliminación de DBO₅, DQO y sulfuro del 95%, 92% y 98%, respectivamente. Por lo tanto, el proceso de oxidación por contacto biológico tiene un buen efecto de oxigenación, una carga de alto volumen, un tiempo de procesamiento corto y una alta eficiencia de purificación. Por tanto, es útil para realizar el tratamiento de aguas residuales en curtidurías a mediana y pequeña escala (Wang et al., 2016; citados en Zhao y Chen, 2019, p.5).

➤ *Método del reactor de biopelícula de lecho móvil*

La tecnología de biorreactores de lecho móvil (proceso MBBR, por sus siglas Moving Bed Biofilm Reactor), logra una eliminación significativa de nitrógeno amoniacal. Por otro lado, es difícil tratar eficazmente las aguas residuales de las curtiembres utilizando una tecnología de tratamiento de MBBR única. Además, el equipo MBBR complejo conduce fácilmente a la sulfuración del reactor y al bloqueo de la rejilla. Por lo tanto, la simplificación del equipo MBBR es una de las preocupaciones de los estudios de investigación futuros (Jiang et al., 2013; citados en Zhao y Chen, 2019, p.5).

➤ *Tecnología de tratamiento anaeróbico de aguas residuales de tenerías*

Las ventajas de la tecnología de tratamiento anaeróbico son las siguientes: formación insignificante de lodos, bajo consumo de energía, menor requerimiento de espacio, investigación mínima, fuerte resistencia a cargas de choque y tecnología estable. Por tanto, es muy útil para el tratamiento de grandes cargas de aguas residuales. Además, el metano generado en el proceso se puede reciclar y sus muchas ventajas son las mismas que las de la tecnología de tratamiento con óxidos. Sin embargo, los sulfuros y la proporción de carbono a nitrógeno en las aguas residuales de las curtidurías limitan en cierta medida la aplicación de tecnología anaeróbica (Zupancic y Jemec, 2010; citados en Zhao y Chen, 2019, p.5).

➤ *Método de humedales artificiales*

Otra alternativa viable consiste en el método de humedales artificiales, el mismo que presenta múltiples ventajas como: menos investigación, bajo costo de operación, poco consumo de energía,

fácil mantenimiento y alta tasa de remoción de contaminantes. A diferencia con la tecnología de tratamiento biológico secundario tradicional, el costo y los gastos operativos del método de humedal son menores. La tecnología es simple, el costo operativo es bajo y la operación es estable y confiable (Lin y Lou, 2012; citados en Zhao y Chen, 2019, p.5).

➤ *Método de micro algas*

Este proceso se ha planteado como un método económico y alternativo en el cual se realizan intercambios gaseosos al existir oxidación de materia orgánica; el mismo se realiza bajo varios criterios como: tipo de agua a tratar, carga contaminante, temperatura del medio, dimensión de los pozos. Además, se puede mencionar que con este tratamiento se pueden tratar varios parámetro como: DBO, nitritos, fosfatos, amonio (Umamaheswari et al., 2016, p.265).

➤ *Método de microbiorremediación*

Adicionalmente, la microbiorremediación es una técnica relativamente económica y respetuosa con el ambiente para eliminar metales pesados y compuestos orgánicos clorados de las aguas residuales de las curtidurías. Además, existen oportunidades para recuperar metales valiosos para reutilizarlos. En una variedad de microorganismos, se ha demostrado que las bacterias son muy eficaces para eliminar las aguas residuales de curtiduría que contienen cromo (VI) y pentaclorofenol. Las aguas residuales tratadas también se pueden utilizar como una variedad de agua no potable, incluida la agricultura y el curtido de cueros. En última instancia, minimizará la escasez de agua y aumentará la productividad (Verma et al., 2019: p.169).

2.1.5.4. Tratamientos terciarios

El tratamiento terciario es un tratamiento avanzado y profundo. Estos métodos se implementan debido a que un solo método de tratamiento secundario en algunos casos no logra eliminar completamente el nitrógeno y el fósforo en agua residual, y para ello se suele necesitar una combinación de varios métodos. El propósito del tratamiento terciario es eliminar los contaminantes que no pueden eliminarse mediante un tratamiento secundario. Después de someter las aguas residuales de la curtiduría a un tratamiento bioquímico secundario, los contaminantes de las aguas residuales son apenas biodegradables. El tratamiento profundo de las aguas residuales de las curtidurías generalmente incluye la oxidación y la separación por membranas (Zhao y Chen, 2019, p.6).

➤ *Método de oxidación*

Los oxidantes usados en el método de oxidación incluyen: aire, hipoclorito de sodio, permanganato de potasio, ozono, peróxido de hidrógeno y catalizador de sal de manganeso. Este método tiene las ventajas de una baja inversión y un pequeño espacio, pero la efectividad de este tratamiento debe mejorarse (Huang et al., 2016, p.627). Entre los métodos de oxidación, la tecnología Fenton es el método más utilizado para el tratamiento profundo de las aguas residuales de las curtidorías. En las aguas residuales de las curtidorías, la tecnología cambia varios parámetros, como la biodegradabilidad, solubilidad y coagulación. Todos estos cambios son una mejora desde el punto de vista del tratamiento posterior. Es fácil implementar la tecnología Fenton, porque su respuesta es rápida y su equipo es simple. El método Fenton puede eliminar eficazmente los contaminantes orgánicos y el nitrógeno amoniacal, pero como tecnología de tratamiento única, no es muy eficaz para tratar las aguas residuales de las curtidorías; su capacidad para eliminar la turbidez es limitada. Además, el reactivo de Fenton es altamente corrosivo. Los estudios de investigación futuros deben centrarse en el desarrollo de equipos anticorrosivos especiales que se puedan utilizar para implementar el método Fenton (Zhao y Chen, 2019, p.7).

➤ *Método de separación por membranas*

Recientemente, las principales tecnologías de separación por membrana son las siguientes: microfiltración, ósmosis inversa, ultrafiltración y método de película líquida. La tecnología de separación de membranas es una nueva tecnología para la separación, purificación y concentración, y tiene las siguientes ventajas: temperatura normal de operación, alta eficiencia energética, sin cambio de fase, operación simple y sin contaminación durante la producción. Sin embargo, sus desventajas incluyen un costo excesivo, la contaminación de las membranas y una vida útil corta (Parthasarathy & Narayanan, 2014, p.678). Las tecnologías de tratamiento de membranas también incluyen varios biorreactores de membrana y nuevas tecnologías para determinar varias características en la membrana (Bui et al., 2019: p.5).

2.1.5.5. Dimensionamiento de equipos

El proceso de dimensionamiento es una de las etapas más importantes de un proyecto de ingeniería debido a que aquí se deben analizar varios factores con los que se cuenta para dicho proceso; este debe brindar un beneficio al propietario de una empresa ya que se realiza en torno a necesidades del empresario. Además, este debe ser analizado desde el punto de vista económico ya que debe ser accesible y eficiente. Existen parámetros que son tomados en cuenta para el dimensionamiento de equipos entre estos tenemos: espacio físico disponible, capacidad de

trabajo, capital de trabajo. Por lo general para el redimensionamiento en plantas de agua residual se toman en cuenta variables como base, altura, profundidad, cálculos de balance de masa o cálculos del caudal de producción. (UGR, 2021, párr.2-3).

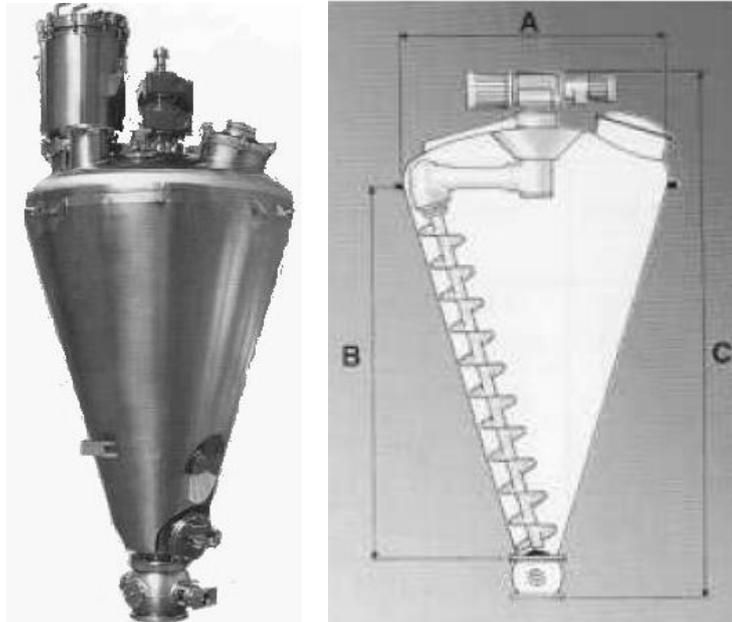


Figura 3-2. Dimensiones de un mezclador

Fuente:(UGR,2021, párr.2-3)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Proceso metodológico

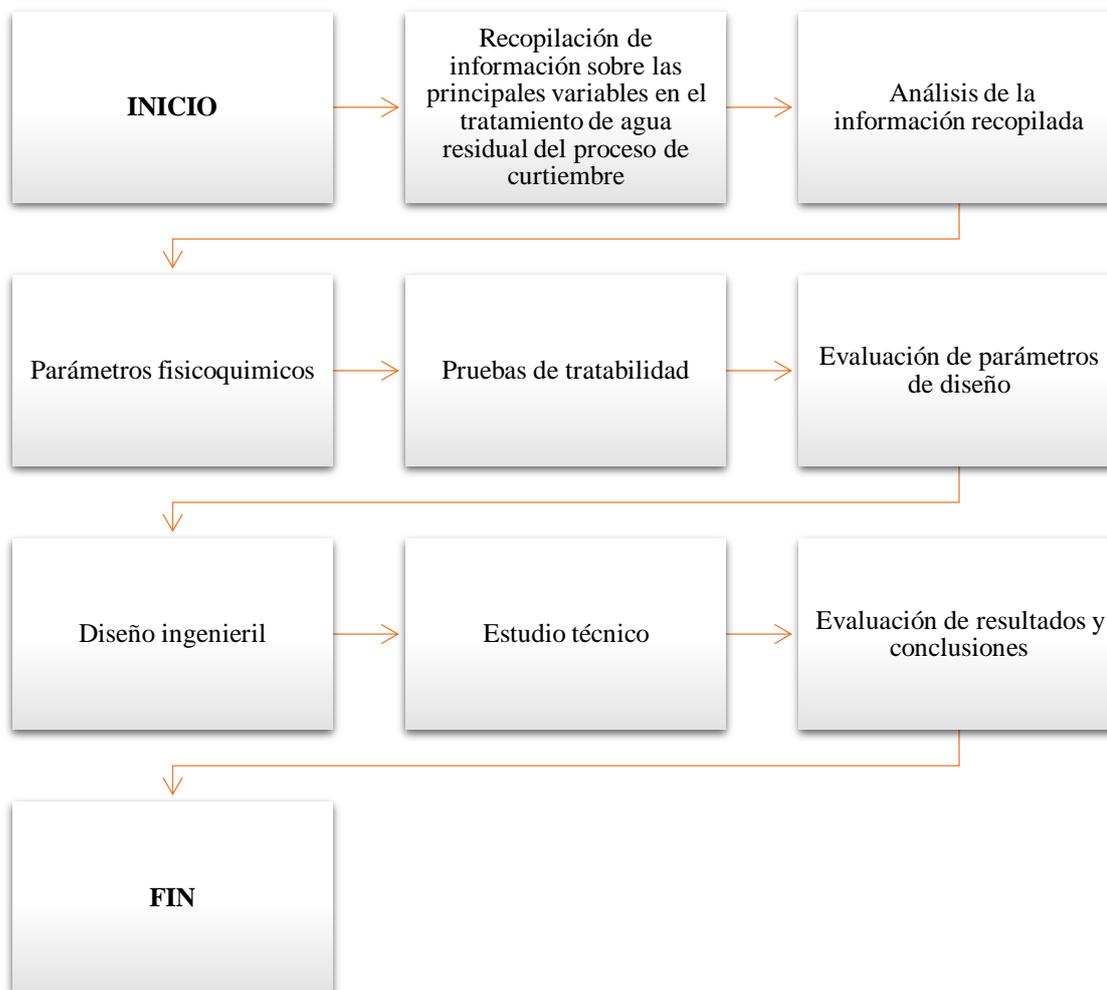


Gráfico 1-3. Etapas del proceso metodológico

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

3.1.1. Muestreo de agua residual

El muestreo de agua residual de la curtiembre se llevó a cabo mediante el seguimiento a la Norma Técnica Ecuatoriana INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) 2176 que trata: agua, calidad de agua, muestreo y técnicas de muestreo, misma que describe la forma idónea para la toma de muestras, para este caso se tomó una muestra recogida de forma manual, ya que el flujo de agua es uniforme, se recogió un volumen de 10 litros.

Tabla 1-3:Técnicas de muestreo

Norma	Objeto	Materiales	Técnica
INEN 2176	Establece guías sobre las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad, de las aguas naturales, aguas contaminadas y aguas residuales para su caracterización.	Recipiente o botella que proteja la composición de la muestra, el material del recipiente debe ser preferiblemente de vidrio y estar libre de sustancias tóxicas.	Mantener condiciones asépticas en el recipiente antes de conservar una muestra. Sumergir la botella dentro del cuerpo de agua hasta llenarlo. Rotulo: <ul style="list-style-type: none"> • Punto de muestreo • Fecha de recolección • Datos recogidos en el campo

Fuente:(INEN, 2013)

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

3.1.2. Manejo y conservación de muestras

En esta sección se trabajó la NTE INEN 2169 que trata sobre manejo y conservación de muestras como se muestra en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Conservación de muestras

Norma	Objeto	Materiales	Técnica
INEN 2169	Establece las técnicas y precauciones que se deben tener en cuenta para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua incluyendo aquellas para análisis biológicos pero no análisis microbiológicos.	Recipientes de vidrio ámbar u opacos. Empaques para proteger los recipientes de una contaminación. Cajas térmicas (2-5°C)	Lavar con agua y detergente el recipiente nuevo de vidrio con el propósito de eliminar polvo y residuos de empaque seguido del enjuague con agua destilada. Para analizar parámetros físicos y químicos se debe llenar los recipientes completamente. Tapar los recipientes de manera que evite el aire sobre la muestra. Rotular de manera clara y permanente. Transportarlos en cajas térmicas (2-5 °C) a laboratorio y evitar su contacto con la luz. La muestra debe guardarse a temperatura inferior a la que fue tomada.

Fuente: (INEN, 2013)

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

3.1.3. Técnicas de laboratorio

3.1.3.1. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Tabla 3-3: Determinación de DQO

Descripción	
<p>La muestra de agua se somete a reflujo en una solución ácida fuerte con exceso de Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$), ya que, la oxidación de la mayor parte de la materia orgánica se produce por la mezcla a ebullición de los ácidos tanto crómico y sulfúrico.</p> <p>Las ampollas de cristal selladas o tubos de cultivo tapados se conocen como vasos de reacción colorimétrica. El consumo de oxígeno se mide a 600 nm con un espectrofotómetro frente a los estándares.</p>	
Reactivos	Instrumental
<ul style="list-style-type: none">• Soluciones de digestión• Reactivo ácido sulfúrico• Ácido sulfámico• Patrón de Ftalato de hidrógeno de potasio	<ul style="list-style-type: none">• Vasos de digestión• Bloque de calentamiento• Horno o calentador de bloque• Sellador de ampolla
Técnica	
<ul style="list-style-type: none">• Tratamiento de las muestras• Determinación de la reducción de Dicromato de potasio• Preparación de la curva de calibración	

Fuente: (HACH COMPANY,2000).

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Fórmula de cálculo

$$DQO \text{ en } \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}} = \text{mgO}_2 \text{ en el volumen final} * \frac{1000}{\text{mL de muestra}}$$

Ecuación (1-3)

3.1.3.2. Determinación de sólidos sedimentables

Tabla 4-3: Determinación de sólidos sedimentables

Descripción	
Generalmente expresado en (mg/L) se refiere al material desprendido de la suspensión en un período determinado.	
Reactivos	Instrumental
<ul style="list-style-type: none"> • Agua residual 	<ul style="list-style-type: none"> • Cono de Imhoff
Técnica	
<ul style="list-style-type: none"> • Se llenó el cono de Imhoff hasta la marca con una muestra bien mezclada. • Se dejó sedimentar durante 45 minutos, removiendo suavemente las paredes del cono con una varilla reposo 15 minutos más • se registró el volumen de sólidos sedimentables del cono como mL/L. 	

Fuente: (HACH COMPANY,2000).

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Fórmula de cálculo

$$\text{Sólidos sedimentables} = \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ sól. totales en suspensión} - \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ sól. no sedimentables}$$

Ecuación (2-3)

3.1.3.3. Determinación de Sólidos Totales

Tabla 5-3: Determinación de sólidos totales

Descripción	
Se evaporó una muestra correctamente mezclada en una placa pesada y secada a peso constante en un horno a 103-105 °C. El aumento de peso sobre el de la placa vacía representa los sólidos totales.	
Reactivos	Instrumental
<ul style="list-style-type: none"> • Agua residual 	<ul style="list-style-type: none"> • Placas de evaporación (100 mL) de material de porcelana, Platino, vaso alto de Sílice • Horno de mufla con temperaturas de operación de 550 ± 50 °C • Baño de vapor • Desecador

	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza de análisis • Horno de secado, para operaciones a 103-105 °C
Técnica	
<ul style="list-style-type: none"> • Preparación de la placa de evaporación • Análisis de la muestra: se eligió un volumen de muestra que dé un residuo entre 2,5 y 200 mg. • Se evaporó en un baño de vapor hasta que se secó en el horno al menos durante una hora a 103-105 °C, se enfrió la placa en desecador para equilibrar la temperatura y se pesó. Se repitió el ciclo de secado, enfriado, desecación y pesado hasta obtener un peso constante, o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4 por 100 del peso previo o menor de 0,5 mg 	

Fuente: (HACH COMPANY,2000).

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Fórmula de cálculo

$$\frac{\text{mg de sol. total}}{L} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{mL de muestra}}$$

Ecuación (3-3)

Donde:

A: Peso de residuo seco + placa, (mg).

B: Peso de la placa, (mg).

3.1.3.4. Determinación de sulfuros

Tabla 6-3: Determinación de sulfuros

Descripción	
<p>El Yodo reacciona con el sulfuro en solución ácida, oxidándolo a Azufre. Una titulación basada en esta reacción es un método preciso para determinar sulfuros a concentraciones superiores a 1 mg/L, si no hay interferencias y se evita la pérdida de H₂S. Un mililitro de solución de Yodo de 0,025 reacciona con 0,4 mg S²⁻</p>	
Reactivos	Instrumental
<ul style="list-style-type: none"> • Ácido clorhídrico, HCl a 6 N • Solución patrón de Yodo 0,0250N: se disolvió de 20 a 25 g de KI (Yoduro de Potasio) en un poco de agua y se añadió 3,2 g de Yodo. Después de la disolución del Yodo se diluyó a 1000 mL y se estandarizó frente a Na₂S₂O₃ (Tiosulfato de Sodio) concentración 0,0250 N, utilizando solución de almidón como indicador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Bureta • Probeta • Erlenmeyer • Gotero • Pipeta

<ul style="list-style-type: none"> • Solución patrón de Tiosulfato sódico, 0,0250 N • Solución de almidón 	<ul style="list-style-type: none"> • Pera de succión
Técnica	
<ul style="list-style-type: none"> • Con una bureta se agregó a un matraz de 500 mL, una cantidad de solución del Yodo estimada como un exceso sobre la cantidad de sulfuro presente. • Se añadió 2 mL de HCl 6 N. • Después, se llenó con la pipeta 200 mL de muestra en el matraz, descargando la pipeta bajo la superficie de, a solución. Si desaparece el color del Yodo, añádase más Yodo para mantener el color. • Finalmente, se tituló por retroceso con solución de Na₂S₂O₃, añadiendo unas gotas de solución de almidón al acercarse al punto final, y continuando hasta la desaparición del color azul. 	

Fuente: (HACH COMPANY,2000).

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Fórmula de cálculo

$$\frac{\text{mgS}^{2-}}{\text{L}} = \frac{((A * B) - (C * D)) * 16\ 000}{\text{mL de muestra}}$$

Ecuación (4-3)

Donde:

A: solución de Yodo, (mL).

B: Normalidad de la solución de Yodo, (mg/L).

C: solución Na₂S₂O₃, (mL)

D: Normalidad de la solución Na₂S₂O₃, (mg/L).

3.1.3.5. Determinación del Potencial de Hidrógeno (pH)

Tabla 7-3: Determinación del potencial de hidrógeno

Descripción	
La determinación electrométrica mide la actividad de los iones de hidrógeno por mediciones potencio métricas utilizando un electrodo patrón y otro de referencia.	
Reactivos	Instrumental
<ul style="list-style-type: none"> • Preparación general: calibración del sistema con soluciones de pH (soluciones tampón) • Solución de tartrato ácido de potasio 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidor de pH • Electrodo de referencia • Electrodo de vidrio

<ul style="list-style-type: none"> • Solución saturada de hidróxido de calcio • Soluciones auxiliares 	<ul style="list-style-type: none"> • Vasos de precipitados • Agitador • Cámara de flujo
Técnica	
<ul style="list-style-type: none"> • Calibrado del aparato • Análisis de la muestra • Establecer el equilibrio entre electrodos y muestra agitándola para asegurar homogeneidad 	

Fuente: (HACH COMPANY,2000).

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

3.1.3.6. Determinación de temperatura

Tabla 8-3: Determinación de la temperatura

Descripción	
Se fundamenta en la dilatación térmica del metal, en el termómetro de Celsius mismo que consta de una escala, marcado cada 0,1 ° C sobre el tubo capilar y una capacidad térmica mínima que permita un equilibrio rápido.	
Reactivos	Instrumental
<ul style="list-style-type: none"> • Preparación general: calibración del sistema con soluciones de pH (soluciones tampón) • Solución de tartrato ácido de potasio • Solución saturada de hidróxido de calcio • Soluciones auxiliares 	<ul style="list-style-type: none"> • Termómetro Celsius de Mercurio
Técnica	
<ul style="list-style-type: none"> • Sumergir el bulbo del termómetro en la muestra • Esperar la estabilización 	

Fuente: (HACH COMPANY,2000).

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

3.1.3.7. Determinación de la turbidez

Tabla 9-3: Determinación de la turbidez

Descripción	
Se fundamenta en la comparación entre la intensidad de luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbidez.	
Reactivos	Instrumental
<ul style="list-style-type: none"> • Agua libre de turbidez • Suspensión de turbidez de reserva • Suspensión de turbidez estándar • Estándares alternativos • Estándares diluidos de turbidez 	<ul style="list-style-type: none"> • Turbidímetro • Tubos de muestra
Técnica	
<ul style="list-style-type: none"> • Calibrado de turbidímetro • Medida de turbidez menores de 40 UNT • Medida de turbidez superiores a 40 UNT • Calíbrese soluciones de monitorización continua de turbidez 	

Fuente: (HACH COMPANY,2000).

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Fórmula de cálculo

$$UNT = \frac{A * (B + C)}{C}$$

Ecuación (5-3)

Donde:

A: Unidades nefelométricas de turbidez, (UNT).

B: volumen de agua en dilución, (mL).

C: volumen de la muestra tomada para dilución, (mL).

3.1.3.8. Determinación de Sulfatos

Tabla 10-3: Determinación de sulfatos

Descripción	
<p>El ion sulfato (SO_4^{2-}) precipita en un medio de ácido acético con BaCl_2 (Cloruro de Bario) de modo que forma cristales de BaSO_4 (Sulfato de Bario) de tamaño uniforme. Se mide la absorbancia luminosa de la suspensión de BaSO_4 con un fotómetro y se determina la concentración de (SO_4^{2-}) por comparación de la lectura con una curva patrón.</p>	
Reactivos	Instrumental
<ul style="list-style-type: none"> • Solución tapón A, B • Cloruro de bario • Solución patrón de sulfato 	<ul style="list-style-type: none"> • Agitador magnético • Fotómetro: nefelómetro, espectrofotómetro, fotómetro de filtro • Cronómetro o reloj eléctrico • Cuchara de medida, con capacidad de 0,2 a 0,3 mL
Técnica	
<ul style="list-style-type: none"> • Formación de turbidez con sulfato de bario • Medida de la turbidez del sulfato de bario • Preparación de la curva de calibración • Corrección para el color y la turbidez de la muestra 	

Fuente: (HACH COMPANY,2000).

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Fórmula de cálculo

$$\frac{\text{mgSO}_4^{2-}}{\text{L}} = \frac{\text{mgSO}_4^{2-} * 1000}{\text{mL de muestra}}$$

Ecuación (6-3)

3.1.4. Caracterización del agua residual de curtiembre de la empresa “La Península”

Posterior a la toma de las muestras de agua se procedió a la caracterización de la mismas, ya que, de estos resultados depende en gran parte el rediseño de la planta de tratamiento de agua de la empresa “La Península”. En la Tabla 11-3 y Tabla 12-3 se muestra los resultados de las muestras analizadas de agua de pelambre y curtido.

Tabla 11-3: Caracterización de agua residual del proceso de pelambre

Determinaciones	Unidades	Métodos de análisis	Máximo permisible	Resultados
Ph	-	4 500-H-B	6-9	11,57
Conductividad	mSiems/cm	2 510-B	-	39,46
Color	Und Co/Pt	2 120-C	Inapreciable en dilución:1/20	31 400,00
Turbiedad	NTU	2 130-B	-	2 570,00
Alcalinidad	mg/L	-	-	9 875,00
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	5 220-D	200,00	19 250,00
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L	5 210-B	100,00	6 520,00
Sulfuros	mg/L	4 500-S ⁻² -E	0,5	288,00
Sulfatos	mg/L	4 500-SO ₄ -E	0,5	246,00
Sólidos Sedimentables(TDS)	mL/L	2 540-F	-	240,00
Sólidos Disueltos (SD)	g/L	2 540-C	-	24,25
Sólidos Suspendidos (SS)	mg/L	2 540-D	-	2 170,00
Sólidos Totales (ST)	g/L	2 540-B	1 600,00	37,60

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Tabla 12-3: Caracterización del agua del proceso de curtido

Determinaciones	Unidades	Método de análisis	Máximo permisible	Resultados
pH	-	4500-H-B	6-9	4,2
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	-	55,2
Temperatura	°C	2550-A	<40,0	22,00
Turbiedad	NTU	2130-B	-	140,00
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	2540-C	220,0	3 470,00
Sólidos sedimentables (TDS)	ml/L	2540-B	20,0	2,00
Sólidos totales (ST)	mg/L	2540-A	1600,0	17 800,00
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	5220-C	500,0	3 470,00
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L	5210-B	250,0	1 310,00
Cromo Hexavalente	mg/L	HACH-8023	0,5	0,74
Cromo Total	mg/L	HACH DR 2800	-	512,4

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

3.1.5. Diseño actual de la planta de tratamiento de la empresa “La Península”

En el desarrollo del trabajo se encontró que la planta no estaba en fase operativa tanto por aspectos económicos como situaciones de logística. Se determinó que la planta de tratamiento de agua residual del proceso de curtiembre consta de cinco tanques de diferentes dimensiones cuyo propósito es llevar a cabo operaciones unitarias básicas como: aeración, filtración, homogeneización y sedimentación.

La empresa cuenta con un espacio disponible para la planta de tratamiento de 100 m² de los cuales; 24 m² se encuentran ocupados por la planta antigua como se describe en la Tabla 13-3 en donde podemos observar que existen varios tanques de hormigón en buen estado y con excelente capacidad, los cuales pueden ser considerados con el objetivo de disminuir costos al implementar el rediseño.

3.1.5.1. Vista 2D

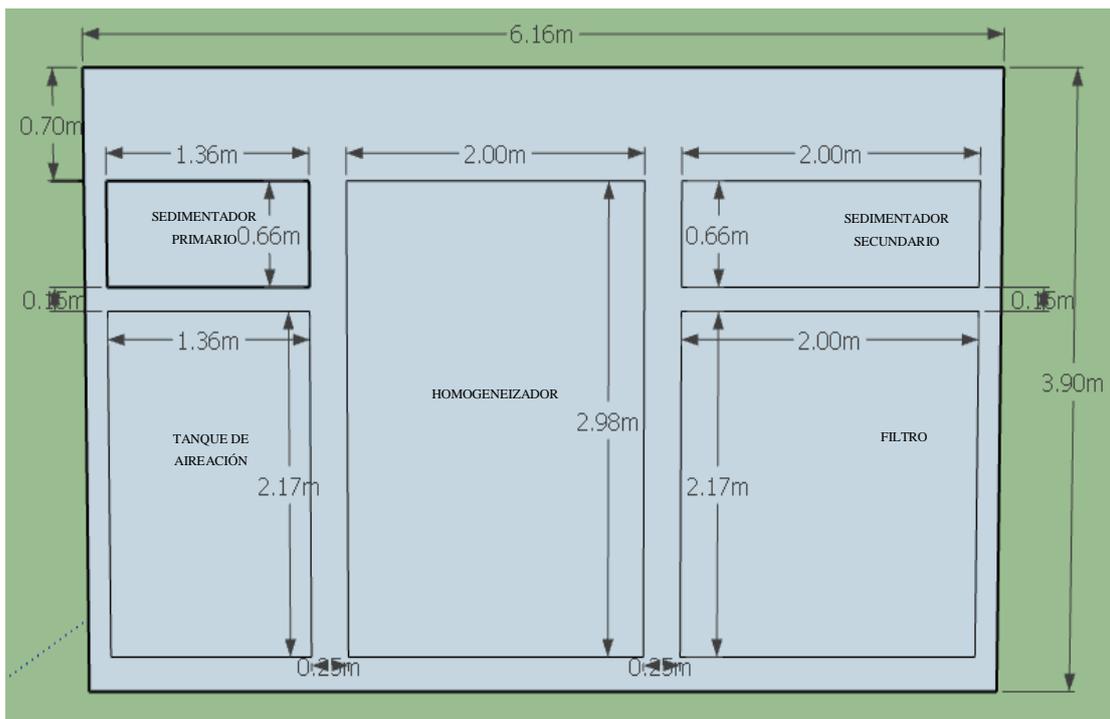


Figura 1-3. Vista 2D de la antigua planta de tratamiento

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Tabla 13-3: Descripción de la antigua planta de tratamiento de aguas residuales

Elementos de la planta	Ancho (m)	Largo (m)	Alto (m)	Capacidad (m ³)
Sedimentador primario	1,36	0,66	0,84	0,75
Tanque aireador	1,36	2,17	0,84	2,47
Tanque homogeneizador	2,00	2,98	0,84	5,01
Sedimentador secundario	2,00	0,66	0,84	1,11
Filtro	2,00	2,17	0,84	3,65

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

3.1.6. Determinación de caudal experimental para agua residual de pelambre y curtido

La medición del caudal experimental se realizó mediante el método volumétrico, este método consiste en medir la cantidad de tiempo que tarda en llenarse un recipiente con un volumen conocido, por lo tanto, se procedió a tomar el tiempo de llenado de un recipiente de 10 litros como se indica en la Tabla 14-3. Este proceso se realizó para agua de residual de pelambre y agua residual de curtido.

Tabla 14-3: Determinación del caudal experimental para el agua de pelambre

Fecha	Horario	Volumen(L)	Tiempo(s)	Caudal (L/s)	Promedio (L/s)
15/1/2021	10:00 a.m.	10,00	35,00	0,29	0,28
	10:30 a.m.	10,00	36,50	0,27	
	11:00 a.m.	10,00	34,30	0,29	
21/2/2021	10:00 a.m.	10,00	36,02	0,28	0,27
	10:30 a.m.	10,00	38,00	0,26	
	11:00 a.m.	10,00	37,90	0,26	
25/3/2021	10:00 a.m.	10,00	37,00	0,27	0,28
	10:30 a.m.	10,00	34,00	0,29	
	11:00 a.m.	10,00	35,00	0,29	
17/4/2021	10:00 a.m.	10,00	38,50	0,26	0,27
	10:30 a.m.	10,00	40,00	0,25	
	11:00 a.m.	10,00	33,90	0,29	
PROMEDIO TOTAL (L/s)					0,28

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Tabla 15-3: Determinación del caudal experimental para el agua de curtido

Fecha	Horario	Volumen(L)	Tiempo(s)	Caudal (L/s)	Promedio (L/s)
12/1/2021	10:00 a.m.	10,00	50,00	0,20	0,19
	10:30 a.m.	10,00	52,00	0,19	
	11:00 a.m.	10,00	53,00	0,19	
17/2/2021	10:00 a.m.	10,00	54,00	0,19	0,19
	10:30 a.m.	10,00	55,30	0,18	
	11:00 a.m.	10,00	51,00	0,20	
22/3/2021	10:00 a.m.	10,00	49,30	0,20	0,20
	10:30 a.m.	10,00	52,30	0,19	
	11:00 a.m.	10,00	50,40	0,20	
4/4/2021	10:00 a.m.	10,00	52,80	0,19	0,19
	10:30 a.m.	10,00	51,90	0,19	
	11:00 a.m.	10,00	52,10	0,19	
PROMEDIO TOTAL (L/s)					0,19

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

3.1.7. Índice de biodegradabilidad de agua de pelambre

El índice de biodegradabilidad es de gran importancia debido a que este nos indica el tipo de tratamiento que podemos dar a nuestras aguas residuales. Este fue calculado aplicando la Ecuación 7-3 y después analizando el resultado en base a la Tabla 16-3.

Tabla 16-3: Índice de biodegradabilidad

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

Fuente: (Metcalf y Eddy, 2000).

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Tabla 17-3: Concentración (DBO₅) y DQO en agua cruda de agua de pelambre

Parámetro	Proceso de pelambre	Límite máximo permisible	Unidad
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	6 520	250	mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	19 250	500	mg/L

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Calculamos del índice de biodegradabilidad para el agua de Pelambre

$$\text{Índice de Biodegradabilidad} = \frac{\text{DBO}_5}{\text{DQO}}$$

Ecuación (7-3)

$$\text{Índice de Biodegradabilidad} = \frac{6\ 520}{19\ 250}$$

$$\text{Índice de Biodegradabilidad} = 0,33$$

El índice de biodegradabilidad de 0,33 según la Tabla 16-3 nos indica que se debe realizar un tratamiento fisicoquímico.

3.1.8. *Índice de biodegradabilidad de agua de curtido*

Tabla 18-3: Concentración (DBO₅) y DQO en agua cruda de curtido

Parámetro	Proceso de curtido	Límite máximo permisible	Unidad
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)	1 310	250	mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	3 470	500	mg/L

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Para el cálculo del índice de biodegradabilidad para el agua de curtido utilizamos la ecuación (7 – 3) nuevamente.

$$\text{Índice de Biodegradabilidad} = \frac{\text{DBO}_5}{\text{DQO}}$$

$$\text{Índice de Biodegradabilidad} = \frac{1\ 310}{3\ 470}$$

$$\text{Índice de Biodegradabilidad} = 0,37$$

Los valores calculados se encuentran dentro del rango biodegradable por encontrarse contenidos en el intervalo de 0,2-0,5, eligiendo así un tratamiento fisicoquímico.

3.1.9. Selección del sistema de tratamiento

Luego del análisis fisicoquímico de agua sin tratar descargada de los procesos de curtido y pelambre (ver Tabla 11-3 y Tabla 12-3 respectivamente) se observan valores fuera de los límites permisibles del TULSMA. Después, se procedió a calcular el índice de biodegradabilidad con el objetivo de elegir un tipo tratamiento adecuado y se obtuvieron valores comprendidos entre 0,2 a 0,5 para el proceso de curtido y proceso de pelambre respectivamente, según la Tabla 14-3 recomienda realizar un tratamiento fisicoquímico para estas aguas. Por lo que se considera un sistema de tratamiento para estos efluentes que consiste en tres etapas que son: etapa de pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario.

En el proceso de tratamiento se deben realizar pruebas de dosificación, en donde, será necesario la utilización del equipo de test de jarras que se encuentra en los laboratorios de agua de la ESPOCH.

3.1.10. Pruebas de tratabilidad

Para realizar las pruebas de tratabilidad se tomaron las muestras conforme lo indica la normativa (ver Tabla 1-3 y Tabla 2-3), después se sometieron las muestras a procesos como: ajuste de pH, elección y dosificación de floculantes y coagulantes.

Se realizaron pruebas a partir de varios coagulantes como: PAC (Policloruro de Aluminio), ClF_3 (Cloruro Férrico) y $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (Sulfato de Aluminio), además se usaron floculantes como: catiónicos, no iónicos y aniónicos. Se usó CaO (Óxido de Calcio) y MnSO_4 (Sulfato de Manganeso) para regular el pH de las muestras.

Las pruebas realizadas en el test de jarras fueron analizadas en base a procesos como: dosificación de floculantes y coagulantes, la remoción de sólidos disueltos en las muestras y tiempo de remoción de las mismas. Finalmente, se mide y analiza la turbidez de cada muestra para determinar la dosificación y proceso adecuado.

3.1.10.1. Test de jarras para el proceso de pelambre

El proceso de test de jarras para agua de pelambre se realizó de la siguiente manera: se tamizó la muestra con la ayuda de una malla plástica para remover la mayor cantidad de sólidos suspendidos en la muestra, se sometió la muestra a un proceso de aireación mediante la ayuda de un equipo aireador, se reguló en pH con la adición de H_2SO_4 (ácido sulfúrico), se escogió el coagulante y floculante.

Se hizo pruebas de remoción de sulfuros mediante la adición de MnSO₄ (Sulfato de Manganeso) a concentraciones desde 100 ppm hasta 500 ppm, posteriormente se sometió la muestra a un proceso de aireación y se analizaron los resultados.

Tabla 19-3: Porcentaje de remoción de sulfuros a diferentes concentraciones se sulfato de manganeso

Concentración (ppm) de MnSO ₄	Concentración de sulfuros (mg/L)				porcentaje de remoción de sulfuros
	Concentración inicial de sulfuros (mg/L)	1 hora	2 horas	3 horas	
100	288	281	270	260	9,72 %
200	288	259	247	231	19,79 %
300	288	250	110	53	81,60 %
400	288	242	228	216	25,00 %
500	288	210	208	199	30,90 %

Realizado por: Flores, Cristian,2021.

Se puede observar que el 81,60 % es el valor más representativo para la remoción de sulfuros, por lo tanto, se sugiere trabajar con una concentración de sulfato de manganeso de 300 ppm por un tiempo de tres horas. Después, se debe analizar el tipo de coagulante y floculante que trabaje de mejor manera en el tratamiento químico de agua de pelambre.

Tabla 20-3: Elección de coagulante para el agua residual de pelambre

Coagulante	Turbiedad (NTU)				
	Ppm	Inicio	1 hora	2 horas	3 horas
PAC	200	2 570	1 450	738	640
Al ₂ (SO ₄) ₃	200	2 570	2 310	1 240	930
FeCl ₃	200	2 570	1 300	940	780

Realizado por: Flores, Cristian,2021.

Como se observa en la Tabla 20-3 se encontró que el coagulante más óptimo para el tratamiento es el PAC con una concentración de 200 ppm y un tiempo de tres horas, debido a que el valor de la turbidez es menor. Después, se debe buscar un pH óptimo para trabajar con este coagulante por lo que se realizaron pruebas de pH.

Para realizar las pruebas de pH se debe añadir H₂SO₄ (Ácido sulfúrico) a la muestra, esto se hace con la finalidad de regular el pH y remover una mayor cantidad de sólidos disueltos.

Tabla 21-3: Pruebas de pH en el agua residual de pelambre

N° de Muestra	pH	concentración PAC (ppm)	Turbiedad (NTU)			
			Inicio	1 hora	2 horas	3 horas
1	5	200	2 570	1 843	1 537	1 430
2	6	200	2 570	2 320	1 487	970
3	7	200	2 570	2 198	1 550	640
4	8	200	2 570	2 345	1 970	847
5	9	200	2 570	2 390	2 215	2 010

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

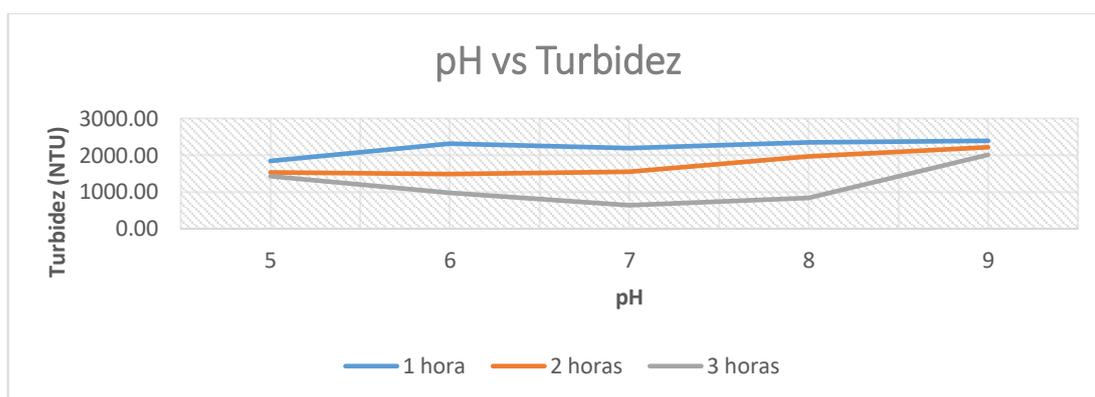


Gráfico 2-3. Pruebas de pH para la muestra de agua residual de pelambre

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Como se puede observar en la Tabla 21-3 y el Gráfico 2-3 el pH óptimo para trabajar la muestra de agua residual de pelambre es 7, por lo tanto, se procedió a realizar pruebas para la dosificación de PAC.

Tabla 22-3: Pruebas de dosificación de PAC en el agua residual de pelambre rango amplio

N° de Muestra	pH	Concentración de PAC (ppm)	Turbiedad (NTU)			
			Inicio	1 hora	2 horas	3 horas
1	7	50	2 570	1 843	1 537	1 430
2	7	100	2 570	2 010	1 487	570
3	7	150	2 570	2 320	1 550	970
4	7	200	2 570	2 345	1 970	847
5	7	250	2 570	2 390	2 215	2 010

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

En la Tabla 22-3 la turbidez disminuye en gran cantidad cuando trabajamos con una concentración de PAC de 100 ppm en un tiempo de 3 horas, por lo tanto, se realizaron más pruebas con la finalidad de remover una mayor cantidad de sólidos disueltos.

Tabla 23-3: Pruebas de dosificación de PAC en el agua residual de pelambre rango corto

N° de Muestra	pH	Concentración de PAC (ppm)	Turbiedad (NTU)			
			Inicio	1 hora	2 horas	3 horas
1	7	20	2 570	2 343	2 235	2 205
2	7	40	2 570	1 114	760	810
3	7	60	2 570	830	650	710
4	7	80	2 570	720	520	225
5	7	100	2 570	2 010	1487	570

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

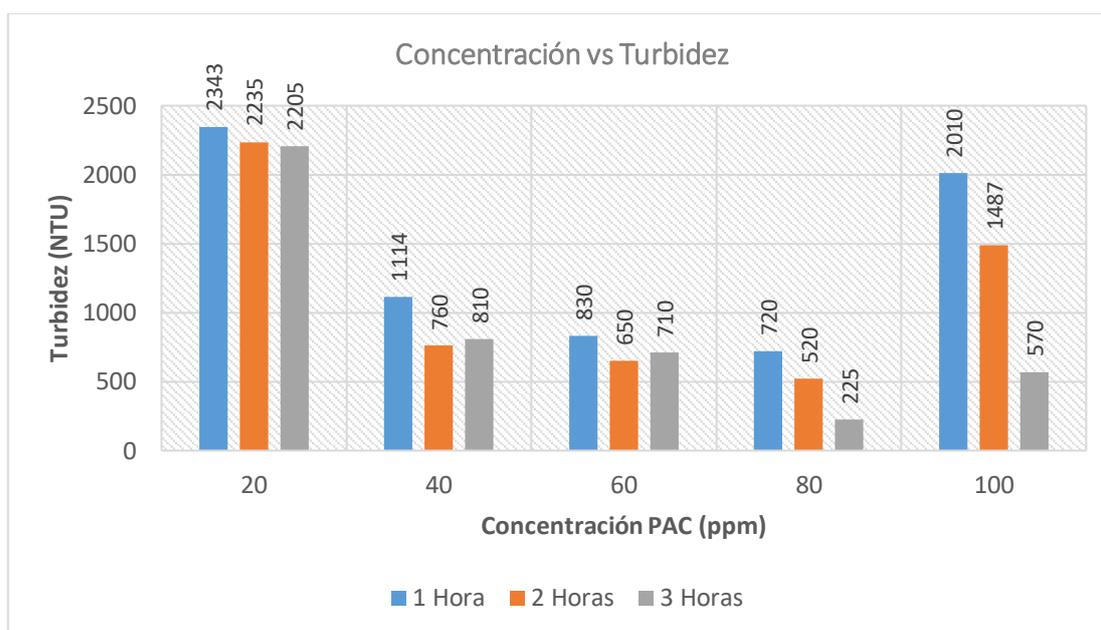


Gráfico 3-3.Concentración vs Turbidez

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

En el Gráfico 3-3 se pueden analizar concentraciones más pequeñas de PAC, en donde, la turbidez es menor a la encontrada en la Tabla 22-3, por lo tanto, se debe trabajar con una concentración de 80 ppm.

Tabla 24-3: Elección de floculante para el tratamiento de agua residual de pelambre

Turbidez (NTU)	Tiempo	Floculantes		
		Aniónico	No iónico	Catiónico
	1 hora	223	340	290
	2 horas	52	220	215
	3 horas	115	198	129

Realizado por: Flores, Cristian, 2021

El polímero que trabaja de mejor manera es el tipo aniónico puesto a que se observaron tres características esenciales al momento de realizar el test de jarras como son: formación de flóculos

de gran tamaño en comparación a las otras muestras, los flóculos se compactan de una manera muy sencilla y los mismos sedimentan fácilmente removiendo gran cantidad de sólidos obteniendo un valor de la turbidez de 52 NTU.

Tabla 25-3: Dosificación de floculante aniónico para el tratamiento de agua residual de pelambre

Nº de Muestra	Concentración de floculante aniónico (ppm)	Concentración de coagulante PAC (ppm)	Turbidez		
			1 hora	2 horas	3 horas
1	2	80	120	89	98
2	4	80	80	45	57
3	6	80	178	120	110
4	8	80	255	220	230

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

En la Tabla 25-3 la dosificación de 4 ppm de floculante aniónico es el más óptimo debido a que en un tiempo de 2 horas la turbidez es menor con un valor 45 NTU.

3.1.10.2. Test de jarras para el proceso de Curtido

Para el proceso de tratabilidad del agua residual de curtido se procederá de manera similar a la de proceso de pelambre, primero se debe elegir el tipo de coagulante.

Tabla 26-3: Prueba de coagulantes para el agua de curtido

Coagulante	Turbidez (NTU)				
	Concentración (ppm)	Inicio	1 hora	2 horas	3 horas
PAC	200	140	87	69	56
Al ₂ (SO ₄) ₃	200	140	135	90	73
FeCl ₃	200	140	100	78	65

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

En la Tabla 26-3 se observa que la turbiedad es menor cuando se trabaja con PAC a una concentración de 200 ppm durante un tiempo de tres horas. Luego, se debe agregar CaO (Óxido de Calcio) para regular el pH.

Tabla 27-3: Prueba de pH para agua residual del proceso de curtido

N° de Muestra	pH	Concentración PAC (ppm)	Turbiedad (NTU)			
			Inicio	1 hora	2 horas	3 horas
1	7	200	140	120	108	83
2	7,5	200	140	105	97	77
3	8	200	140	110	89	70
4	8,5	200	140	98	75	62
5	9	200	140	130	93	75

Realizado por: Flores, Cristian, 2021

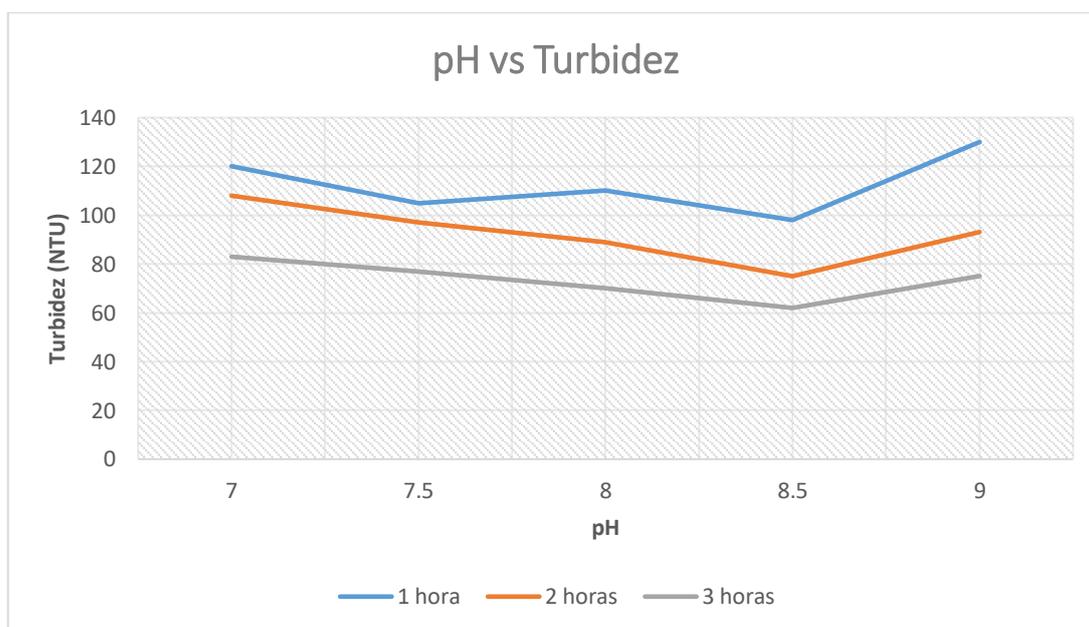


Gráfico 4-3. Pruebas de pH para la muestra de agua residual de curtido

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Se puede observar en la Tabla 27-3 y en el Gráfico 4-3 que en un tiempo de 3 horas la turbiedad baja considerablemente con un pH de 8,5 y una concentración de PAC de 200 ppm, para llegar a este pH se tuvieron que agregar 2 gramos de cal de manera directa a 1000 mL de agua residual.

Tabla 28-3: Prueba de dosificación de PAC rango amplio

N° de Muestra	pH	Concentración de PAC (ppm)	Turbiedad (NTU)			
			Inicio	1 hora	2 horas	3 horas
1	8,5	100	140	112	83	69
2	8,5	200	140	94	70	51
3	8,5	300	140	120	80	67
4	8,5	400	140	115	88	74
5	8,5	500	140	130	99	91

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Para obtener un valor de dosificación óptimo vamos a realizar un análisis en base a valores cercanos a los 200 ppm de PAC con la finalidad de encontrar una dosificación más precisa por lo que en la Tabla 28-3 se analizaron dosificaciones cercanas a los 200 ppm.

Tabla 29-3: Prueba de dosificación de PAC rango corto

Nº de Muestra	pH	Concentración de PAC (ppm)	Turbiedad (NTU)			
			Inicio	1 hora	2 horas	3 horas
1	8,5	120	140	115	86	71
2	8,5	140	140	100	72	58
3	8,5	160	140	92	54	46
4	8,5	180	140	95	66	52
5	8,5	200	140	104	93	71

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

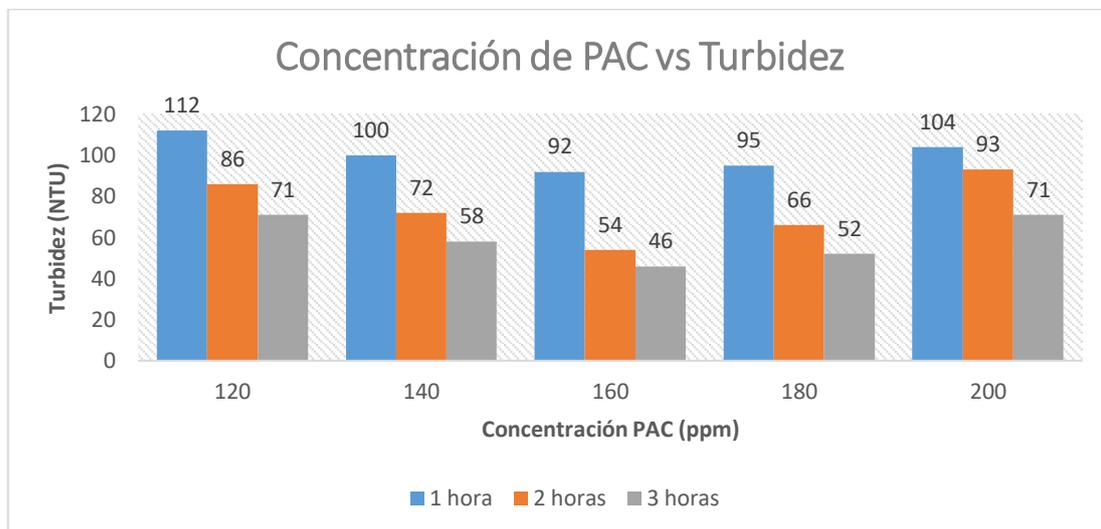


Gráfico 5-3. Dosificación de PAC para agua de curtido

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

El valor de 46 NTU obtenido en la Tabla 29-3 es el más óptimo, por lo tanto, se debe trabajar con una concentración de PAC de 160 ppm y un pH de 8,5 durante un tiempo de 3 horas. Después, se analizó el floculante para trabajar en estas condiciones.

Tabla 30-3: Elección de floculante para el tratamiento de agua residual de curtido

		Floculantes		
		Aniónico	No iónico	Catiónico
Turbidez (NTU)	Tiempo			
	1 hora	75	78	83
	2 horas	54	61	72
	3 horas	43	49	55

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Se observa que el polímero aniónico nos arroja un valor de turbidez de 43 NTU en un tiempo de 3 horas, este valor de turbidez es menor debido a que la remoción de sólidos disueltos es más efectiva, por lo tanto, se procede a buscar una dosificación correcta del mismo.

Tabla 31-3: Dosificación de floculante aniónico para el tratamiento de agua residual de curtido

Nº de Muestra	Concentración de floculante aniónico (ppm)	Concentración de coagulante PAC (ppm)	Turbidez		
			1 hora	2 horas	3 horas
1	2	160	52	45	41
2	4	160	43	38	40
3	6	160	71	52	45
4	8	160	73	55	47

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Se observó que al trabajar con: floculante aniónico a una concentración de 4 ppm, coagulante PAC a una concentración de 160 ppm y un tiempo de 2 horas la turbidez es de 38 NTU. Siendo este el proceso más eficiente para la remoción de contaminantes en el agua de curtido.

3.1.11. Cálculos de ingeniería

Para el desarrollo de los cálculos de ingeniería se ha tomado en cuenta el estado de tres tanques de la planta antigua, esto con el objetivo de brindar un beneficio al dueño de la curtiduría “La Península” tratando de que la inversión sea menor. Por lo tanto, estos tres tanques son parte del nuevo sistema de tratamiento debido a que se encuentran en un excelente estado y como se describe en la Tabla 13-3 el volumen de los mismos es considerable.

3.1.11.1. Rediseño del proceso de tratamiento de aguas residuales del proceso de pelambre

El caudal experimental se determinó mediante el método volumétrico.

$$Q_{Exp} = \frac{v}{t}$$

Ecuación (8-3)

Donde:

Q_{Exp} : Caudal experimental, (L/s).

v: Volumen de agua medido, (10 L).

t: Tiempo, (3,5 s).

$$Q_{Exp} = \frac{10 \text{ L}}{35 \text{ s}}$$

$$Q_{Exp} = 0,28 \text{ L/s}$$

$$Q_{Ma} = Q_{Exp} * F_M$$

Ecuación (9-3)

Donde:

Q_{Ma} : Caudal mayorado, (L/s).

Q_{Exp} : Caudal experimental, (0,28 L/s).

F_M : Factor de mayorización, (0,3 adimensional). Factor de seguridad.

$$Q_{Ma} = 0,28 \text{ L/s} * 0,3$$

$$Q_{Ma} = 0,084 \text{ L/s}$$

$$Q_{DP} = Q_{Exp} * Q_{Ma}$$

Ecuación (10-3)

Donde:

Q_{DP} : Caudal de diseño de agua de pelambre, (L/s).

Q_{Exp} : Caudal experimental, (0,28 L/s).

Q_{Ma} : Caudal mayorado, (0,084 L/s).

$$Q_{DP} = 0,28 \text{ L/s} * 0,084 \text{ L/s}$$

$$Q_{DP} = 0,364 \text{ L/s}$$

$$Q_{DP} = 0,00036 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{DP} = 31,104 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{DP} = 1,296 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Tabla 32-3: Parámetros de diseño para un sistema de cribas de limpieza manual

Variable	Unidad	Medida
Apertura de rejillas	38-150	mm
Velocidad de aproximación	0,60-1,20	ms
Ángulo de inclinación	30-45	°
Ancho de las barras	5,08-15,24	mm
Profundidad del canal	0,43-1,68	m
Ancho del canal	0,30-2,00	m
Espacio entre barras	25,40-38,10	mm
Tirante hidráulico	0,60-1,00	m
Borde libre	0,30-0,60	m

Fuente: (Metcalf & Eddy, 2000)

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

$$A_{\text{paso}} = \frac{Q_{DP}}{V_a}$$

Ecuación (11-3)

Donde:

A_{paso} : Área libre de paso de agua, (m/s).

Q_{DP} : Caudal de diseño de agua de pelambre, (0,00036 m³/h).

V_a : Velocidad de aproximación, (0,60 m/s). Valor considerado en la Tabla 32-3.

$$A_{\text{paso}} = \frac{0,00036 \text{ m}^3/\text{s}}{0,60 \text{ m/s}}$$

$$A_{\text{paso}} = 0,00066 \text{ m}^2$$

$$h_{\text{ti}} = \frac{A_{\text{paso}}}{B_{\text{canal}}}$$

Ecuación (12-3)

Donde:

h_{ti} : Altura del tirante en el canal, (m).

B_{canal} : Ancho del canal, (0, 30 m). Valor considerado en la Tabla 32-3.

A_{paso} : Velocidad entre las rejillas, (0,00066 m²).

$$h_{\text{ti}} = \frac{0,00066 \text{ m}^2}{0,30 \text{ m}}$$

$$h_{ti} = 0,0022 \text{ m}$$

$$h_c = h_{ti} + h_{seg}$$

Ecuación (13-3)

Donde:

h_c : Altura del tirante de construcción, (m).

h_{ti} : Altura del tirante en el canal, (0,0022 m).

h_{seg} : Altura de seguridad, (0,3 m). Valor considerado en la Tabla 32-3.

$$h_c = 0,0022 \text{ m} + 0,3 \text{ m}$$

$$h_c = 0,3022 \text{ m}$$

$$L = \frac{h_c}{\text{sen}\theta}$$

Ecuación (14-3)

Donde:

L: Longitud de las barras, (m).

h_c : Altura del tirante de construcción, (0,3022 m).

θ : Ángulo de inclinación, (45°). Valor considerado de la Tabla 32-3.

$$L = \frac{0,6 \text{ m}}{\text{sen}(45)}$$

$$L = 0,43 \text{ m}$$

$$N_{barras} = \frac{B_{canal}}{e_{barras} + s_{barras}}$$

Ecuación (15-3)

Donde:

N_{barras} : Numero de barras, (adimensional)

B_{canal} : Ancho del canal, (0, 30 m). Valor considerado en la tabla 32-3.

e_{barras} : Espesor de las barras, (0,006 m). Valor considerado en la tabla 32-3.

s_{barras} : Separación entra las barras, (0,0027 m). Valor considerado en la tabla 32-3.

$$N_{barras} = \frac{0,30 \text{ m}}{0,005 \text{ m} + 0,025 \text{ m}}$$

$$N_{\text{barras}} = 10 \text{ unidades}$$

Tabla 33-3: Factor de pérdida según la forma de la barra

Forma	A	B	C	D	R	F	G
Factor según la forma de la barra (β)	2,48	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

Realizado por: Flores, Cristian, 2021

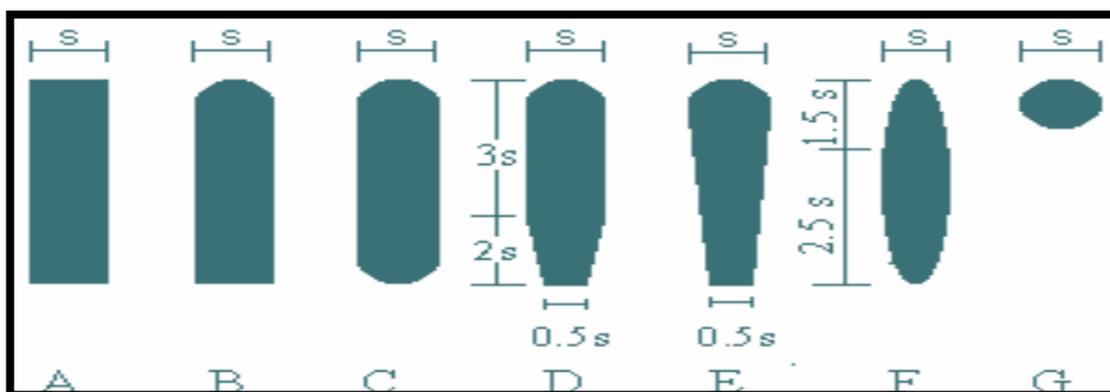


Figura 2-3. Variedad de formas de varillas para rejilla

Fuente: Norma RAS, 2000, p. 51.

Realizado por: Flores, Cristian, 2021

Se considera trabajar con la forma de varilla tipo G ya que es muy factible adquirirla.

$$H = \beta * \left(\frac{s_{\text{barras}}}{e_{\text{barras}}} \right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{v^2}{2g} \right) * \text{Sen}\theta$$

Ecuación (16-3)

Donde:

H: Pérdida de carga, (m).

e_{barras} : Espesor de las barras, (0,006 m). Valor considerado de la Tabla 32-3.

s_{barras} : Separación entre las barras, (0,0027 m). Valor considerado de la Tabla 32-3.

V_a : Velocidad de aproximación, (0,60 m/s). Valor considerado de la Tabla 32-3.

g: Gravedad, (9,8 m/s²).

θ : Ángulo de inclinación, (45°). Valor considerado de la Tabla 32-3.

B: Factor según la forma de la barra, (1,79 adimensional). Valor considerado de la Tabla 33-3.

$$H = 1,79 * \left(\frac{0,0027 \text{ m}}{0,006 \text{ m}} \right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{0,60 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 * \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)} \right) * \text{Sen}45$$

$$H = 0,01 \text{ m}$$

Se obtuvo un valor de 0,01 m lo que quiere decir que el valor de esta pérdida es admisible

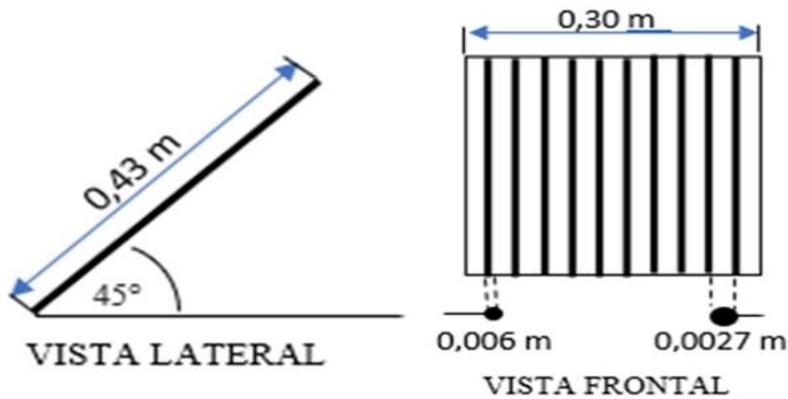


Figura 3-3. Rejillas para el tratamiento de aguas de pelambre

Realizado por: Flores, Cristian, 2021

El propósito del vertedero en la entrada a la planta de tratamiento de agua residual es controlar el caudal de trabajo.

Tabla 34-3: Criterios de diseño para el vertedero rectangular

Variable	Unidad	Medida
Ancho de la cresta	0,076	m
Relación entre la cresta y el ancho del canal	1:1,5	-
Relación entre el largo de la caja vertedora y el ancho del canal	5:1	-
Tipo de cresta	Ancha	

Fuente: (Monroy, 2010)

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

$$B = 1,5 \times w$$

Ecuación (17-3)

Donde:

B: Ancho del vertedero, (m).

w: Ancho de la cresta, (0,076 m). Valor considerado de la Tabla 34-3.

$$B = 1,5 \times 0,076 \text{ m}$$

$$B = 0,114 \text{ m}$$

$$C_e = 0,61 \times \left(1 - \frac{w}{10(B)}\right)$$

Ecuación (18-3)

Donde:

C_e : Coeficiente de descarga (adimensional)

w: Ancho de la cresta, (0,076 m). Valor considerado de la Tabla 34-3.

B: Ancho del vertedero, (0,114 m).

$$C_e = 0,61 \times \left(1 - \frac{0,076 \text{ m}}{10(0,114)\text{m}}\right)$$

$$C_e = 0,569$$

$$H_c = \sqrt[3]{\left(\frac{3Q}{2C_e \times w \times \sqrt{2g}}\right)^2}$$

Ecuación (19-3)

Donde:

Q_{DP} : Caudal de diseño de agua de pelambre, (0,00036 m³/s).

C_e : Coeficiente de descarga, (0,569 adimensional).

g: Fuerza de la gravedad, (9,8 m/s²).

H_c : Carga hidráulica, (m).

w: Ancho de la cresta, (0,076 m). Valor considerado de la Tabla 34-3.

$$H_c = \sqrt[3]{\left(\frac{3Q}{2C_e * w * \sqrt{2g}}\right)^2}$$

$$H_c = \sqrt[3]{\left(\frac{3(0,00036 \text{ m}^3/\text{s})}{(2)(0,569) * (0,076 \text{ m}) * (\sqrt{(2)(9,81)})}\right)^2}$$

$$H_c = 0,011 \text{ m}$$

$$A = H_c \times B$$

Ecuación (20-3)

Donde:

A: Área del canal, (m²).

H_c: Carga hidráulica, (0,011 m).

B: Ancho del canal, (0,114 m).

$$A = 0,011 \text{ m} \times 0,114 \text{ m}$$

$$A = 0,00132 \text{ m}^2$$

$$h_v = H_c - \frac{Q_{DP}^2}{2gA^2}$$

Ecuación (21-3)

Donde:

h_v: Altura mínima del vertedero, (m).

H_c: Carga hidráulica, (0,011 m).

Q_{DP}: Caudal de diseño de agua de pelambre, (0,00036 m³/s).

g: Fuerza de la gravedad, (9,8 m/s²).

A: Área del vertedero, (m²).

$$h_v = 0,011 \text{ m} - \frac{(0,00036 \text{ m}^3/\text{s})^2}{(2)(9,8 \text{ m/s})(0,00132 \text{ m}^2)}$$

$$h_v = 0,0072 \text{ m}$$

$$P_m = B + 2H$$

Ecuación (22-3)

Donde:

P_m: Perímetro mojado, (m).

B: Ancho del canal, (m).

H: Carga hidráulica, (m).

$$P_m = 0,114 \text{ m} + (2)(0,011 \text{ m})$$

$$P_m = 0,136 \text{ m}$$

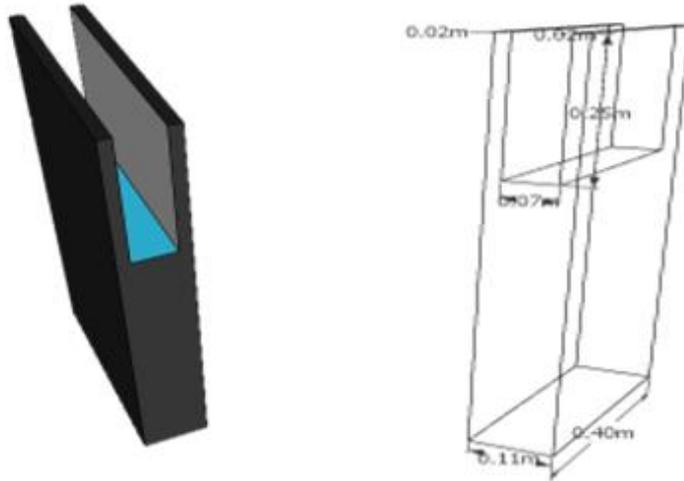


Figura 4-3. Canal de entrada para el proceso de agua de pelambre

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Para el proceso de aireación se utilizarán las dimensiones de uno de los tanques que están ya construidos en la planta actual debido a que se busca optimizar recursos en el rediseño.

$$V_{T.\text{aireación}} = H_{\text{tan}} * A_{\text{tan}} * L_{\text{tan}}$$

Ecuación (23-3)

Donde:

$V_{T.\text{aireación}}$: Volumen del tanque de aireación, (m^3).

H_{tan} : Altura del tanque de aireación, (0,84 m). Valor considerado de la Tabla 13-3.

A_{tan} : Ancho del tanque de aireación, (1,36 m). Valor considerado de la Tabla 13-3.

L_{tan} : Largo del tanque de aireación, (2,17 m). Valor considerado de la Tabla 13-3.

$$V_{T.\text{aireación}} = 0,84 \text{ m} * 1,36 \text{ m} * 2,17 \text{ m}$$

$$V_{T.\text{aireación}} = 2,47 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{aire}} = \text{DBO}_5 * Q_D$$

Ecuación (24-3)

Donde:

Q_{aire} : Caudal de aire necesario, (m^3/min).

DBO_5 : Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días, (6 520 mg/L).

Q_D : Caudal de diseño de agua de pelambre, ($31,10 \text{ m}^3/\text{día}$).

$$Q_{\text{aire}} = 6\,520 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * 31,10 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1 \times 10^6 \text{ mg}} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{154 \text{ m}^3 \text{ aire}}{1 \text{ Kg DBO}_5} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_{\text{aire}} = 21,68 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{min}}$$

$$P_{\text{agua}} = \rho * g * H_{\text{tan}}$$

Ecuación (25-3)

Donde:

P_{agua} : Presión del agua, (psi).

ρ : Densidad del agua a 20 °C, (998 Kg/m³).

g : Gravedad, (9,8 m/s²).

H_{tan} : Altura del tanque de aireación, (0,84 m). Valor tomado de la Tabla 13-3.

$$P_{\text{agua}} = 998 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,84 \text{ m}$$

$$P_{\text{agua}} = 8215,53 \text{ pa} \frac{1 \text{ atm}}{101325 \text{ pa}} * \frac{14,7 \text{ psi}}{1 \text{ atm}}$$

$$P_{\text{agua}} = 1,19 \text{ psi}$$

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{agua}}$$

Ecuación (26-3)

Donde:

P_{abs} : Presión absoluta, (psi).

P_{atm} : Presión atmosférica, (14,7 psi).

P_{agua} : Presión del agua, (1,19 psi).

$$P_{\text{abs}} = 14,7 \text{ psi} + 1,19 \text{ psi}$$

$$P_{\text{abs}} = 15,89 \text{ psi}$$

$$\Delta T_{\text{Compresión}} = \frac{T_{\text{Amb}}}{\eta} \left[\left(\frac{P_{\text{abs}}}{P_{\text{atm}}} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

Ecuación (27-3)

Donde:

$\Delta T_{\text{Compresión}}$: Variación térmica del aire, (°C).

T_{Amb} : Temperatura ambiente, (20 °C).

η : Eficiencia asumida del compresor, (0,75).

P_{abs} : Presión absoluta, (15,89 psi).

P_{atm} : Presión atmosférica, (14,7 psi)

$$\Delta T_{\text{Compresión}} = \frac{20 \text{ °C}}{0,75} \left[\left(\frac{15,89 \text{ psi}}{14,7 \text{ psi}} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$\Delta T_{\text{Compresión}} = 8,7 \text{ °C}$$

$$T_{\text{sal}} = T_{\text{Amb}} + \Delta T_{\text{Compresión}}$$

Ecuación (28-3)

Donde:

T_{sal} : Temperatura de salida de aire, (°C).

$\Delta T_{\text{Compresión}}$: Variación térmica del aire, (8,7 °C).

T_{Amb} : Temperatura ambiente, (20 °C).

$$T_{\text{sal}} = 20 \text{ °C} + 8,7 \text{ °C}$$

$$T_{\text{sal}} = 28,7 \text{ °C}$$

$$P_{\text{com}} = \frac{Q_{\text{aire}} * R * T_{\text{Amb}}}{0,75 * n * \eta} * \left[\left(\frac{P_{\text{abs}}}{P_{\text{atm}}} \right)^n - 1 \right] 0,7457$$

Ecuación (29-3)

Donde:

P_{com} : Potencia del compresor, (HP).

P_{abs} : Presión absoluta, (15,89 psi).

P_{atm} : Presión atmosférica, (14,7 psi).

n : Constante para el aire, (0,283 adimensional).

Q_{aire} : Caudal de aire necesario, (21,68 m³/min; 0,43 Kg/s).

R: Contante de gases ideales para aire seco, (29,27 m/K)

T_{Amb}: Temperatura ambiente, (20 °C; 273 K).

η: Eficiencia asumida del compresor, (0,75 adimensional).

$$P_{com} = \frac{0,43 \frac{Kg}{s} * 29,27 \frac{m}{K} * 273K}{0,75 * 0,283 * 0,75} * \left[\left(\frac{P_{abs}}{P_{atm}} \right)^{0,283} - 1 \right] 0,7457$$

$$P_{com} = 5,16 \text{ KW}$$

$$P_{com} = 6,92 \text{ HP}$$

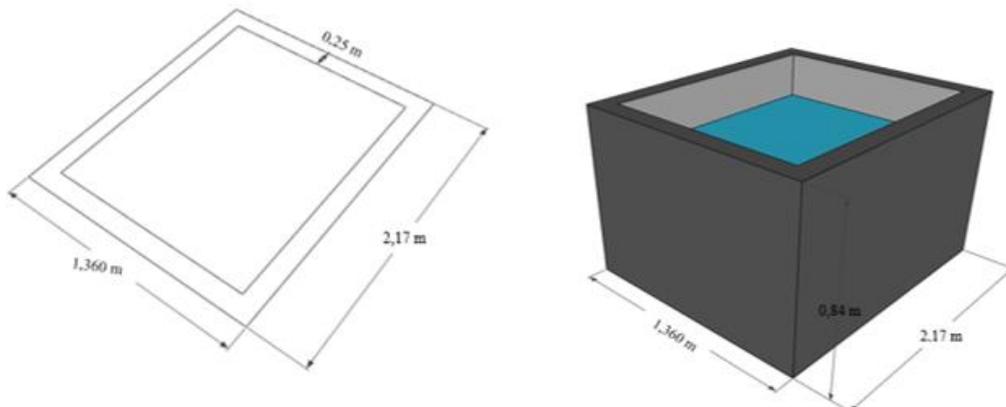


Figura 5-3. Tanque de aireación para tratamiento de agua residual de pelambre

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Se utilizará un tanque de la antigua planta de tratamiento

$$V_{tfc} = H_{tfc} * A_{tfc} * L_{tfc}$$

Ecuación (30-3)

Donde:

V_{tfc} : Volumen del tanque de aireación, (m³).

H_{tfc}: Altura del tanque de floculación, (1,25 m). Valor tomado de la Tabla 13-3.

A_{tfc}: Ancho del tanque de floculación, (2,00 m). Valor tomado de la Tabla 13-3.

L_{tfc}: Largo del tanque de floculación, (2,98 m). Valor tomado de la Tabla 13-3.

$$V_{tfc} = 0,84 \text{ m} * 2,00 \text{ m} * 2,98 \text{ m}$$

$$V_{tfc} = 5,01 \text{ m}^3$$

$$L_{\text{Paleta}} = \frac{A_{\text{tfc}}}{4}$$

Ecuación (31-3)

Donde:

L_{Paleta} : Longitud de la paleta, (m).

A_{tfc} : Ancho del tanque de mezclado, (2 m). Valor tomado de la tabla 13-3

$$L_P = \frac{2 \text{ m}}{4}$$

$$L_{\text{Paleta}} = 0,5 \text{ m}$$

Tabla 35-3: Parámetro del mezclador

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

Fuente: (programa regional HPE/OPS/CEPIS, 1992)

Realizado por: Flores, Cristian,2021

$$P_{\text{Dis}} = G^2 * \mu * V_{\text{tfc}}$$

Ecuación (32-3)

Donde:

P_{Dis} : Potencia disipada del agua residual, (HP).

G: Gradiente de velocidad, (500 s^{-1}). Valor considerado en la Tabla 35-3.

μ : Viscosidad dinámica del agua a 20 °C, (0,001003 Kg /m s²).

V_{tfc} : Volumen del tanque de floculación, (5,01 m³).

$$P_{\text{Dis}} = (500 \text{ s}^{-1})^2 * 0,001003 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \text{s}^2 * 5,01 \text{ m}^3$$

$$P_{\text{Dis}} = 1256,26 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{745,7 \text{ W}}$$

$$P_{\text{Dis}} = 1,68 \text{ HP}$$

$$A_{\text{paletas}} = \frac{P_{\text{Dis}}}{C_d * \rho * v_p^3}$$

Ecuación (33-3)

Donde:

P_{Dis} : Potencia disipada del agua residual, (1,68 HP).

ρ : Densidad del agua a 20 °C, (998 Kg/m³).

C_d : Coeficiente de resistencia al avance de las paletas, (1,20 adimensional).

v_p^3 : velocidad de las paletas respecto al fluido, (0,75 m/s).

$$A_{\text{paletas}} = \frac{1\ 256,26\ \text{W}}{1,20 * 998\ \text{Kg/m}^3 * 0,75^3}$$

$$A_{\text{paletas}} = 2,48\ \text{m}^2$$

$$T_{\text{ret}} = \frac{Q_{\text{Di}}}{V_{\text{tfc}}}$$

Ecuación (34-3)

Donde:

T_{ret} : Tiempo de retención, (h).

Q_{Di} : Caudal de diseño agua de pelambre, (1,296 m³/h).

V_{tfc} : Volumen del tanque de floculación, (5,01 m³).

$$T_{\text{ret}} = \frac{1,296\ \text{m}^3/\text{h}}{5,01\ \text{m}^3}$$

$$T_{\text{ret}} = 0,26\ \text{h}$$

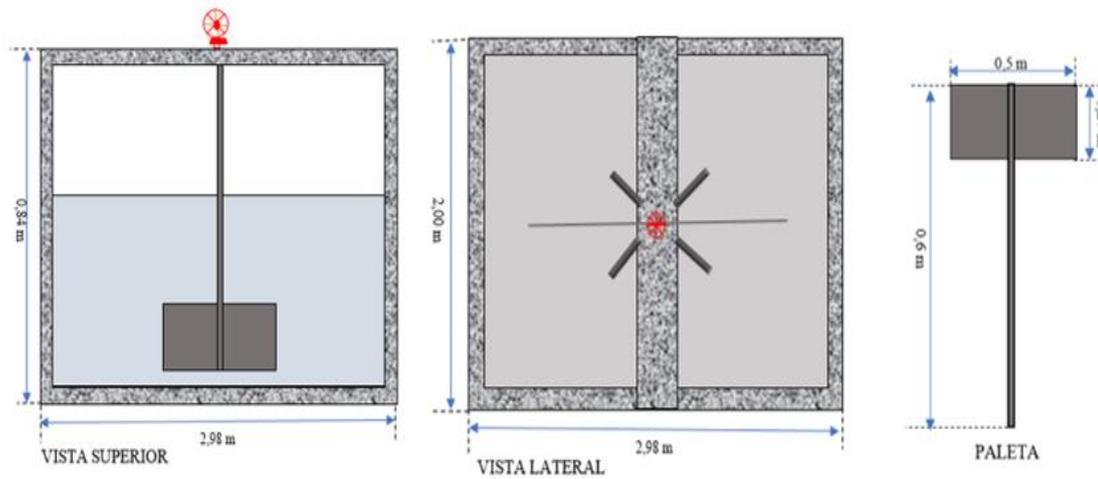


Figura 6-3. Tanque de coagulación-floculación para el agua de pelambre

Realizado por: Flores, Cristian, 2021

Tabla 36-3: Criterio para diseño de tanques sedimentadores

Parámetro	Intervalo	Valor típico
Carga superficial (m ³ /m ² día)	30-50	40
Tiempo de retención (h)	1,5-3	2
Profundidad (m)	3-4,5	3,6
Carga sobre el vertedero (m ³ /m día)	125-500	250

Fuente: (Metcalf y Eddy, 2000, p.190).

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

$$A_{su} = \frac{Q_{DP}}{C_{su}}$$

Ecuación (35-3)

Donde:

A_{su} : Área superficial del sedimentador, (m²).

Q_{DP} : Caudal de diseño de agua de pelambre, (31,10 m³/día).

C_{su} : Carga superficial, (40 m³/m² día). Valor considerado de la Tabla 36-3.

$$A_{su} = \frac{31,10 \text{ m}^3/\text{día}}{40 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}}$$

$$A_{su} = 0,77 \text{ m}^2$$

$$D_{sed} = \sqrt{4 \frac{A_{su}}{\pi}}$$

Ecuación (36-3)

Donde:

D_{sed} : Diámetro del sedimentador, (m).

A_{su} : Área superficial del sedimentador, (0,77 m²).

$$D_{sed} = \sqrt{4 \frac{0,77 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D_{sed} = 0,99 \text{ m}$$

$$r = \frac{D_{sed}}{2}$$

Ecuación (37-3)

Donde:

r: radio del sedimentador, (m).

D_{sed} : Diámetro del sedimentador, (0,99 m).

$$r = \frac{0,99 \text{ m}}{2}$$

$$r = 0,495 \text{ m}$$

$$V_{sed} = \pi * r^2 * H$$

Ecuación (38-3)

Donde:

V_{sed} : Volumen del sedimentador, (m³)

r: Radio del sedimentador, (m).

H: Altura, (3 m). valor considerado en la Tabla 36-3.

$$V_{\text{sed}} = \pi * (0,495 \text{ m})^2 * 3 \text{ m}$$

$$V_{\text{sed}} = 2,30 \text{ m}^3$$

$$\text{Trh} = \frac{V_{\text{sed}}}{Q_{\text{DP}}}$$

Ecuación (39-3)

Donde:

V_{sed} : Volumen del sedimentador, (2,30 m³).

Q_{DP} : Caudal de diseño de agua de curtido, (1,296 m³/h).

$$\text{Trh} = \frac{2,30 \text{ m}^3}{1,296 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$\text{Trh} = 1,77 \text{ h}$$

$$\text{Trh} = 106,20 \text{ min}$$

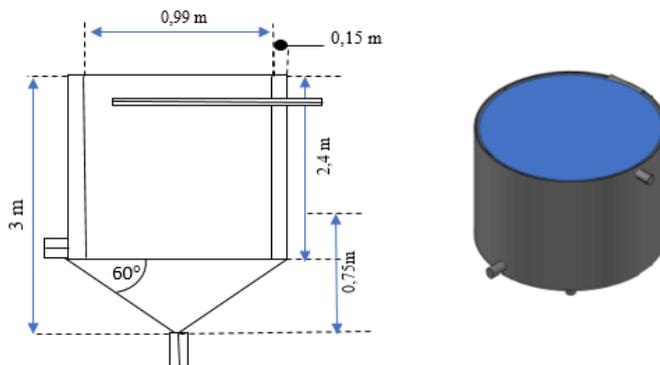


Figura 7-3. Diseño del tanque sedimentador

Realizado por: Flores, Cristian,2021

3.1.11.2. Rediseño del proceso de tratamiento de aguas residuales de curtido

El caudal el experimental se determinó mediante el método volumétrico.

$$Q_{Exp} = \frac{v}{t}$$

Ecuación (40-3)

Donde:

Q_{Exp} : Caudal experimental, (L/s).

v: Volumen de agua medido, (10 L).

t: Tiempo, (3,5 s).

$$Q_{Exp} = \frac{10 \text{ L}}{52 \text{ s}}$$

$$Q_{Exp} = 0,192 \text{ L/s}$$

$$Q_{Ma} = Q_{Exp} * F_M$$

Ecuación (41-3)

Donde:

Q_{Ma} : Caudal mayorado, (L/s).

Q_{Exp} : Caudal experimental, (0,19 L/s).

F_M : Factor mayorado, (0,3 adimensional). Factor se seguridad (Metcalf & Eddy, 2000)

$$Q_{Ma} = 0,19 \text{ L/s} * 0,3$$

$$Q_{Ma} = 0,057 \text{ L/s}$$

$$Q_{DC} = Q_{Exp} * Q_{Ma}$$

Ecuación (42-3)

Donde:

Q_{DC} : Caudal de diseño de agua de curtido, (L/s).

Q_{Exp} : Caudal experimental, (0,19 L/s).

Q_{Ma} : Caudal mayorado, (0,057 L/s).

$$Q_{DC} = 0,19 \frac{\text{L}}{\text{s}} + 0,057 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

$$Q_{DC} = 0,247 \text{ L/s}$$

$$Q_{DC} = 0,00024 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{DC} = 21,36 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{DC} = 0,89 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$A_{\text{paso}} = \frac{Q_{DC}}{V_a}$$

Ecuación (43-3)

Donde:

A_{paso} : Velocidad entre las rejas, (m/s).

Q_{DC} : Caudal de diseño de agua de curtido, (0,00024 L/s).

V_a : Velocidad de aproximación, (0,60 m/s). valor considerado en la Tabla 32-3

$$A_{\text{paso}} = \frac{0,00024 \text{ m}^3/\text{s}}{0,60 \text{ m/s}}$$

$$A_{\text{paso}} = 0,0004 \text{ m}^2$$

$$h_{ti} = \frac{A_{\text{paso}}}{B_{\text{canal}}}$$

Ecuación (44-3)

Donde:

h_{ti} : Altura del tirante en el canal, (m).

B_{canal} : Ancho del canal, (0, 30 m). Valor considerado en la Tabla 32-3

A_{paso} : Velocidad entre las rejas, (0,0004 m²).

$$h_{ti} = \frac{0,0004 \text{ m}^2}{0,30 \text{ m}}$$

$$h_{ti} = 0,0013 \text{ m}$$

$$h_c = h_{ti} + h_{seg}$$

Ecuación (45-3)

Donde:

h_c : Altura del tirante de construcción, (m).

h_{ti} : Altura del tirante en el canal, (0,0013 m).

h_{seg} : Altura de seguridad, (0,3 m). Valor considerado de la Tabla 32-3.

$$h_c = 0,0013 \text{ m} + 0,3 \text{ m}$$

$$h_c = 0,3013 \text{ m}$$

$$L = \frac{h_c}{\text{sen}\theta}$$

Donde:

L: Longitud de las barras, (m).

h_c : Altura del tirante de construcción, (0,3013 m).

θ : Ángulo de inclinación, (45°). Valor considerado de la Tabla 32-3.

$$L = \frac{0,3013 \text{ m}}{\text{sen}(45)}$$

$$L = 0,42 \text{ m}$$

$$N_{barras} = \frac{B_{canal}}{e_{barras} + s_{barras}}$$

Donde:

N_{barras} : Numero de barras, (adimensional)

B_{canal} : Ancho del canal, (0, 30 m).

e_{barras} : Espesor de las barras, (0,006 m). Valor considerado en la Tabla 30-3.

s_{barras} : Separación entre las barras, (0,0025 m). Valor considerado en la Tabla 30-3.

$$N_{barras} = \frac{0,30 \text{ m}}{0,01 \text{ m} + 0,025 \text{ m}}$$

$$N_{\text{barras}} = 8,57 \approx 9 \text{ unidades}$$

$$H = \beta * \left(\frac{s_{\text{barras}}}{e_{\text{barras}}} \right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{v^2}{2g} \right) * \text{Sen}\theta$$

Donde:

H: Pérdidas de carga, (m).

e_{barras} : Espesor de las barras, (0,006 m). Valor considerado en la Tabla 32-3.

s_{barras} : Separación entre las barras, (0,0027 m). Valor considerado en la Tabla 32-3.

V_a : Velocidad de aproximación, (0,60 m/s). Valor considerado en la Tabla 32-3.

g: Gravedad, (9,8 m/s²).

θ : Ángulo de inclinación, (45°). Valor considerado en la tabla 32-3.

B: Factor según la forma de la barra, (1,79 adimensional). Valor considerado en la tabla 33-3.

$$H = 1,79 * \left(\frac{0,0025 \text{ m}}{0,006 \text{ m}} \right)^{\frac{4}{3}} * \left(\frac{0,60 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{2 * \left(9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right)} \right) * \text{Sen}(45)$$

$$H = 0,012 \text{ m}$$

Se obtuvo un valor de 0,012 m lo que quiere decir que el valor de esta pérdida es mínima

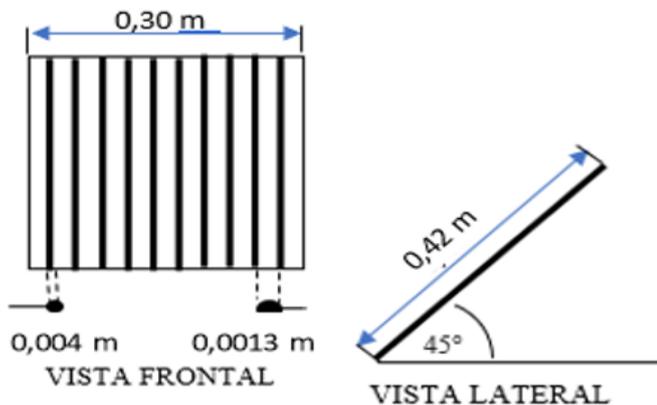


Figura 8-3. Rejillas para el agua residual de curtidero

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

El propósito del vertedero en la entrada a la planta de tratamiento de agua residual es controlar el caudal de trabajo.

$$B = 1,5 * w$$

Ecuación (46-3)

Donde:

B: Ancho del canal, (m).

w: Ancho de la cresta, (0,065 m). Valor considerado de la Tabla 34-3.

$$B = 1,5 * 0,065 \text{ m}$$

$$B = 0,09 \text{ m}$$

$$C_e = 0,61 * \left(1 - \frac{w}{10(B)}\right)$$

Ecuación (47-3)

Donde:

C_e: Coeficiente de descarga (adimensional)

w: Ancho de la cresta, (0,065 m). Valor considerado de la Tabla 34-3.

B: Ancho del canal, (0,09 m).

$$C_e = 0,61 * \left(1 - \frac{0,065 \text{ m}}{10 * (0,09) \text{ m}}\right)$$

$$C_e = 0,605$$

$$H_c = \sqrt[3]{\left(\frac{3Q_{DC}}{2C_e * w * \sqrt{2g}}\right)^2}$$

Ecuación (48-3)

Donde:

H_c: Carga hidráulica, (m).

Q_{DC}: Caudal de diseño de agua de curtido, (0,00024 L/s).

C_e: Coeficiente de descarga, (0,605 adimensional).

g: Fuerza de la gravedad, (9,8 m/s²).

w: Ancho de la cresta, (0,065 m). Valor considerado de la Tabla 34-3.

$$H_c = \sqrt[3]{\left(\frac{3 * (0,00024 \text{ L/s})}{(2) * (0,605) * (0,065 \text{ m}) * (\sqrt{(2)(9,8 \text{ m/s}^2)})}\right)^2}$$

$$H_c = 0,002 \text{ m}$$

$$A = H_c * B$$

Ecuación (49-3)

Donde:

A: Área del canal, (m²).

H_c: Carga hidráulica, (0,002 m).

B: Ancho del canal, (0,09 m).

$$A = 0,002 \text{ m} \times 0,09 \text{ m}$$

$$A = 0,00018 \text{ m}^2$$

$$h_v = H_c - \frac{Q_{DC}^2}{2gA^2}$$

Ecuación (50-3)

Donde:

h_v: Altura mínima del canal, (m).

H_c: Carga hidráulica, (0,02 m).

Q_{DC}: Caudal de diseño de agua de curtido, (0,00024 L/s).

g: Fuerza de la gravedad, (9,8 m/s²).

A: Área del canal, (0,0018 m²).

$$h_v = 0,002 \text{ m} - \frac{(0,00024 \text{ L/s})^2}{(2)(9,8 \text{ m/s}^2)(0,00018 \text{ m}^2)^2}$$

$$h_v = 0,09 \text{ m}$$

$$P_m = B + 2H_c$$

Ecuación (51-3)

Donde:

P_m : Perímetro mojado, (m).

B: Ancho del vertedero, (0,09 m).

H_c : Carga hidráulica, (0,02 m).

$$P_m = 0,09 \text{ m} + (2) * (0,002 \text{ m})$$

$$P_m = 0,094 \text{ m}$$

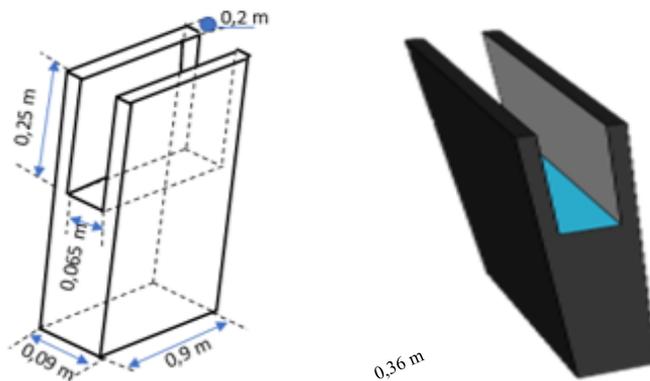


Figura 9-3. Diseño del canal de entrada para agua de curtido

Realizado por: Flores, Cristian,2021

Se utilizará un tanque de la antigua planta de tratamiento

$$V_{tfc} = H_{tfc} * A_{tfc} * L_{tfc}$$

Ecuación (52-3)

Donde:

V_{tfc} : Volumen del tanque de coagulación-floculación, (m^3).

H_{tfc} : Altura del tanque de coagulación -floculación, (0,84 m). Valor tomado de la Tabla 13-3.

A_{tfc} : Ancho del tanque de coagulación-floculación, (2,00 m). Valor tomado de la Tabla 13-3.

L_{tfc} : Largo del tanque de coagulación-floculación, (2,17 m). Valor tomado de la Tabla 13-3.

$$V_{tfc} = 0,84 \text{ m} * 2,00 \text{ m} * 2,17 \text{ m}$$

$$V_{tfc} = 3,65 \text{ m}^3$$

$$L_{\text{Paleta}} = \frac{A_{\text{tfc}}}{4}$$

Donde:

L_{Paleta} : Longitud de la paleta, (m).

A_{tfc} : Ancho del tanque de mezclado, (2 m). Valor tomado de la tabla 13-3.

$$L_P = \frac{2 \text{ m}}{4}$$

$$L_{\text{Paleta}} = 0,5 \text{ m}$$

Longitud de las paletas

$$P_{\text{Dis}} = G^2 * \mu * V_{\text{tfc}}$$

Ecuación (53-3)

Donde:

P_{Dis} : Potencia disipada del agua residual, (HP).

G : Gradiente de velocidad, (500 s^{-1}). Valor considerado en la tabla 35-3.

μ : Viscosidad dinámica del agua a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, ($0,001003 \text{ Kg/m s}^2$).

V_{tfc} : Volumen del tanque de floculación, ($3,65 \text{ m}^3$).

$$P_{\text{Dis}} = (500 \text{ s}^{-1})^2 * 0,001003 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} \text{s}^2 * 3,65 \text{ m}^3$$

$$P_{\text{Dis}} = 915,24 \text{ W} * \frac{1 \text{ HP}}{745,7 \text{ W}}$$

$$P_{\text{Dis}} = 1,22 \text{ HP}$$

$$A_{\text{paletas}} = \frac{P_{\text{Dis}}}{C_d * \rho * v_p^3}$$

Ecuación (54-3)

Donde:

P_{Dis} : Potencia disipada del agua residual, (915,24 W).

ρ : Densidad del agua a $20 \text{ }^\circ\text{C}$, (998 Kg/m^3).

C_d : Coeficiente de resistencia al avance de las paletas, (1,20 adimensional).

v_p^3 : Velocidad de las paletas respecto al fluido, (0,75 m/s).

$$A_{\text{paletas}} = \frac{915,24 \text{ W}}{1,20 * 998 \text{ Kg/m}^3 * (0,75 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3}$$

$$A_{\text{paletas}} = 1,81 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{ret}} = \frac{Q_{\text{DC}}}{V_{\text{tfc}}}$$

Ecuación (55-3)

Donde:

T_{ret} : Tiempo de retención, (h).

Q_{DC} : Caudal de diseño de agua de curtido, (0,89 m³/h).

V_{tfc} : Volumen del tanque de floculación, (3,65 m³).

$$T_{\text{ret}} = \frac{0,89 \text{ m}^3/\text{h}}{3,65 \text{ m}^3}$$

$$T_{\text{ret}} = 0,24 \text{ h}$$

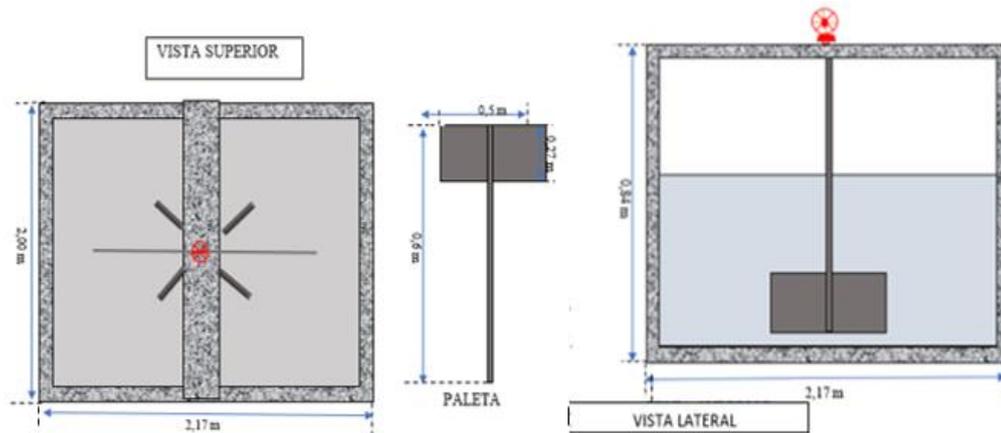


Figura 10-3. Tanque de coagulación-floculación para agua de curtido

Realizado por: Flores, Cristian,2021

$$A_{\text{su}} = \frac{Q_{\text{DC}}}{C_{\text{su}}}$$

Donde:

A_{su} : Área superficial del sedimentador, (m²).

Q_{DC} : Caudal de diseño de agua de curtido, (21,36 m³/día).

C_{su} : Carga superficial, (40 m³/m² día). Valor considerado de la Tabla 36-3.

$$A_{su} = \frac{21,36 \text{ m}^3/\text{día}}{40 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}}$$

$$A_{su} = 0,53 \text{ m}^2$$

$$D_{sed} = \sqrt{4 \frac{A_{su}}{\pi}}$$

Ecuación (56-3)

Donde:

D_{sed} : Diámetro del sedimentador, (m).

A_{su} : Área superficial del sedimentador, (0,53 m²).

$$D_{sed} = \sqrt{4 \frac{0,53 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$D_{sed} = 0,82 \text{ m}$$

$$r = \frac{D_{sed}}{2}$$

Ecuación (57-3)

Donde:

r: radio del sedimentador, (m).

D_{sed} : Diámetro del sedimentador, (0,82 m).

$$r = \frac{0,82 \text{ m}}{2}$$

$$r = 0,41 \text{ m}$$

$$V_{\text{sed}} = \pi * r^2 * H$$

Ecuación (58-3)

Donde:

V_{sed} : Volumen del sedimentador, (m^3)

r: Radio del sedimentador, (m).

H: Altura, (3 m). Valor considerado de la Tabla 36-3.

$$V_{\text{sed}} = \pi * (0,41 \text{ m})^2 * 3 \text{ m}$$

$$V_{\text{sed}} = 1,58 \text{ m}^3$$

$$\text{Trh} = \frac{V_{\text{sed}}}{Q_{\text{DP}}}$$

Ecuación (59-3)

Donde:

V_{sed} : Volumen del sedimentador, ($1,58 \text{ m}^3$).

Q_{DP} : Caudal de diseño de agua de curtido, ($0,89 \text{ m}^3/\text{h}$).

$$\text{Trh} = \frac{1,58 \text{ m}^3}{0,89 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$\text{Trh} = 1,78 \text{ h}$$

$$\text{Trh} = 106,52 \text{ min}$$

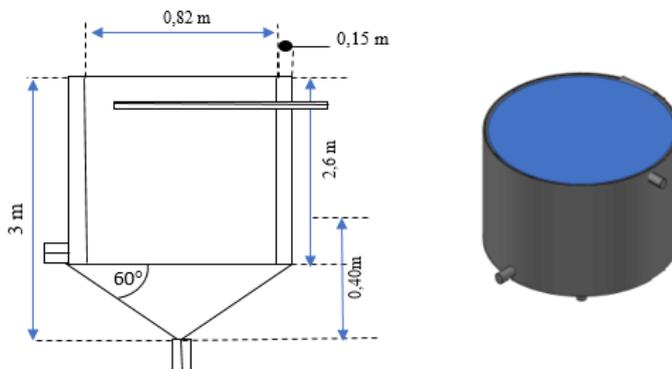


Figura 11-3. Tanque sedimentador para agua de curtido

Realizado por: Flores, Cristian,2021

3.1.12. Dosificación de químicos utilizados a nivel industrial

3.1.12.1. Dosificación de químicos para agua residual del proceso de pelambre

➤ *Dosificación de MnSO₄ (Sulfato de Manganeso)*

Se trabajó con 20g de MnSO₄ en 1000 mL de solución y después se dosificó la muestra problema hasta encontrar una concentración adecuada de MnSO₄, la muestra problema fue analizada en un vaso de precipitación de 1000 mL, por lo que se procedió a realizar los cálculos a nivel de laboratorio para la dosificación.

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

Ecuación (60-3)

Donde:

c₁: Concentración de MnSO₄ conocida, (0,02 g/L).

v₁: Volumen de MnSO₄ añadido a la muestra, (15 mL).

c₂: Concentración analizada de MnSO₄, (g/mL).

v₂: Volumen de la muestra problema, (1000 mL).

$$c_2 = \frac{c_1 V_1}{V_2}$$

$$c_2 = \frac{0,002 \frac{\text{g}}{\text{mL}} * 15 \text{ ml}}{1000 \text{ mL}}$$

$$C_2 = 0,0003 \frac{\text{g}}{\text{mL}} * 1000 \text{ mL/1L}$$

$$C_2 = 0,3 \text{ g/L}$$

Por lo tanto, en el laboratorio se debe agregar 0,3g/L de MnSO₄ o 300 ppm.

➤ *Dosificación de MnSO₄ (Sulfato de Manganeso) a nivel industrial*

$$P_{\text{MnSO}_4} = Q_D * C_2$$

Ecuación (61-3)

Donde:

P_{MnSO_4} : Cantidad de $MnSO_4$ por día, (Kg/día).

Q_D : Caudal de diseño de pelambre, (0,364 L/s).

C_2 : Concentración de $MnSO_4$, (0,3 g/L).

$$P_{MnSO_4} = 0,364 \frac{L}{s} * 0,3 \frac{g}{L} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}}$$

$$P_{MnSO_4} = 9,43 \text{ Kg/día}$$

➤ *Dosificación de PAC (Policloruro de Aluminio) a nivel de laboratorio*

Al realizar las pruebas de jarras para la dosificación se encontró que el pH indicado es de 7 con ayuda de 1,5 mL de ácido sulfúrico en la muestra problema.

En el test de jarras se encontró que al trabajar con PAC al 2 % m/v (masa sobre volumen) la dosificación indicada para la muestra problema es de 5 mL de PAC 2 % m/v.

$$c_1 v_1 = c_2 v_2$$

Ecuación (62-3)

Donde:

c_1 : Concentración de PAC inicial, (0,02 g/L).

v_1 : dosis suministrada de PAC, (5 mL).

c_2 : Concentración ideal de dosis de PAC, (L/s).

v_2 : Volumen de la muestra problema a dosificar, (1000 mL)

$$c_2 = \frac{c_1 v_1}{v_2}$$

$$c_2 = \frac{0,02 \text{ g/mL} * 5 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}$$

$$C_2 = 1 \times 10^{-4} \text{ g/mL} * 1000 \text{ mL/1L}$$

$$C_2 = 0,1 \text{ g/L}$$

- *Dosificación de PAC (Policloruro de Aluminio) a nivel industrial*

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

Ecuación (63-3)

Donde:

P_{PAC} : Cantidad de policloruro de aluminio ideal, (Kg/día)

Q_D : Caudal de diseño de agua de pelambre, (0,364 L/s)

C_2 : Concentración ideal de PAC, (0,08 g/L)

$$P_{PAC} = 0,364 \frac{L}{s} * 0,1 \frac{g}{L} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}}$$

$$P_{PAC} = 3,14 \text{ Kg/día}$$

- *Dosificación de floculante aniónico PHP-20 PLUS a nivel de laboratorio*

$$c_1 v_1 = c_2 v_2$$

Ecuación (64-3)

Donde:

c_1 : Concentración de floculante PHP-20 PLUS inicial, (0,01 g/L).

v_1 : Volumen de floculante PHP-20 PLUS, (8 mL).

c_2 : Dosis ideal en la muestra problema, (g/L).

v_2 : Dosis de la muestra problema, (1000 mL).

$$c_2 = \frac{c_1 v_1}{v_2}$$

$$c_2 = \frac{0,01 \text{ g/mL} * 8 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}$$

$$C_2 = 8 \times 10^{-5} \text{ g/mL} * 1000 \text{ mL/L}$$

$$C_2 = 0,08 \text{ g/L}$$

Se debe añadir a la muestra de agua cruda de pelambre una concentración de 0,08 g/L de floculante PHP-20 PLUS.

➤ *Dosificación de floculante aniónico PHP-20 PLUS a nivel industrial*

$$P_{\text{PHP-20 PLUS}} = Q_D * C_2$$

Ecuación (65-3)

Donde:

$P_{\text{PHP-20 PLUS}}$: Cantidad de floculante aniónico PHP-20 PLUS necesaria, (Kg/día).

Q_D : Caudal de diseño de agua residual de pelambre, (0,364 L/s).

C_2 : Concentración de floculante PHP-20 PLUS óptima, (0,08 g/L).

$$P_{\text{PHP-20 PLUS}} = 0,364 \text{ L/s} * 0,08 \text{ g/L} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}}$$

$$P_{\text{PHP-20 PLUS}} = 2,52 \text{ Kg/día}$$

3.1.12.2. *Dosificación de químicos para agua residual del proceso de curtido*

➤ *Dosificación de cal a nivel industrial*

Para llegar a un pH de 8,5 se añadió de forma directa 2 gramos de cal en 1000 mL de disolución de agua de curtido, por lo tanto, la dosificación a nivel industrial se realiza a partir de la concentración 2 g/L.

$$P_{\text{CaO}} = Q_D * C_2$$

Ecuación (66-3)

Donde:

P_{CaO} : Cantidad de cal necesaria, (Kg/día).

Q_D : Caudal de diseño de agua residual de curtido, (0,247 L/s).

C_2 : Concentración de cal, (2 g/L).

$$P_{\text{CaO}} = 0,247 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 2 \frac{\text{g}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}}$$

$$P_{\text{CaO}} = 42,6 \text{ Kg/día}$$

➤ *Dosificación de policloruro de aluminio a nivel de laboratorio*

Para realizar esta dosificación primero se llenó a la muestra problema hasta un pH de 8,5. Después, según los análisis de test de jarras se trabajó con 8 mL de PAC a 160 ppm.

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

Ecuación (67-3)

Donde:

C_1 : Concentración de PAC, (0,02 g/L).

V_1 : Volumen de dosificación para la muestra de curtido, (8 mL).

C_2 : Concentración óptima de dosificación de PAC, (g/L).

V_2 : Dosis de la muestra problema de agua de curtido, (1000 mL).

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

$$C_2 = \frac{0,02 \text{ g/mL} * 8 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}$$

$$C_2 = 1,6 \times 10^{-5} \text{ g/mL} * 1000 \text{ mL/1L}$$

$$C_2 = 0,16 \text{ g/L}$$

➤ *Dosis de dosificación de PAC para la muestra de curtido a nivel industrial*

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

Ecuación (68-3)

Donde:

P_{PAC} : Cantidad necesaria de PAC por día, (Kg/día).

Q_D : Caudal de diseño de agua de curtido, (0,247 L/s).

C_2 : Concentración óptima de dosificación de PAC, (0,16 g/L).

$$P_{CaO} = 0,247 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 0,16 \frac{\text{g}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}}$$

$$P_{CaO} = 3,41 \text{ Kg/día}$$

➤ *Dosificación de floculante aniónico PHP-20 PLUS a nivel de laboratorio*

Se trabajó con una disolución de 1 % m/v de PHP-20 PLUS, es decir, se disolvió 1 gramo de este floculante y se aforo con agua hasta 100 mL, luego, se encontró en la prueba de test de jarras que la dosificación ideal es de 4 mL.

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

Ecuación (69-3)

Donde:

C_1 : Concentración de PHP-20 PLUS, (0,01 g/L).

V_1 : Volumen de dosificación para la solución, (8 mL).

C_2 : Concentración de PHP-20 PLUS en la disolución ideal, (g/L).

V_2 : Volumen de la muestra problema de la muestra de curtido, (1000 mL).

$$C_2 = \frac{0,01 \text{ g/mL} * 4 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}}$$

$$C_2 = 4 \times 10^{-5} \text{ g/mL} * 1000 \text{ ml/1L}$$

$$C_2 = 0,04 \text{ g/L}$$

➤ *Dosificación de floculante PHP-20 PLUS para agua de curtido a nivel industrial*

$$P_{\text{PHP-20 PLUS}} = Q_D * C_2$$

Ecuación (70-3)

Donde:

$P_{\text{PHP-20 PLUS}}$: Cantidad de PHP-20 PLUS necesaria por día, (Kg/día).

Q_D : Caudal de diseño de agua de curtido, (0,16 L/s).

C_2 : Concentración ideal de floculante a nivel de laboratorio, (0,04g/L).

$$P_{\text{PHP-20 PLUS}} = 0,247 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 0,04 \frac{\text{g}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}}$$

$$P_{\text{PHP-20 PLUS}} = 0,85 \text{ Kg/día}$$

➤ *Balance de masa para el proceso de tratamiento de agua residual de pelambre*

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

Ecuación (71-3)

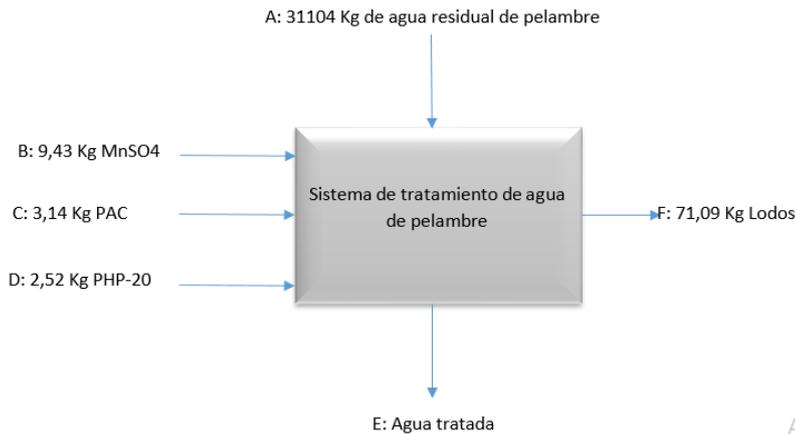


Figura 12-3. Balance de masa para agua de pelambre

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

$$A + B + C + D = E + F$$

Ecuación (72-3)

Donde:

A: Cantidad de agua residual de pelambre, (31104 Kg).

B: Cantidad de sulfato de manganeso, (9,43 Kg).

C: Cantidad de policloruro de aluminio, (3,14 Kg).

D: Cantidad de coagulante, (2,52 Kg).

E: Cantidad de agua tratada, (Kg).

F: Cantidad de lodo, (71,09 Kg)

$$31104 \text{ Kg} + 9,43 \text{ Kg} + 3,14 \text{ Kg} + 2,52 \text{ Kg} = E + 71,09 \text{ Kg}$$

$$E = 1031 \text{ Kg} + 9,43 \text{ Kg} + 3,14 \text{ Kg} + 2,52 \text{ Kg} - 71,09 \text{ Kg}$$

$$E = 31048 \text{ Kg}$$

➤ *Balance de masa para el proceso de tratamiento de agua residual de curtido*

Utilizando la ecuación 71-3

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

Ecuación (73-3)

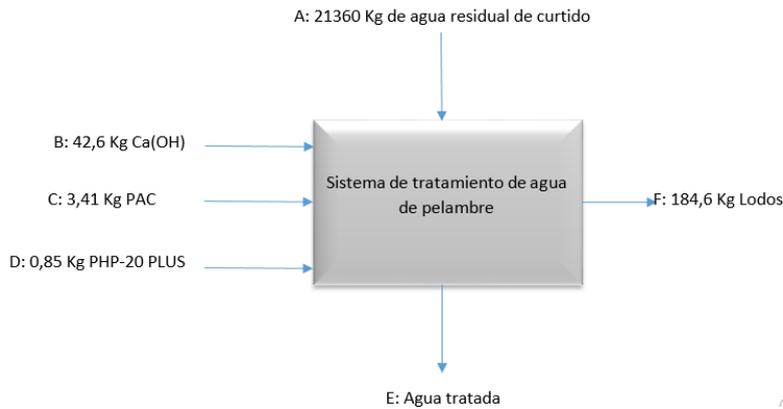


Figura 13-3. Balance de masa para agua de curtido

Realizado por: Flores, Cristian,2021.

$$A + B + C + D = E + F$$

Ecuación (74-3)

Donde:

A: Cantidad de agua residual de curtido, (21360 Kg).

B: Cantidad de cal, (42,6 Kg).

C: Cantidad de policloruro de aluminio, (3,41 Kg).

D: Cantidad de coagulante, (0,85 Kg).

E: Cantidad de agua tratada, (Kg).

F: Cantidad de lodo, (38,5 Kg).

$$21360 \text{ Kg} + 42,6 \text{ Kg} + 3,41 \text{ Kg} + 0,85 \text{ Kg} = E + 184,6 \text{ Kg}$$

$$E = 21360 \text{ Kg} + 42,6 \text{ Kg} + 3,41 \text{ Kg} + 0,85 \text{ Kg} - 184,6 \text{ Kg}$$

$$E = 21222,26 \text{ Kg}$$

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS

4.1. Resultados del diseño del sistema de aguas residuales de pelambre

4.1.1. Caudal de agua de pelambre

Tabla 1-4: Caudal de agua de pelambre

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Caudal experimental	Q_{Exp}	L/s	0,28
Caudal mayorado	Q_{Ma}	L/s	0,084
Caudal de diseño	Q_{DP}	L/s	0,364

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

4.1.2. Sistema de rejillas

Tabla 2-4: Características del sistema de rejillas

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Área libre de paso de agua	A_{paso}	m^2	0,00066
Altura del tirante en el canal	h_{ti}	M	0,0022
Altura del tirante de construcción	h_c	M	0,3022
Longitud de la reja	L	M	0,43
Numero de barras	N_{barras}	-	10
Perdida de carga	H	M	0,01

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

4.1.3. Canal de entrada

Tabla 3-4: Características del canal de entrada

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Ancho del canal	B	M	0,114
Ancho de la cresta	W	M	0,076
Cálculo de coeficiente de descarga	C_e	-	0,569
Cálculo de carga hidráulica	H_c	M	0,011
Área del canal	A	m^2	0,00132
Altura mínima del canal	h_v	M	0,0072
Perímetro mojado	P_m	M	0,136

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

4.1.4. Tanque de aireación

Tabla 4-4: Tanque de aireación

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Volumen del tanque	$V_{T,aireación}$	m ³	2,47
Altura del tanque	H_{tan}	m	0,84
Ancho del tanque	A_{tan}	m	1,360
Largo del tanque	L_{tan}	m	2,17
Sistema de aireación (por implementar)			
Caudal de aire	Q_{aire}	$\frac{m^3 \text{ aire}}{min}$	21,68
Presión hidrostática	P_{agua}	psi	1,19
Presión absoluta	P_{abs}	psi	15,89
Variación térmica del aire de compresión	$\Delta T_{Compresión}$	°C	8,7
Temperatura de salida del aire	T_{sal}	°C	28,7
Potencia del compresor	P_{com}	HP	6,92

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

4.1.5. Tanque de Coagulación-floculación

Tabla 5-4: Características de tanque de coagulación-floculación

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Volumen del tanque	V_{tfc}	m ³	5,01
Altura del tanque	H_{tfc}	M	0,84
Ancho del tanque	A_{tfc}	M	2,00
Largo del tanque	L_{tfc}	M	2,98
Sistema de Coagulación-Floculación (Existente)			
Longitud de paleta de agitación	L_{paleta}	m	0,5
Potencia disipada del agua residual	P_{Dis}	HP	1,68
Área de las paletas	$A_{paletas}$	m ²	2,48
Tiempo de retención	T_{ret}	h	0,26

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

4.1.6. Tanque del sedimentador

Tabla 6-4: Características del tanque sedimentador

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Área superficial	A_{su}	m^2	0,77
Diámetro	D_{sed}	m	0,99
Radio	r	m	0,495
Volumen	V_{sed}	m^3	2,30
Tiempo de retención hidráulica	Trh	min	106,20

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

4.2. Resultados del diseño del sistema de aguas residuales de curtido

4.2.1. Caudal de agua de curtido

Tabla 7-4: Descripción del caudal de curtido

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Caudal experimental	Q_{Exp}	L/s	0,19
Caudal mayorado	Q_{Ma}	L/s	0,057
Caudal de diseño	Q_{DC}	L/s	0,247

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

4.2.2. Sistema de rejillas

Tabla 8-4: Características del sistema de rejillas

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Área libre de paso de agua	A_{paso}	m^2	0,004
Altura del tirante en el canal	h_{ti}	m	0,0013
Altura del tirante de construcción	h_c	m	0,3013
Longitud de la reja	L	m	0,42
Numero de barras	N_{barras}	-	9
Perdida de carga	H_c	m	0,012

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

4.2.3. Canal de entrada

Tabla 9-4: Características del canal de entrada

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Ancho del canal	B	m	0,09
Ancho de la cresta	W	m	0,065
Cálculo de coeficiente de descarga	C_e	-	0,605
Cálculo de carga hidráulica	H_c	m	0,002
Área del canal	A	m ²	0,00018
Altura mínima del canal	h_v	m	0,09
Perímetro mojado	P_m	m	0,094

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

4.2.4. Taque de Coagulación-floculación

Tabla 10-4: Características del tanque de coagulación-floculación

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Volumen del tanque	V_{tfc}	m ³	3,65
Altura del tanque	H_{tfc}	m	0,84
Ancho del tanque	A_{tfc}	m	2,00
Largo del tanque	L_{tfc}	m	2,17
Sistema de Coagulación-Floculación (Existente)			
Longitud de paleta de agitación	L_{paleta}	m	0,5
Potencia disipada del agua residual	P_{Dis}	HP	1,22
Área de las paletas	$A_{paletas}$	m ²	1,81
Tiempo de retención	T_{ret}	h	0,24

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

4.2.5. Tanque sedimentador

Tabla 11-4: Características del tanque sedimentador

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Área superficial	A_{su}	m ²	0,53
Diámetro	D_{sed}	m	0,82
Radio	r	m	0,41
Volumen	V_{sed}	m ³	1,58
Tiempo de retención hidráulica	Trh	min	106,52

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

4.3. Resultados de dosificación de químicos a nivel industrial

Tabla 12-4: Descripción de los resultados de dosificación de químicos a nivel industrial

Dosificación de químicos a nivel industrial para el agua de pelambre		
Nombre del compuesto	Concentración	Cantidad
Sulfato de manganeso (MnSO ₄)	300 ppm	9,43 Kg/día
Policloruro de aluminio (Aln(OH)mCl(3n-m).H ₂ O)	100 ppm	3,14 Kg/día
Floculante aniónico PHP-20 PLUS	80 ppm	2,52 Kg/día
Dosificación de químicos a nivel industrial para el agua de curtido		
Nombre del compuesto	Concentración ppm	Cantidad
Cal (Ca(OH))	2% m/v	3,41 Kg/día
Policloruro de aluminio (Aln(OH)mCl(3n-m).H ₂ O)	160 ppm	3,41 Kg/día
Floculante aniónico PHP-20 PLUS	40 ppm	0,85 Kg/día

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

4.4. Resultados de tratamiento de las muestras analizadas

Tabla 13-4: Agua tratada del proceso de pelambre

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und.	4500-H-B	6-9	6,5
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	-	1,8
Temperatura	°C	2550-A	<40,0	22
Turbiedad	NTU	2130-B	-	45
Grasas	mg/L	-	70,0	-
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2540-C	220,0	79
Sólidos totales	mg/L	2540-A	1600,0	1 080
Sulfuros	mg/L	4500-SO ₄ -E	1,0	<1
Sulfatos	mg/L	HACH-8051	400	110
Demanda química de oxígeno	mg/L	5220-C	500,0	490
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	5210-B	250,0	240

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Tabla 14-4: Agua tratada del proceso de curtido

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und.	4500-H-B	6-9	7,9
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	-	1,7
Temperatura	°C	2550-A	<40,0	22
Turbiedad	NTU	2130-B	-	38
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2540-C	220,0	<1
Sólidos sedimentables	ml/L	2540-B	20,0	<0,1
Sólidos totales	mg/L	2540-A	1600,0	1 620
Demanda química de oxígeno	mg/L	5220-C	500,0	460
Sulfatos	mg/L	Método HACH	400	185
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	5210-B	250,0	230
Cromo Hexavalente	mg/L	HACH-8023	0,5	0,014
Cromo total	mg/L	HACH DR 2800	-	3,42

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

4.5. Porcentaje de remoción de contaminantes en las muestras analizadas

Tabla 15-4: Porcentaje de remoción de contaminantes en la muestra de pelambre

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados antes de tratamiento	Resultados después de tratamiento	Porcentaje de remoción
Turbiedad	NTU	-	2570	45	98,25 %
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	220	2170	79	96,36 %
Sólidos Totales (ST)	mg/L	1600	3760	1080	71,28 %
Sulfuros	mg/L	0,5	288	0,9	99,69 %
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	500	19250	490	97,45 %
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	250	6520	240	96,32 %

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

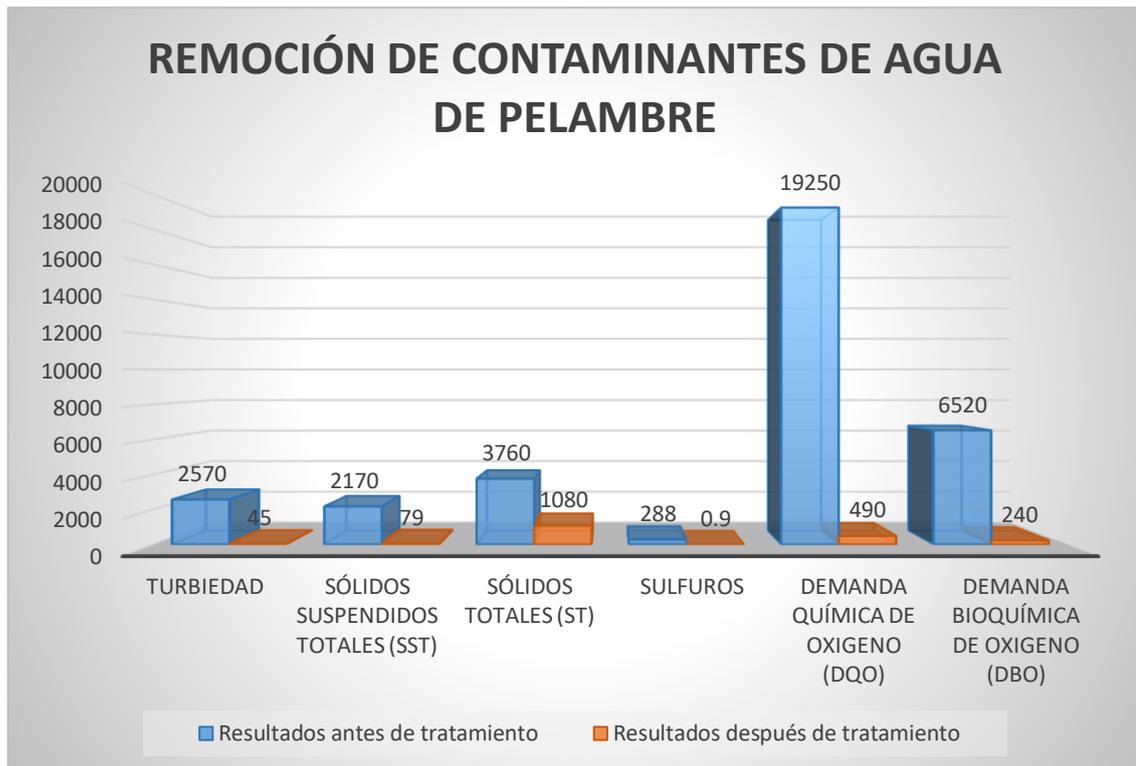


Gráfico 1-4. Remoción de contaminantes de agua de pelambre

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Tabla 16-4: Porcentaje de remoción de contaminantes en la muestra de curtido

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados antes de tratamiento	Resultados después de tratamiento	Porcentaje de remoción
Turbiedad	NTU	-	140	38	72,86 %
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	220	3470	0,9	99,97 %
Sólidos Totales (ST)	mg/L	1 600,00	17800	1060	94,04 %
Cromo Hexavalente	mg/L	0,5	0,74	0,014	98,11 %
Cromo total	mg/L	-	512	3,42	99,33 %
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	500	3470	460	86,74 %
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	250	1310	250	80,92 %

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

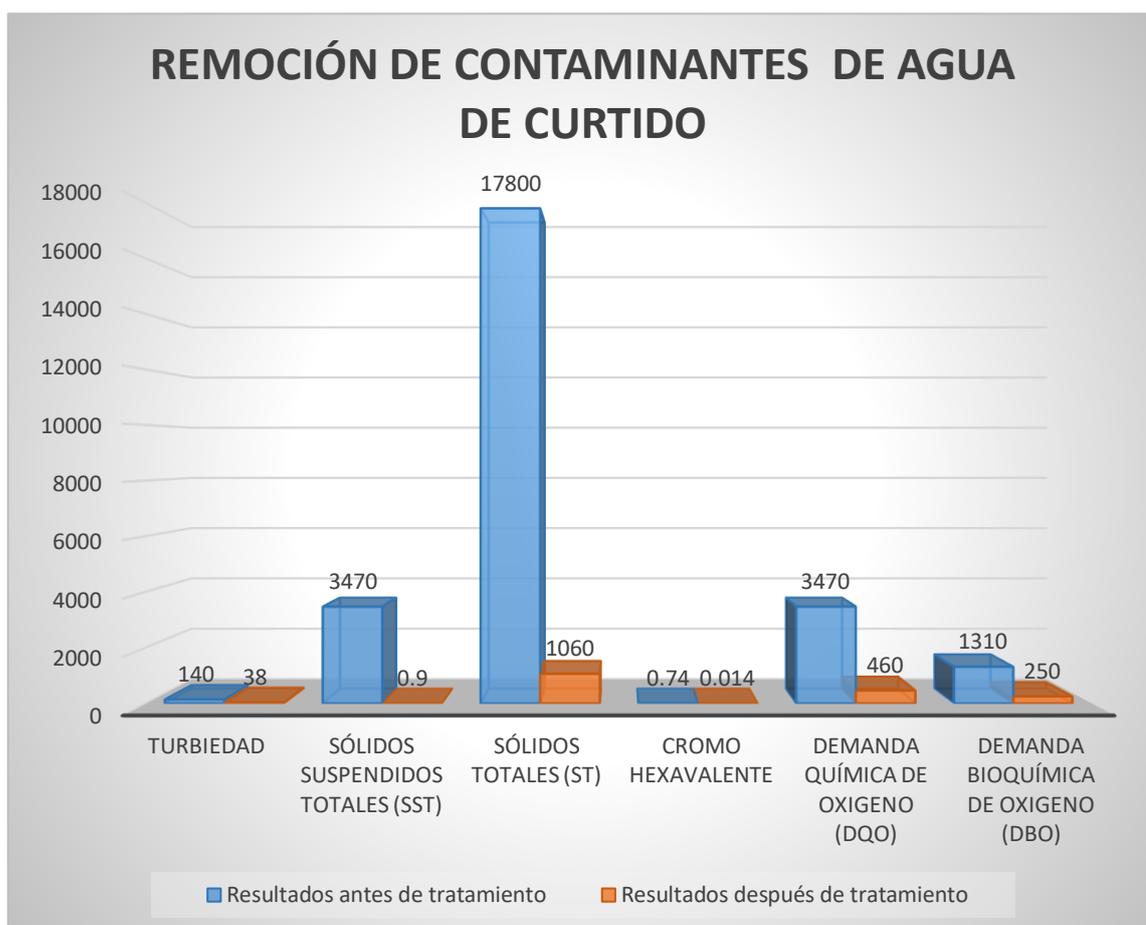


Gráfico 2-4. Remoción de contaminantes de agua de curtido

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

4.6. Propuesta de rediseño

Como se observa en la Gráfico 3-4 existe un solo proceso para tratar los caudales de pelambre y curtido, en donde, el mismo carece de un sistema de rejillas que nos permita realizar un pretratamiento de aguas; esto es de gran importancia debido a que es necesario remover la mayor cantidad de solidos suspendidos de forma física antes de realizar un tratamiento químico.

Se propone el uso de tres tanques del sistema anterior para acoplarlos en la propuesta de rediseño; estos tanques se encuentran en el siguiente estado: el material del que están contruidos es de hormigón armado, no existen daños estructurales, tienen un espesor de 25 centímetros y tienen una capacidad considerable como se indica en la Tabla 13-3.

Se da como propuesta de rediseño realizar el tratamiento de sus aguas para pelambre y curtido respectivamente; el beneficio de esta propuesta es mejorar la eficiencia al tratar cada uno de los caudales ya que la cantidad de solidos disueltos sería menor y más fácil de remover. Además, esta propuesta da un beneficio de costos para el propietario por tomar en cuenta elementos disponibles

de la planta como se observa en el Gráfico 3-4. Además, se propone implementar un tanque sedimentador para cada caudal los cuales tendrán forma cónica para poder evacuar lodos fácilmente.

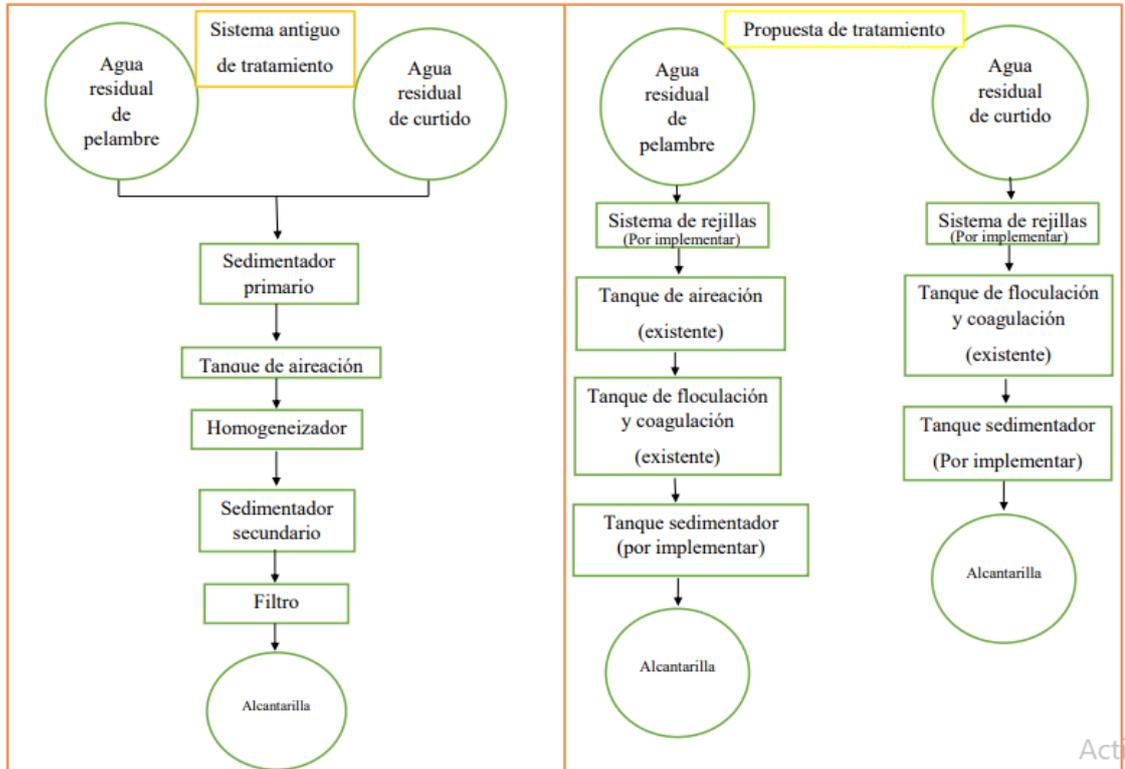


Gráfico 3-4. Propuesta de tratamiento de aguas residuales

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

4.7. Análisis de costos

Tabla 17-4: Análisis de costos del sistema de tratamiento propuesto

Ítem	Cantidad	valor unitario	valor global
Sistema de rejillas	2	\$ 100,00	\$ 200,00
Compresor de 7 HP	1	\$ 800,00	\$ 800,00
Bomba de agua de 5 hp	2	\$ 400,00	\$ 800,00
Motor reductor de 3HP	1	\$ 700,00	\$ 700,00
Estructura metálica del mezclador	2	\$ 250,00	\$ 500,00
Tanque sedimentador con 4 deflectores y estructura metálica	2	\$ 1.500,00	\$ 3.000,00
Mano de obra	-	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00
Otros	-	-	\$ 1.000,00
		Total	\$ 9.500,00

Fuente: (Avalchem, 2021)

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

Tabla 18-4: Costo de insumos químicos

Nombre del compuesto	Costo por Kg	Cantidad	Costo por día
Sulfato de manganeso (MnSO ₄)	\$ 0,80	9,43 Kg/día	\$ 7,54
Policloruro de aluminio (Aln(OH)mCl(3n-m).H ₂ O)	\$ 0,80	3,14 Kg/día	\$ 2,51
Floculante aniónico PHP-20 PLUS	\$ 7,00	2,52 Kg/día	\$ 17,64
Costo total por día			\$ 27,69
Dosificación de químicos a nivel industrial para el agua de curtido			
Nombre del compuesto	Costo por Kg	Cantidad	Costo por día
Cal (Ca(OH))	\$ 0,35	42,6 Kg/día	\$ 14,91
Policloruro de aluminio (Aln(OH)mCl(3n-m).H ₂ O)	\$ 0,80	3,41 Kg/día	\$ 2,73
Floculante aniónico PHP-20 PLUS	\$ 7,00	0,85 Kg/día	\$ 5,95
Costo total por día			\$ 23,59
Costo Global			\$ 51,28

Fuente: (Avalchem, 2021)

Realizado por: Flores, Cristian, 2021.

En este análisis de costos se han tomado en consideración elementos que son complementarios para el proceso de rediseño. Por lo tanto, en el nuevo sistema se adquiere nuevos elementos como: dispositivos necesarios para el funcionamiento de la planta los cuales no dispone actualmente, un sistema de pretratamiento y la implementación de dos nuevos tanques.

4.8. Análisis de resultados

Se ha realizado el rediseño del antiguo sistema de tratamiento, en donde, en el nuevo diseño se propone un sistema de tratamiento de aguas residuales para curtido y otro sistema de aguas residuales para pelambre, el beneficio de esta propuesta es: realizar un pretratamiento para partículas de gran tamaño, reducir la carga de sólidos disueltos en el efluente y buscar una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes para poder cumplir con la normativa.

El nuevo sistema de tratamiento de aguas residuales de pelambre cuenta con elementos como: sistema de rejillas, tanque aireador, tanque de coagulación-floculación y un tanque sedimentador, en este sistema se observa mediante el Gráfico 1-4 y la Tabla 13-4 que el proceso es eficiente debido a que se ha logrado remover una cantidad considerable de contaminantes con los siguientes resultados: 45,00 NTU de turbiedad, 79,00 mg/L de sólidos suspendidos, 1 080,00 mg/L de sólidos totales, 0,9 mg/L de sulfuros, 490,00 mg/L de demanda química de oxígeno y 240,00 mg/L de demanda bioquímica de oxígeno.

Las dosificaciones químicas para este proceso fueron calculadas en función del caudal de 0,364 L/s de agua de pelambre. Después, se trabaja con las diferentes concentraciones de químicos como: sulfato de manganeso a 300 ppm para una remoción de sulfuros, PAC (Policloruro de

aluminio) a 100 ppm como coagulante y finalmente con floculante PHP-20 PLUS a 80 ppm, ver Tabla 12-4.

El sistema de tratamiento para el agua de curtido nos dio resultados como: 38,00 NTU de turbiedad, 0,9 mg/L de sólidos suspendidos totales, 1 060,00 mg/L de sólidos totales, 0,014 de cromo hexavalente, 460 mg/L de demanda química de oxígeno y 250 mg/L de demanda bioquímica de oxígeno.

Para el sistema de tratamiento de agua de curtido se trabajó con: un sistema de rejillas, un tanque de coagulación-floculación y un tanque de sedimentación. Mientras que para la dosificación de químicos se obtuvo los siguientes resultados: cal al 2 % m/v, PAC a 160 ppm y floculante PHP-20 Plus a 40 ppm. En este sistema las dosificaciones se realizaron en base al caudal de 0,247 L/s como se observan en la Tabla 12-4.

Los costos de operación de la planta han sido analizados en base a la dosificación diaria de cada efluente teniendo los siguientes resultados: el proceso de agua residual de pelambre tendrá un costo diario de 27,69 \$ y para el agua residual de curtido un costo de 23,69\$. Para el costo de rediseño de la planta se buscó brindar el máximo beneficio para el dueño de la curtiduría llegando a calcular que el costo llegaría a un valor de \$ 9.500,00 (NUEVE MIL QUINIENTOS DÓLARES AMERICANOS).

Los resultados obtenidos se encuentran dentro la normativa del acuerdo ministerial 097-A, TULSMA, anexo 1: Tabla 11 de descarga de aguas hacia el sistema de alcantarillado público por lo que se da la propuesta de rediseño como validada, cumpliendo así con los objetivos y parámetros establecidos para que la curtiduría “La Península” pueda tener un proceso de producción sin generar molestias a la comunidad.

CONCLUSIONES

- Se rediseñó el sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría la “Península” de la parroquia La Península-Tungurahua aprovechando el área disponible de la empresa, en donde, para la selección del sistema de tratamiento de agua se evaluó el índice de biodegradabilidad dando un resultado de 0,33 para agua de pelambre y 0,37 para agua de curtido, por lo que estos valores nos indican dar un tratamiento fisicoquímico. Por lo tanto, se propone el siguiente sistema de aguas residuales que consta de: un pretratamiento, un tratamiento primario y un tratamiento secundario.
- Se determinó las características físico-químicas de las aguas residuales, basadas en los límites permisibles del Acuerdo Ministerial 97 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, Cuadro 11: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, dando como resultado para agua de pelambre valores que se encuentran fuera del límite permisible como: demanda bioquímica de oxígeno 6.520,00 mg/L, demanda química de oxígeno 19.250,00 NTU y sulfuros 288,00 mg/L. Mientras que para el agua de curtido valores como: demanda bioquímica de oxígeno 1.310,00 mg/L, demanda química de oxígeno 3.470,00 mg/L, turbiedad 140 mg/L y cromo hexavalente 0,7 mg/L.
- Se identificó que la principal variable es el caudal de diseño; dando como resultado: 0,364 L/s para agua de pelambre y 0,247 L/s para agua de curtido. Por lo tanto, el dimensionamiento de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales y las dosificaciones fueron calculadas en base a estos parámetros.
- Mediante cálculos de ingeniería se dimensionó dos sistemas de tratamientos de aguas residuales; uno para agua residual del proceso de pelambre y otro para el agua residual del proceso de curtido. El tratamiento de agua de pelambre cuenta con: un sistema de rejillas con 10 barras, un tanque de aireación de 2,47 m³, un tanque de coagulación-floculación de 5,01 m³ y un sedimentador de 2,30 m³. Mientras que para el tratamiento de agua de curtido se cuenta con: un sistema de rejillas con 9 barras, un tanque de coagulación-floculación de 3,65 m³ y un sedimentador de 1,58 m³.
- Se validó el diseño en base a los resultados obtenidos después del tratamiento de las muestras. Los porcentajes de remoción de agua de pelambre obtenidos son: sulfuros 99,69 %, demanda química de oxígeno 97,45 %, demanda bioquímica de oxígeno 96,32 %, sólidos suspendidos totales 96,36 %, en el agua de curtido encontramos valores como: demanda química de oxígeno 86,74 %, demanda bioquímica de oxígeno 80,92 %, cromo hexavalente 98,11 %, cromo total 99,33 % y sólidos totales 94,04 %. Por lo tanto, los valores de tratamiento de estas aguas ya se encuentran dentro de los límites permisibles del Acuerdo Ministerial 97

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, Cuadro 11: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, cumpliendo con los parámetros establecidos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda capacitar al personal que va a realizar el manejo de la PTAR para que este pueda desenvolverse mediante el proceso de tratamiento.
- Es necesario tener el conocimiento sobre el manejo de reactivos que serán utilizados en las dosificaciones, debido a que estos deben almacenarse y manipularse de una manera correcta, con esto evitamos que los reactivos se contaminen.
- Realizar varios análisis físico-químicos en intervalos de tiempo, con el propósito de conocer el comportamiento de las aguas residuales, los mismos que deben ser llevados en una hoja de registro para poder llevar un control del proceso.
- Se recomienda realizar un mantenimiento periódico de la planta debido a que al finalizar cada proceso de tratamiento pueden quedar pequeñas cantidades de sedimentos los mismos que pueden afectar en un nuevo proceso.
- Es necesario realizar una limpieza periódica del sistema de rejillas para que no existan posibles taponamientos o colapsos de la planta de tratamiento.
- Se recomienda tomar en cuenta que las dosificaciones están calculadas en función de los caudales de agua residual, si los caudales cambian en un futuro se debe replantear las dosificaciones e incluso el dimensionamiento de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

AHMED, E.; et al. “Remediation and recycling of chromium from tannery wastewater using combined chemical–biological treatment system”. *Process Safety and Environmental Protection* [en línea], 2016, (Suecia) 104(A), pp. 1-10. [Consulta: 13 julio 2021]. ISSN 0957-5820. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.08.004>

ALI, A.; et al. “Enhancing water efficiency and wastewater treatment using sustainable technologies: A laboratory and pilot study for adhesive and leather chemicals production”. *Journal of Water Process Engineering* [en línea], 2020, (Paquistán) 36(), p. 101308. [Consulta: 13 julio 2021]. ISSN 2214-7144. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101308>

APAZA, H.; et al. “Modelo de un sistema de tratamiento para efluentes de la industria de curtiembre”. *Revista De Investigaciones De La Escuela De Posgrado De La UNA PUNO* [en línea], 2020, (Perú) 9(3), pp. 1647–1658. [Consulta: 13 julio 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.26788/epg.v9i3.2278>

BOMAN, B.; et al. "Understanding Water Quality Parameters for Citrus Irrigation and Drainage Systems 1 Obtaining a Water Sample". [en línea], 2015, pp. 1-11. [Consulta: 16 julio 2021]. Disponible en: <https://itc.tamu.edu/files/2018/05/CIR1406.pdf>

BUI, X.; et al. "Introduction to Recent Advances in Water and Wastewater Treatment Technologies". *Energy, Environment, and Sustainability* [en línea], 2019, pp. 3-12. [Consulta: 15 julio 2021]. ISSN 25228374. DOI 10.1007/978-981-13-3259-3_1. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-981-13-3259-3_1

CASSANO, A.; et al. “Treatment of aqueous effluents of the leather industry by membrane processes: a review”. *Journal of Membrane Science* [en línea], 2001, (Italy) 181(1), pp. 111–126. [Consulta: 13 julio 2021]. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/s0376-7388\(00\)00399-9](https://doi.org/10.1016/s0376-7388(00)00399-9)

CASTILLO CUZCO, Margarita del Carmen, & LÓPEZ MENDOZA, Jerson Omar. Tratamiento del agua residual industrial de la curtiembre Rolemt, para el cumplimiento de los valores máximos admisibles [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo, Cajamarca, Perú. 2018. pp. 1- 63. [Consulta: 2021-07-10]. Disponible en: <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/Upagu/825/Informe%20final%20de%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CHOJNACKA, K.; et al. “Progress in sustainable technologies of leather wastes valorization as solutions for the circular economy”. *Journal of Cleaner Production* [en línea], 2021, (Polonia) 313(), p. 127902. [Consulta: 13 julio 2021]. ISSN 0959-6526. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127902>

CULQUI, W. "Estudio de impacto ambiental Ex Post y Plan de Manejo Ambiental de CETICUERO Curtiduría". *Bio Activo* [en línea], 2015, pp. 1-342. [Consulta: 12 julio 2021]. Disponible en: <https://maetungurahua.files.wordpress.com/2015/09/es-i-a-ceticuero.pdf>

DURST, R. *Hydrogen potential (pH)* [en línea]. 2021. S.l.: McGraw-Hill Education. Disponible en: <https://www.accessscience.com/content/ph/504000>

HANSEN, E., MONTEIRO DE AQUIM, P., & GUTTERRES, M. “Environmental assessment of water, chemicals and effluents in leather post-tanning process: A review. *Environmental Impact Assessment Review* [en línea], 2021, (Brasil) 89(), p. 106597. [Consulta: 13 julio 2021]. ISSN 0195-9255. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106597>

HASHEM, M., TOMAL, M., & MONDAL, B. “Generation of fleshings at beamhouse in tannery and its environmental impact assessment: Bangladesh perspective”. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research* [en línea], 2015, (Bangladesh) 50(3), pp. 227–232. [Consulta: 13 julio 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.3329/bjsir.v50i3.25590>

HIDROWATER. Tamiz estático [en línea], 2020. [Consulta: 14 sep. 21 2021]. Disponible en: <https://hidro-water.com/productos/industrial/pretratamientos/tamiz-estatico/>

HUANG, G.; et al. "Application of heterogeneous catalytic ozonation as a tertiary treatment of effluent of biologically treated tannery wastewater". *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering* [en línea], 2016, 51(8), pp. 626-633. [Consulta: 15 julio 2021]. ISSN 15324117. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10934529.2016.1159863>

HUSSAIN, J., HUSSAIN, I. & ARIF, M. *Characterization of textile wastewater*. 2015. S.l.: s.n. ISBN 9780128023266

INOXMIM. Homogeneizador industrial: tipos y aplicaciones industriales [en línea]. 2021. [Consulta: 14 septiembre 2021]. Disponible en: <https://www.inoxmim.com/blog-c/homogeneizador-industrial>

KANDASAMY, R.; et al. *Biovalorisation of Wastes to Renewable Chemicals and Biofuels* [en línea]. Tamil Nadu-India: Anaerobic biovalorization of leather industry solid waste and production of high value-added biomolecules and biofuels., 2020. [Consulta: 13 julio 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817951-2.00001-8>

KHUNTIA, H.; et al. "Fractionation of FOG (fat, oil, grease), wastewater and particulate solids based on low-temperature solidification and stirring". *Journal of Water Process Engineering* [en línea], 2020, 34 (7), pp. 101167. [Consulta: 16 julio 2021]. ISSN 22147144. DOI 10.1016/j.jwpe.2020.101167. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101167>

KLUSKA, J., TURZYŃSKI, T., & KARDAŚ, D. "Experimental tests of co-combustion of pelletized leather tannery wastes and hardwood pellets". *Waste Management* [en línea], 2018, 79, pp. 22-29. [Consulta: 16 julio 2021]. ISSN 18792456. Disponible en: [10.1016/j.wasman.2018.07.023](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.023)

LI, D. & LIU, S. "Detection of River Water Quality". *Water Quality Monitoring and Management* [en línea], 2019 pp. 211-220. [Consulta: 16 julio 2021]. Disponible en: [10.1016/b978-0-12-811330-1.00007-7](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811330-1.00007-7)

LOMBEIDA ROJAS, Lenin Vinicio. Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para una empresa de Curtiembre [en línea] (Trabajo de Titulación) (Pregrado). Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador, 2017, pp.1-98. [Consulta: 15 julio 2021]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/9724/1/T-UCE-0008-Q001-2017.pdf>

MOURA, A.; et al. "Electrodialysis and water reuse: Novel approaches". *Electrodialysis and Water Reuse: Novel Approaches* [en línea], 2014, pp. 1-144. [Consulta: 14 julio 2021]. DOI 10.1007/978-3-642-40249-4. Disponible en: https://doi.org/10.1007/978-3-642-40249-4_8

MOROCHO YASCARIBAY, Mario Vinicio. Tratamiento de aguas residuales de una curtiembre en el cantón Cuenca mediante la aplicación dosificada de EMAs (Microorganismos Eficientes Autóctonos) [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador. 2017. pp. 17- 59. [Consulta: 2021-07-12]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26955/1/Tesis.pdf>

MWINYIHIJA, M. *Ecotoxicological Diagnosis in the Tanning Industry* [en línea]. 2010. S.l.: Springer New York. [Consulta: 17 julio 2021]. SpringerLink : Bücher. ISBN 9781441962669. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=a53Z9sUKAdUC>

NATARAJAN, T.; et al. "Study on identification of leather industry wastewater constituents and its photocatalytic treatment". *International Journal of Environmental Science and Technology* [en línea], 2013, 10 (4), pp. 855-864. [Consulta: 10 julio 2021]. ISSN 17351472. DOI 10.1007/s13762-013-0200-9. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-013-0200-9>

NUREALAM, M. "Adsorption of chromium (Cr) from tannery wastewater using low-cost spent tea leaves adsorbent". *Applied Water Science* [en línea], 2018, 8 (5), pp. 1-7. [Consulta: 16 julio 2021]. ISSN 2190-5487. DOI 10.1007/s13201-018-0774-y. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0774-y>

OZGUNAY, H.; et al. "Characterization of leather industry wastes". *Polish Journal of Environmental Studies Technology* [en línea], 2007, (Blangadesh) 16(6), pp. 867–873. [Consulta: 13 julio 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ep.12860>

PARTHASARATHY, P.; et al. "Effect of Hydrothermal Carbonization Reaction Parameters on". *Environmental Progress & Sustainable Energy* [en línea], 2014, 33 (3), pp. 676-680. [Consulta: 10 julio 2021]. ISSN 19447450. Disponible en: <https://aiche.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ep.11974>

PATEL, H., & VASHI, R. "Characterization of Textile Wastewater". *Characterization and Treatment of Textile Wastewater* [en línea], 2015, pp. 21-71. [Consulta: 16 julio 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802326-6.00002-2>

PRADEEP, S.; et al. "Chromium-free and waterless vegetable-aluminium tanning system for sustainable leather manufacture". *Chemical Engineering Journal Advances* [en línea], 2021, (India) 7(), p. 100108. [Consulta: 13 julio 2021]. ISSN 2666-8211. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2021.100108>

QINHUAN, Y., MINGZHAO, X. & XINGXIU, G. "Screening of Biofloculant and Preliminary Application to Treatment of Tannery Wastewater". *Journal of Residuals Science and Technology* [en línea], 2015, 12 (3), pp. 177-181. Disponible en: 10.12783/issn.1544-8053/12/3/8

RAJASEKHARAN, V.; et al. "Apparatus, composition and method for determination of chemical oxidation demand". *U.S. Patent No 10,302,552*, 28 [en línea], 2019, 2, pp. 1-24. [Consulta: 14 julio 2021]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US10302552B2/en>

REAL ACADEMIA DE LA INGENIERÍA. Tiempo de retención hidráulico. [Consulta: 14 septiembre 2021]. Disponible en: <http://diccionario.raing.es/es/lema/tiempo-de-retenci%C3%B3n-hidr%C3%A1ulico>

SAWALHA, H.; et al. “Wastewater from leather tanning and processing in Palestine: Characterization and management aspects”. *Journal of Environmental Management* [en línea], 2019, (Argelia) 251(), p. 109596. [Consulta: 13 julio 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109596>

SAXENA, G.; et al. *Chapter 18 - Emerging green technologies for biological treatment of leather tannery chemicals and wastewater.* Dehradun-India: Bioremediation for Environmental Sustainability, Elsevier, 2021, pp. 435-457. [Consulta: 13 julio 2021]. ISBN 9780128205242. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820524-2.00018-3>

SNEHA, P., & VENKATESWARA R. “Application of advanced oxidation processes and cavitation techniques for treatment of tannery wastewater—A review”. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea], 2021, (India) 9(3), p. 105234. [Consulta: 13 julio 2021]. ISSN 2213-3437. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105234>

SCHILLING, K.; et al. "Adapting the Austrian Edict on wastewater emissions for tanneries as consequence of foam formation on surface waters". *Environmental Science and Policy* [en línea], 2012, 23, pp. 68-73. [Consulta: 14 julio 2021]. ISSN 14629011. DOI 10.1016/j.envsci.2012.07.021. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2012.07.021>

SIVARAM, N., & BARIK, D. *Toxic waste from leather industries* [en línea], 2018, Elsevier Ltd. [Consulta: 13 julio 2021]. ISBN 9780081025284. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102528-4.00005-5>

TAMERSIT, S., & BOUHIDEL, K. “Treatment of tannery unhairing wastewater using carbon dioxide and zinc cations for greenhouse gas capture, pollution removal and water recycling”. *Journal of Water Process Engineering* [en línea], 2020, (Argelia) 34(), p. 101120. [Consulta: 13 julio 2021]. ISSN 2214-7144. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101120>

TASCA, A., & PUCCINI, M. “Leather tanning: Life cycle assessment of retanning, fatliquoring and dyeing”. *Journal of Cleaner Production* [en línea], 2019, (Italy) 226(), pp. 720-729. [Consulta: 13 julio 2021]. ISSN 0959-6526. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.335>

THANIKAIVELAN, P.; et al. “Recent Trends in Leather Making: Processes, Problems, and Pathways”. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* [en línea], 2005, (India) 35(1), pp. 37–79. [Consulta: 13 julio 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10643380590521436>

RAJASEKHARAN, V., et al., 2019. Apparatus, composition and method for determination of chemical oxidation demand. *U.S. Patent No 10,302,552*, 28, vol. 2, pp. 1-24.

SAMPAT, P.J. y KHAGRAM, M.C., 2009. Recent developments in membrane technology. *Chemical Engineering World*, vol. 44, no. 8, pp. 48-58. ISSN 00092517.

SÁNCHEZ, A.M., et al., 2019. INDUSTRIA MANUFACTURERA Calzado y afines. [en línea], pp. 9-12. Disponible en: <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/06/Análisis-calzado-29-mayo-2020.pdf>.

SCHILLING, K., et al., 2012. Adapting the Austrian Edict on wastewater emissions for tanneries as consequence of foam formation on surface waters. *Environmental Science and Policy*, vol. 23, pp. 68-73. ISSN 14629011. DOI 10.1016/j.envsci.2012.07.021.

SIVARAM, N.M. y BARIK, D., 2018. *Toxic waste from leather industries*. S.l.: Elsevier Ltd. ISBN 9780081025284.

UMAMAHESWARI, J. y SHANTHAKUMAR, S., 2016. Efficacy of microalgae for industrial wastewater treatment: a review on operating conditions, treatment efficiency and biomass productivity. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, vol. 15, no. 2, pp. 265-284. ISSN 15729826. DOI 10.1007/s11157-016-9397-7.

VERMA, S., et al., 2019. *Treatment and Recycling of Wastewater from Winery*. S.l.: s.n. ISBN 9789811314681.

WYRWAS, B. y ZGOŁA-GRZEŚKOWIAK, A., 2014. Continuous flow methylene blue active substances method for the determination of anionic surfactants in river water and biodegradation test samples. *Journal of Surfactants and Detergents*, vol. 17, no. 1, pp. 191-198. ISSN 15589293. DOI 10.1007/s11743-013-1469-x.

ZHAO, C. y CHEN, W., 2019. A review for tannery wastewater treatment: some thoughts under stricter discharge requirements. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, no. 25, pp. 26102-26111. ISSN 16147499. DOI 10.1007/s11356-019-05699-6.

ZONGO, I., et al., 2017. Removal of hexavalent chromium from industrial wastewater by electrocoagulation: A comprehensive comparison of aluminium and iron electrodes. *Separation and Purification Technology*, vol. 66, no. 1, pp. 159-166. ISSN 13835866. DOI 10.1016/j.seppur.2008.11.012.

ANEXOS

ANEXO A: AVAL DE LA CURTIDURÍA “LA PENÍNSULA”

Ambato, 16 de diciembre de 2020

Doctor.

Bolívar Flores Mg.

PRESIDENTE DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA.

Presente

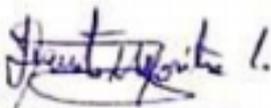
De mi consideración:

Reciba un cordial saludo, me remito a usted para poner en conocimiento que, “**CURTIDURÍA LA PENINSULA**” apoya a la ejecución del Trabajo de Integración Curricular denominado “**REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA LA PENÍNSULA DE LA PARROQUIA PENÍNSULA-TUNGURAHUA**” que realizara el Sr. **Cristian Aldair Flores Botina** con C.I. **040167368-6** y Código estudiantil **984696**. Estudiante de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química.

Declaro conocer y aceptar los términos y condiciones previstas para la ejecución del Trabajo de Titulación, estando conformes con todas aquellas actividades que se prevean realizar con nuestro apoyo, otorgo de esta manera el aval para la realización del mismo.

Por la favorable atención, anticipo mi agradecimiento.

Atentamente.



Sr. Fausto Moposita Laura
C.I. 1801963727001
Gerente Propietario de Curtiduría LA PENÍNSULA

ANEXO B: AGUA TRATADA DEL PROCESO DE CURTIDO



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA

FACULTAD DE CIENCIAS

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

Riobamba-Ecuador

INFORME DE ANALISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Cristian Aldair Flores Botina

Fecha de análisis: 23/03/2021

Tipo de muestras: Agua tratada del proceso de curtido, Curtiduría "LA PENÍNSULA"

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE TITULACIÓN

Determinaciones	Unidades	*Método	Límites	Resultados
pH	Und.	4500-H-B	6-9	7,9
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	-	1,7
Temperatura	°C	2550-A	<40,0	22
Turbiedad	NTU	2130-B	-	38
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2540-C	220,0	<1
Sólidos sedimentables	mL/L	2540-B	20,0	<0,1
Sólidos totales	mg/L	2540-A	1600,0	1 620
Demanda química de oxígeno	mg/L	5220-C	500,0	460
Sulfatos	mg/L	Método HACH	400	185
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	5210-B	250,0	230
Cromo Hexavalente	mg/L	HACH-8023	0,5	0,014

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 Ed.

**Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, tabla 8

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DE AGUA

ANEXO C: AGUA TRATADA DEL PROCESO DE PELAMBRE



ESPOCH
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA

FACULTAD DE CIENCIAS

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

Riobamba-Ecuador

INFORME DE ANALISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Cristian Aldair Flores Botina

Fecha de análisis: 16/04/2021

Tipo de muestras: Agua tratada del proceso de pelambre, Curtiduría "LA PENÍNSULA"

Localidad: Cantón Riobamba – Provincia de Chimborazo

TRABAJO DE TITULACIÓN

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und.	4500-H-B	6-9	6,5
Conductividad	mSiems/cm	2510-B	-	1,8
Temperatura	°C	2550-A	<40,0	22
Turbiedad	NTU	2130-B	-	45
Grasas	mg/L	-	70,0	-
Sólidos suspendidos totales	mg/L	2540-C	220,0	79
Sólidos totales	mg/L	2540-A	1600,0	1 080
Sulfuros	mg/L	4500-S ²⁻ -E	1,0	<1
Sulfatos	mg/L	4500-SO4-E	400	110
Demanda química de oxígeno	mg/L	5220-C	500,0	490
Demanda Bioquímica de oxígeno	mg/L	5210-B	250,0	240

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 Ed.

**Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, tabla 2

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DE AGUA

ANEXO D: TEST DE JARRAS PARA AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE Y CURTIDO

A



B



C



NOTAS:

- a. Muestra tratada de agua de curtido
- b. Test de jarras
- c. Muestra tratada de agua de pelambre

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

Aprobado	Preliminar
Certificado	Por aprobar
Información	Por calificar

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

Elaborado por:
Cristian Flores

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA
LA PENÍNSULA DE LA PARROQUIA LA
PENÍNSULA-TUNGURAHUA**

Lám.	Esc.	FECHA
1	1:1	2022/03/28

ANEXO E: ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

A



B



NOTAS:

- a. Vista lateral de la planta
- b. Vista frontal de la planta

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

Aprobado	Preliminar
Certificado	Por aprobar
Información	Por calificar

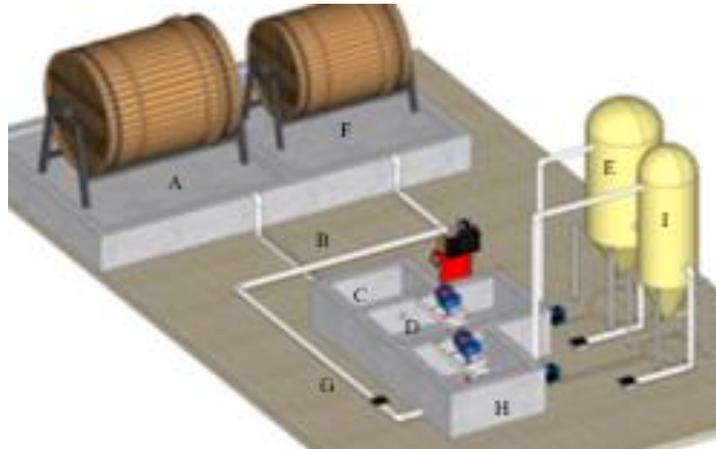
**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE
CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA**

Elaborado por:
Cristian Flores

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA
LA PENÍNSULA DE LA PARROQUIA LA
PENÍNSULA-TUNGURAHUA**

Lám.	Esc.	FECHA
2	1:1	2022/03/28

ANEXO F: VISTA 3D DE LA NUEVA PLANTA DE TRATAMIENTO



ÍTEM	ESTRUCTURA
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE PELAMBRE	
A	Bombo de pelambre
B	Sistema de rejillas
C	Sistema de aireación
D	Tanque de coagulación-floculación
E	Tanque sedimentador
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE CURTIDO	
F	Bombo de curtido
G	Sistema de rejillas
H	Tanque de coagulación-floculación
I	Tanque sedimentador

NOTAS:

a. Vista 3D de la nueva planta de tratamiento de aguas residuales

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

Aprobado	Preliminar
Certificado	Por aprobar
Información	Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

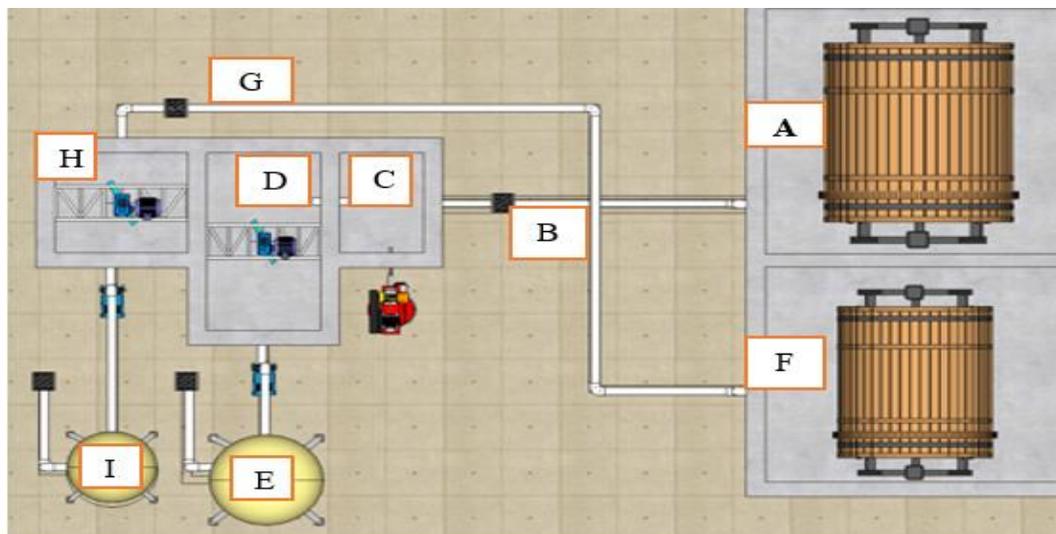
Elaborado por:
 Cristian Flores

REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA LA PENÍNSULA DE LA PARROQUIA LA PENÍNSULA-TUNGURAHUA

Lám.	Esc.	FECHA
------	------	-------

3	1:1	2022/03/28
---	-----	------------

ANEXO F: VISTA 3D DE LA NUEVA PLANTA DE TRATAMIENTO



ÍTEM	ESTRUCTURA
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE PELAMBRE	
A	Bombo de pelambre
B	Sistema de rejillas
C	Sistema de aireación
D	Tanque de coagulación-floculación
E	Tanque sedimentador
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE CURTIDO	
F	Bombo de curtido
G	Sistema de rejillas
H	Tanque de coagulación-floculación
I	Tanque sedimentador

NOTAS:

a. Vista superior de la planta de tratamiento de aguas residuales

CATEGORIA DEL DIAGRAMA

Aprobado	Preliminar
Certificado	Por aprobar
Información	Por calificar

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA
DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

Elaborado por:
Cristian Flores

**REDISEÑO DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA
LA PENÍNSULA DE LA PARROQUIA LA
PENÍNSULA-TUNGURAHUA**

Lám.	Esc.	FECHA
4	1:1	2022/03/28



epoch

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 27 / 07 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Cristian Aldair Flores Botina
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Química
Título a optar: Ingeniero Químico
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.

1369-DBRA-UTP-2022