



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**“REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA EL TALLER ARTESANAL DE
TERMINADOS DE CUERO ‘AMÉRICA’ DE LA PARROQUIA
PISHILATA-TUNGURAHUA”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentando para optar el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR:

GABRIEL ALEJANDRO VILLAGÓMEZ GALÁN

Riobamba-Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**“REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA EL TALLER ARTESANAL DE
TERMINADOS DE CUERO ‘AMÉRICA’ DE LA PARROQUIA
PISHILATA-TUNGURAHUA”**

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentando para optar el grado académico de:

INGENIERO QUÍMICO

AUTOR: GABRIEL ALEJANDRO VILLAGÓMEZ GALÁN

DIRECTORA: Ing MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA MSc.

Riobamba-Ecuador

2021

©2021, Gabriel Alejandro Villagómez Galán

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

Yo, Gabriel Alejandro Villagómez Galán, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 26 de noviembre del 2021

Gabriel Alejandro Villagómez Galán

060421266-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; Tipo: Proyecto Técnico, “**REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL TALLER ARTESANAL DE TERMINADOS DE CUERO ‘AMÉRICA’ DE LA PARROQUIA PISHILATA-TUNGURAHUA**” realizado por el señor: **GABRIEL ALEJANDRO VILLAGÓMEZ GALÁN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Segundo Hugo Calderón Msc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: SEGUNDO HUGO CALDERON . -----	2021-11-26
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza Msc. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA -----	2021-11-26
Ing. Ramiro Carlos Cepeda Godoy Msc MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: CARLOS RAMIRO CEPEDA GODOY -----	2021-11-26

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, Wilfrido y Patricia, por haberme apoyado incondicionalmente desde incluso antes de empezar la carrera hasta terminarla, por trabajar incansablemente toda la semana para que no nos falte nada, por haberme inculcado valores y principios y por brindarnos lo más importante, que es el estudio para mí y para mis hermanos menores Paulo y Laura, a quienes igual agradezco por siempre estar ahí para mí y por ser tan buenos hermanos, a mi abuelita Charito que me ha brindado un lugar en su casa y me ha aconsejado sabiamente en más de una ocasión, le dedico esta tesis a toda mi familia, no sin antes decir que han sido mi motivación más importante para poder llegar hasta el final de este arduo camino, mis mejores deseos para todos y adelante que en la vida todo es posible con disciplina, trabajo y perseverancia.

Gabriel.

AGRADECIMIENTO

Por siempre estaré totalmente agradecido con mis padres Wilfrido Villagómez y Patricia Galán, por haberme dado el estudio, con mis hermanos Paulo y Laura Villagómez, con mi abuelita Rosario Cepeda y con todos mis familiares por haberme ofrecido ese apoyo emocional que fue pilar fundamental para lograr este objetivo y estar más cerca de la meta.

Quiero también agradecer a la ESPOCH y a los docentes que he tenido a lo largo de la gran carrera de Ingeniería Química, buenos y malos docentes han sido muy importantes para tener otro tipo de enfoque en mi vida y darme cuenta cómo quiero y como no quiero ser. Agradezco especialmente a la Dra. Gina Álvarez quien me ayudó mucho brindándome sus conocimientos los cuales yo requería para hacer mi trabajo de grado, asimismo agradezco a mis compañeros de laboratorio quienes hicieron más amena la parte experimental del trabajo.

A mis amigos más cercanos, con quienes he vivido los altos y bajos de mi carrera, muchas gracias por el apoyo, casi todos ellos de igual manera han llegado a esta parte del camino y los felicito, auguro éxitos en sus vidas.

Gabriel.

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE ECUACIONES	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS	XV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT	XVII
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1. Identificación del problema	2
1.2. Justificación del problema	2
1.3. Línea base del proyecto	3
<i>1.3.1. Antecedentes de la industria del curtido</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2. Taller artesanal de terminado de cuero (América).....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.3. Ubicación geográfica</i>	<i>4</i>
<i>1.3.3.1. Extensión de la parroquia Pishilata.....</i>	<i>5</i>
<i>1.3.4. Beneficiarios directos e indirectos</i>	<i>6</i>
<i>1.3.4.1. Beneficiarios directos.....</i>	<i>6</i>
<i>1.3.4.2. Beneficiarios indirectos</i>	<i>6</i>
<i>1.3.5. Objetivos</i>	<i>6</i>
<i>1.3.5.1. Objetivo General.....</i>	<i>6</i>
<i>1.3.5.2. Objetivos Específicos</i>	<i>6</i>

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	8
2.1. Curtiembre	8
<i>2.1.1. Impacto ambiental de las curtiembres.....</i>	<i>8</i>
2.2. Aguas residuales.....	9
<i>2.2.1. Aguas residuales industriales</i>	<i>9</i>
<i>2.2.1.1. Tipos de aguas residuales industriales</i>	<i>9</i>

2.2.1.2. <i>Procesos y tecnologías</i>	10
2.3. Proceso de obtención de cuero en el taller artesanal de terminados de cuero	
“América”	10
2.3.1. <i>Etapa de ribera</i>	10
2.3.2. <i>Etapa de curtido</i>	11
2.3.3. <i>Etapa de acabado</i>	12
2.4. Parámetros de caracterización para aguas residuales procedentes del proceso de	
curtición	12
2.4.1. <i>Parámetros físicos</i>	12
2.4.2. <i>Parámetros químicos</i>	13
2.5. Tratamiento de aguas residuales	14
2.5.1. <i>Tipos de tratamiento de aguas residuales</i>	14
2.6. Tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de curtido	16
2.6.1. <i>Tratamiento preliminar</i>	16
2.6.1.1. <i>Desbaste</i>	16
2.6.2. <i>Tratamiento primario</i>	17
2.6.2.1. <i>Homogeneización</i>	17
2.6.2.2. <i>Decantación primaria</i>	18
2.6.2.3. <i>Separación por flotación</i>	18
2.6.2.4. <i>Coagulante y floculante</i>	18
2.6.2.5. <i>Sedimentación secundaria</i>	19
2.6.2.6. <i>Espesamiento y secado de lodos</i>	21
2.6.3. <i>Tratamiento biológico</i>	22
2.6.3.1. <i>Lodos activos</i>	22

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	24
3.1. Localización del proyecto	24
3.1.1. <i>Localización geográfica</i>	24
3.2. Ingeniería del proyecto	25
3.2.1. <i>Tipo de estudio</i>	25
3.2.2. <i>Métodos</i>	26
3.2.3. <i>Técnicas</i>	28
3.2.3.1. <i>Técnicas in situ</i>	28
3.2.3.2. <i>Preservación de las muestras</i>	29

3.2.3.3. Muestreo.....	30
3.2.3.4. Análisis de Laboratorio.....	31
3.2.4. Caracterización inicial del agua residual de los procesos de pelambre y curtido del taller artesanal “América”	40
3.2.4.1. Parámetros fuera del límite permisible.....	42
3.2.5. Índice de biodegradabilidad	43
3.2.5.1. Índice de biodegradabilidad del agua de pelambre.....	44
3.2.5.2. Índice de biodegradabilidad del agua de curtido	44
3.2.6. Pruebas de tratabilidad	45
3.2.6.1. Pasos para realizar el test de jarras	45
3.2.6.2. Selección del coagulante óptimo.....	46
3.2.6.3. Elección del pH óptimo.....	47
3.2.6.4. Dosificación óptima de floculante	47
3.2.6.5. Dosificación óptima de coagulante.....	48
3.2.7. Estado actual del sistema de tratamiento de aguas residuales del taller artesanal de terminados de cuero “América”	49
3.2.8. Dimensionamiento de unidades del sistema de tratamiento de aguas del taller artesanal “América”	52
3.2.8.1. Caudal de diseño para el agua de pelambre.....	52
3.2.8.2. Caudal de diseño para el agua de curtido	54
3.2.8.3. Diseño del sistema de rejillas	55
3.2.8.4. Dimensionamiento del tanque oxigenador.....	58
3.2.8.5. Dimensionamiento del tanque de floculación y coagulación.....	65
3.2.8.6. Dimensionamiento del tanque de sedimentación rectangular	68
3.2.8.7. Cálculo de la dosificación de productos químicos.....	70

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS	74
4.1. Validación del rediseño	74
4.1.1. Caracterización de los parámetros físico-químicos del agua residual de pelambre después del tratamiento.....	74
4.1.2. Caracterización de los parámetros físico-químicos del agua residual de curtido después del tratamiento.....	75
4.1.3. Porcentaje de remoción	75
4.2. Resultados de las unidades para el dimensionamiento de equipos.....	76

4.3. Costos de implementación.....	81
<i>4.3.1. Costo del rediseño del sistema de tratamiento de aguas del taller artesanal “América”</i>	
81	
<i>4.3.2. Costo de químicos</i>	82
4.4. Análisis de resultados	82
CONCLUSIONES.....	84
RECOMENDACIONES.....	86

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Características de la parroquia Pishilata.....	5
Tabla 2-1:	Límites de la parroquia Pishilata	5
Tabla 1-2:	Pasos para el proceso de pelambre	11
Tabla 2-2:	Tratamientos aplicables a aguas residuales	15
Tabla 3-2:	Información para la limpieza de rejillas según el método manual y mecánico	17
Tabla 4-2:	Coagulantes y floculantes más usados en la industria del curtido.....	19
Tabla 5-2:	Parámetros de diseño para tanques de sedimentación primaria.....	19
Tabla 6-2:	Parámetros de diseño para sedimentadores rectangulares	20
Tabla 7-2:	Parámetros de diseño para sedimentadores circulares para el tratamiento primario	21
Tabla 8-2:	Velocidades finales a caudal máximo	21
Tabla 1-3:	Referencias geográficas del taller artesanal “América”	24
Tabla 2-3:	Métodos de análisis de aguas	26
Tabla 3-3:	Técnicas utilizadas en la elaboración del proyecto.....	28
Tabla 4-3:	Método de medición de caudal.....	28
Tabla 5-3:	Materiales y equipos utilizados para la medición del caudal	29
Tabla 6-3:	Medición del caudal del efluente proveniente del bombo de pelambre	29
Tabla 7-3:	Medición del caudal del efluente proveniente del bombo de curtido.....	29
Tabla 8-3:	Preservación de muestras	30
Tabla 9-3:	Toma de muestras del proceso de pelambre.....	31
Tabla 10-3:	Toma de muestras del proceso de curtido	31
Tabla 11-3:	Método HACH DR 2800.....	32
Tabla 12-3:	Método HACH DR 2800	33
Tabla 13-3:	Método Standard Methods 5210-B	33
Tabla 14-3:	Método 5220-C.....	35
Tabla 15-3:	Método HACH DR 2800.....	36
Tabla 16-3:	Método Standard Methods 4500-B	36
Tabla 17-3:	Método 2540-F.	37
Tabla 18-3:	Método PE – LSA - 04	37
Tabla 19-3:	Método APHA 2540 B	38
Tabla 20-3:	Método Standard Methods 4500 – SO ₄ - E	39
Tabla 21-3:	Método yodométrico 4500 – S ² -E.....	39
Tabla 22-3:	Método HACH 2130-B	40

Tabla 23-3:	Caracterización inicial del agua residual de pelambre.	41
Tabla 24-3:	Caracterización inicial del agua residual de curtido	42
Tabla 25-3:	Valores y tratamientos del índice de biodegradabilidad.....	43
Tabla 26-3:	Concentraciones de DBO ₅ y DQO en el agua de pelambre y curtido.	44
Tabla 27-3:	Selección del tratamiento adecuado según el índice de biodegradabilidad.	44
Tabla 28-3:	Selección del coagulante para el proceso de pelambre	46
Tabla 29-3:	Selección del coagulante para el proceso de curtido	46
Tabla 30-3:	Elección del pH óptimo	47
Tabla 31-3:	Determinación de la dosis óptima de floculante para el agua de pelambre	48
Tabla 32-3:	Determinación de la dosis óptima de floculante para el agua de curtido	48
Tabla 33-3:	Determinación de la dosis óptima de coagulante para el agua de pelambre.....	48
Tabla 34-3:	Determinación de la dosis óptima de floculante para el agua de curtido	49
Tabla 35-3:	Dimensiones del tanque oxigenador.....	50
Tabla 36-3:	Dimensiones del tanque de floculación y coagulación.....	51
Tabla 37-3:	Dimensiones del tanque sedimentador rectangular	51
Tabla 38-3:	Dimensiones del pozo 1.....	52
Tabla 39-3:	Dimensiones del pozo 2.....	52
Tabla 40-3:	Condiciones de diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica	55
Tabla 41-3:	Selección del diámetro de la tubería según el caudal	62
Tabla 42-3:	Selección del diámetro de burbuja.....	63
Tabla 43-3:	Propiedades físicas del agua.....	66
Tabla 44-3:	Criterios de diseño para mezcladores de turbina	67
Tabla 45-3:	Impulsores y su número de potencia	67
Tabla 46-3:	Criterios de diseño para pantalla difusora	69
Tabla 1-4:	Caracterización final del agua residual de pelambre	74
Tabla 2-4:	Caracterización final del agua residual de curtido.....	75
Tabla 3-4:	Porcentaje de remoción en el agua residual de pelambre	76
Tabla 4-4:	Porcentaje de remoción en el agua residual de curtido.....	76
Tabla 5-4:	Resultados del cálculo del caudal de diseño para el agua de pelambre	77
Tabla 6-4:	Resultados del cálculo del caudal de diseño para el agua de curtido	77
Tabla 7-4:	Resultados del cálculo del dimensionamiento del tanque oxigenador	77
Tabla 8-4:	Resultados del cálculo del dimensionamiento del tanque de floculación y coagulación	77
Tabla 9-4:	Resultados del cálculo del dimensionamiento del tanque de sedimentación.....	78
Tabla 10-4:	Cotización del rediseño del sistema de tratamiento de aguas.....	81
Tabla 11-4:	Cotización de químicos	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Referencia geográfica de la curtiembre “América”	4
Figura 1-2:	Tanque de sedimentación primaria rectangular	20
Figura 2-2:	Tanque de sedimentación primaria circular	21
Figura 3-2:	Laguna de aireación de flujo continuo.....	23
Figura 1-3:	Localización del taller artesanal “América”	25
Figura 2-3:	Toma frontal del taller artesanal de acabados de cuero “América”	25
Figura 3-3:	Tanque oxigenador.....	50
Figura 4-3:	Tanque de floculación y coagulación.....	51
Figura 5-3:	Tanque sedimentador rectangular	52
Figura 6-3:	Difusor poroso para el tanque oxigenador	65
Figura 1-4:	Diagrama de proceso de la actual planta de tratamiento de aguas residuales en la curtiembre “América”	79
Figura 2-4:	Diagrama del proceso de rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre “América”.....	80

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1.	Caudal experimental.....	52
Ecuación 2.	Caudal de corrección.....	53
Ecuación 3.	Caudal de diseño	53
Ecuación 4.	Área libre del paso del agua	55
Ecuación 5.	Altura del tirante en el canal.....	56
Ecuación 6.	Altura del tirante de construcción.....	56
Ecuación 7.	Longitud de las barras	57
Ecuación 8.	Numero de barras	57
Ecuación 9.	Volumen del tanque oxigenador.....	58
Ecuación 10.	Cálculo del caudal de aire en función de DB5	59
Ecuación 11.	Cálculo de la presión hidrostática.....	59
Ecuación 12.	Cálculo de la presión absoluta.....	60
Ecuación 13.	Variación térmica en el aire de compresión	60
Ecuación 14.	Cálculo de la temperatura de salida de aire	61
Ecuación 15.	Cálculo de la potencia del compresor.....	61
Ecuación 16.	Cálculo de la velocidad a la salida del compresor	62
Ecuación 17.	Cálculo del número de Reynolds.....	63
Ecuación 18.	Cálculo del diámetro de los orificios del difusor de aire.....	64
Ecuación 19.	Cálculo del número de orificios del difusor poroso	64
Ecuación 20.	Volumen del tanque de floculación y coagulación.....	65
Ecuación 21.	Diseño de la longitud de las paletas del sistema de agitación	66
Ecuación 22.	Diseño de la altura de la paleta del sistema de agitación.....	66
Ecuación 23.	Cálculo de la potencia aplicada al agua.....	67
Ecuación 24.	Cálculo de la velocidad de rotación.....	68
Ecuación 25.	Cálculo del volumen del tanque sedimentador rectangular.....	68
Ecuación 26.	Cálculo de la longitud total	69
Ecuación 27.	Cálculo de la velocidad de sedimentación.....	69
Ecuación 28.	Cálculo del área superficial en la zona de sedimentación	70
Ecuación 29.	Cálculo de la carga hidráulica	70
Ecuación 30.	Dosis de policloruro de aluminio (PAC)	71
Ecuación 31.	Dosis de policloruro de aluminio (PAC) diario.....	71
Ecuación 32.	Dosis de floculante aniónico diario	72
Ecuación 33.	Dosificación de cal	72

Ecuación 34. Porcentaje de remoción	75
--	----

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** ACUERDO MINISTERIAL 097-A, TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES AL ALCANTARILLADO.
- ANEXO B:** CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE
- ANEXO C:** CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA DE CURTIDO
- ANEXO D:** CARACTERIZACIÓN FINAL DEL AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE
- ANEXO E:** CARACTERIZACIÓN FINAL DEL AGUA RESIDUAL DE CURTIDO
- ANEXO F:** DOCUMENTOS DEL TALLER ARTESANAL “AMÉRICA”
- ANEXO G:** ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA
- ANEXO H:** PRUEBAS DE TRATABILIDAD A NIVEL DE LABORATORIO
- ANEXO I:** ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO DE AGUA
- ANEXO J:** DIAGRAMA DEL REDISEÑO DE LA PLANTA

RESUMEN

En el presente proyecto, se trabajó en el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales existente en el taller artesanal de terminados de cuero “América”. El primer paso fue el reconocimiento de la planta, por lo que se realizó una primera visita para conocer las instalaciones, a los dueños y se recibió información acerca del taller. En una segunda visita se procedió a la medición del caudal y a la toma de muestras, las cuales se tomaron en baldes de 25 litros para luego ser trasvasados a canecas de la misma capacidad. Se realizó la caracterización inicial de las aguas residuales de pelambre y curtido en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en base a los Métodos Normalizados. (APHA, AWWA, WPCF 17 ed.) y el Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Tabla 9. Se determinó que para el agua de pelambre los parámetros que demuestran un peligro son los del DBO5, DQO y sulfuros, mientras que para el agua de curtido fueron DBO5, DQO y sulfatos, esto nos demuestra que el agua no es capaz de degradar estos componentes por lo cual requiere de un tratamiento. Se realizó las pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio, con la determinación del floculante y coagulante indicados se procedió al test de jarras para luego filtrar ambos efluentes. Una vez realizadas las pruebas de tratabilidad, casi todos los parámetros cumplían con la legislación actual, mientras que los parámetros mencionados en el párrafo anterior demostraron un porcentaje de remoción eficiente, equivalente a una eficiencia de 95,52% en base al DBO5 y de 86,38% en base al DQO. Se recomienda aplicar el rediseño de esta planta que significará la disminución de contaminación al medio ambiente y una mejora en la calidad de vida de los habitantes del sector.

Palabras clave: <TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES>, <INGENIERÍA QUÍMICA>, <PELAMBRE>, <CURTIDO>, <DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO5)>, <DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)>, <FLOCULANTE>, <COAGULANTE>.

LEONARDO
FABIO
MEDINA
NUSTE

Firmado digitalmente
por LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE
Fecha: 2021.10.11
16:27:14 -05'00'



1864-DBRA-UTP-2021

ABSTRACT

In this project, it was worked on the redesign of the existing wastewater treatment system in the “América” leather finishing artisan workshop. The first step was the recognition of the plant, so a first visit was made to know the facilities, the owners and information about the workshop was received. In a second visit, the flow was measured and samples were taken, which were taken in 25-liter buckets and then transferred to cans of the same capacity. The initial characterization of the leather and tanned wastewater was carried out in the Water Quality Laboratory of Escuela Superior Politécnica de Chimborazo based on Standardized Methods. (APHA, AWWA, WPCF 17 ed.) And Ministerial Agreement 097-A, Book VI, Table 9. It was determined that for pellet water the parameters that demonstrate a hazard are those of BOD5, COD and sulfides, while for the tanning water was BOD5, COD and sulfates. This shows us that the water is not capable of degrading these components, therefore it requires treatment. The treatability tests were carried out at the laboratory level, with the determination of the flocculant and coagulant indicated, the jar test was carried out and then a filtration of both effluents was carried out. Once the treatability tests were carried out, almost all the parameters complied with the current legislation, while the parameters mentioned in the previous paragraph showed an efficient removal percentage, equivalent to an efficiency of 95.52% based on BOD5 and 86, 38% based on COD. It is recommended to apply the redesign of this plant that will mean the reduction of pollution to the environment and an improvement in the quality of life of the inhabitants of the sector.

Keywords: <WASTEWATER TREATMENT>, <CHEMICAL ENGINEERING>, <HAIR>, <TANNING>, <BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND (BOD5)>, <CHEMICAL OXYGEN DEMAND (COD)>, <FLOCCULANT>, <COAGULANT>.



Firmado electrónicamente por:

**NANCI
MARGARITA INCA
CHUNATA**

INTRODUCCIÓN

El agua es un elemento extremadamente importante y es el recurso que más utilizamos los seres humanos para vivir el día a día, ya que es indispensable para las actividades cotidianas que realizamos. Asimismo, tiene una importancia esencial en la industria debido a que es utilizada en múltiples procesos, una de las empresas que requiere exageradas cantidades de agua es la industria del curtido, y hay que considerar que solo en la provincia de Tungurahua existen 57 negocios de curtiembre en total.

El taller artesanal de terminados de cuero “América” es una industria dedicada a la fabricación de artículos de piel (con pelo natural), ubicada en la parroquia Pishilata en el cantón Tungurahua cuyo propietario, el señor Roberto Guanina junto a su equipo de trabajo que en su gran mayoría es su familia, procesan más de 300 pieles al mes.

Es muy importante hacer énfasis en los altos niveles de contaminación que produce la industria de curtiembre, cuyo fin es convertir las pieles de los animales en un material textil denominado cuero, siguiendo a cabalidad tres procesos importantes: ribera, curtido y acabado, pero estos procesos implican el uso de productos químicos, los cuales generan efluentes contaminantes, que en la mayoría de los casos son vertidos a las alcantarillas, ríos, lagos, lagunas, etc., sin un previo tratamiento provocando así una contaminación extremadamente amenazante para el desarrollo de la vida, ya que estos químicos utilizados en los procesos poseen una concentración elevada de sales de cromo, sulfatos, sulfuros, etc. en las aguas resultantes del proceso. El Gobierno Autónomo Descentralizado de la ciudad de Ambato busca que las industrias de curtiembres cumplan con las normas de descarga de los efluentes de acuerdo a lo estipulado en los límites máximos regidos por la normativa vigente, el Acuerdo Ministerial 097-A, TABLA 8, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Identificación del problema

Las industrias de curtido son conocidas por utilizar una gran cantidad de agua para la transformación de las pieles, que son un producto putrescible, en acabados de cuero, los cuales son imputrescibles y se usan en productos manufacturados. Por lo general, la industria de la curtiembre genera grandes cantidades de aguas residuales, las cuales, la mayoría de las veces son desechadas a los cuerpos de agua sin haber sido tratadas previamente, generando así grandes cantidades de demandas bioquímicas de oxígeno y química de oxígeno, valores elevados de pH, presencia de sustancias químicas tóxicas que actúan como mutágenos, aumentando el riesgo de desarrollar cáncer en la población expuesta (Castillo y Quijano, 2015, p.27).

Cabe recalcar la gran cantidad de agua que utiliza esta actividad industrial, por cada 1000 kg de piel salada que entra al proceso, se requieren de 15 a 40 m³ de agua y 450 kg de insumos químicos para obtener 200 kg de cuero acabado, pero generando a su vez 40 kg de solventes emitidos a la atmósfera, 640 kg de residuos sólidos y 138 L de agua que pierde la piel (Benítez y Ordoñez, 2019, p.57).

Otros efectos dañinos a la salud fueron diagnosticados en las personas que están directamente expuestas al cromo, estas personas presentaron, además de los efectos cancerígenos ya mencionados, alteraciones a su sistema respiratorio, es decir, enfermedades como la rinitis y el asma, a nivel renal también se pudo observar una necrosis tubular; es muy dañino para el sistema inmunológico por la actividad de la inmunotoxina, por último, a nivel oftalmológico se comprobó que produce glaucoma, atrofia del nervio óptico y coroiditis.

Para disminuir los índices de contaminación y evitar sanciones por parte de las autoridades encargadas de la gestión ambiental, es indispensable que se realice la caracterización de las aguas residuales que genera y los efluentes tratados por el sistema actual de la curtiembre, para conocer el estado actual del mismo y poder hacer el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales del taller artesanal “América” en base a ecuaciones y cálculos de ingeniería.

1.2. Justificación del problema

El impacto ocasionado por los desechos generados por la industria de la curtiembre representa un grave problema ambiental causado principalmente por el manejo incorrecto de las aguas residuales provenientes de los distintos procesos industriales aplicados a las pieles de los animales para la obtención de acabados de cuero.

En la provincia de Tungurahua existe una gran cantidad de pequeñas industrias de curtiembres que no tienen las herramientas necesarias ni los conocimientos requeridos acerca del correcto manejo de sus aguas residuales, las cuales, por lo general terminan siendo vertidas a esteros, ríos, alcantarillas y vertientes.

Un estudio aplicado a la industria de acabados de cuero “Tasajero” ubicada en Colombia, abarcó el análisis y la determinación de la mutagenicidad y genotoxicidad en las aguas residuales de dicha curtiembre; para la mutagenicidad se aplicó el test de Ames, con las cepas de *Salmonella typhimurium* TA98 y TA100. Se determinó que las aguas residuales de esta curtiembre hacen daño al ADN en linfocitos humanos e inducen un incremento en la mutagenicidad en la cepa TA98. (Guzmán, 2010, p.33).

Con la finalidad de contribuir a reducir este impacto ambiental, se requiere el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales del taller artesanal de acabados de cuero “América”. Además, con el desarrollo del presente proyecto se puede contribuir a la disminución de los costos en los químicos utilizados y de esta manera, cumplir con los parámetros establecidos por la normativa vigente ambiental.

1.3. Línea base del proyecto

1.3.1. Antecedentes de la industria del curtido

La industria del curtido es sin duda un sector textil extremadamente antiguo que consiste en transformar las pieles animales en cuero. Dentro de la industria, este cuero es utilizado para producir una gran variedad de productos, como, por ejemplo, zapatos, sandalias, bolsos, cinturones, maletines, etc. Ciertamente, está relacionada con la industria alimentaria, ya que la materia prima en la industria del curtido deriva de los desechos de aquellas empresas que procesan las carnes. En el mundo existe una gran demanda de cuero, una de las razones radica en su factibilidad para la obtención de la materia prima, ya que esta es un recurso renovable y de fácil adquisición. Esto hace que la industria del cuero, en la actualidad sea una de las empresas más rentables, expandiéndose por varios países del mundo y haya superado los 80 mil millones de dólares en el último año.

Principalmente, el uso que se le da al cuero es en el vestido y en el calzado, siendo muy común entre las personas y usado frecuentemente. Las pieles más comunes y utilizadas son las de ganado ovino, porcino y ovino, pero lo cierto es, que la industria del curtido, a pesar de que deriva de la industria cárnica, ya que utiliza sus productos secundarios, también implica el uso de muchos componentes químicos para transformar la piel en cuero.

1.3.2. Taller artesanal de terminado de cuero (América)

El taller artesanal de acabados de cuero “América”, está ubicado en la parroquia Pishilata, a mano izquierda de la cárcel, en la intersección de las calles La Rotonda e Ingapirca, se encuentra dentro del sector C142001, su propietario, el señor Alex Roberto Guanina Supe inició a la empresa el 28 de octubre de 1997 quien por más de 20 años se ha dedicado a la fabricación de artículos de piel (con pelo natural) con el objetivo de proporcionar una alta calidad respetando el medio ambiente y que sus productos sean reconocidos a nivel nacional.

El área de la curtiembre es de 1168,34 m² los cuales están distribuidos estratégicamente para cumplir con los procesos de curtiembre, áreas de despacho y recepción, oficinas, bodega, baño, zonas de maquinaria, tanques, estacionamiento, etc. Además, la zona cuenta con servicios básicos como energía eléctrica, agua, servicio de transporte público y alcantarillado, que es donde se descargan los efluentes residuales de la curtiembre.

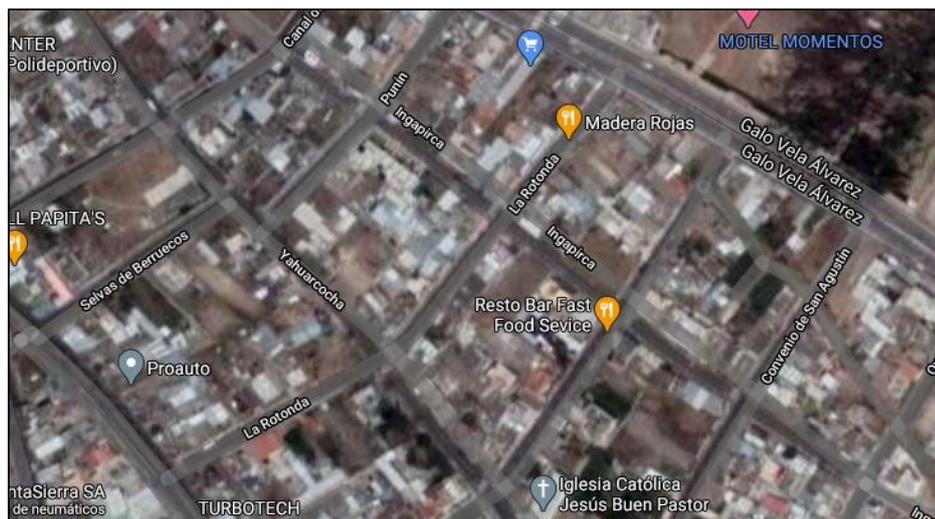


Figura 1-1: Referencia geográfica de la curtiembre “América”

Fuente: Google Maps.

Realizado por: Gabriel Villagómez, 2021.

1.3.3. Ubicación geográfica

El taller artesanal de terminados de cuero “América” se encuentra ubicado en la parroquia urbana Pishilata, provincia de Tungurahua, a 12 km al suroeste de Ambato, es la parroquia más grande del cantón Ambato.

Tabla 1-1: Características de la parroquia Pishilata

Altitud	2632 msnm
Temperatura promedio	25 °C
Superficie	1757 ha.
Población	150 familias (1250 habitantes)
Coordenadas geográficas	X: 769346 Y: 9861129

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

1.3.3.1. Extensión de la parroquia Pishilata

Su jurisdicción es la parte baja del barrio La Península, ribera norte del río Ambato la cual se extiende hasta llegar a la zona alta del paso lateral. Sus límites son:

Tabla 2-1: Límites de la parroquia Pishilata

Norte	Barrio Ingahurco Bajo
Sur	Picaihua
Este	Avenida Bolivariana
Oeste	Parroquia Celiano Monge

Fuente: El Telégrafo, 2014.

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

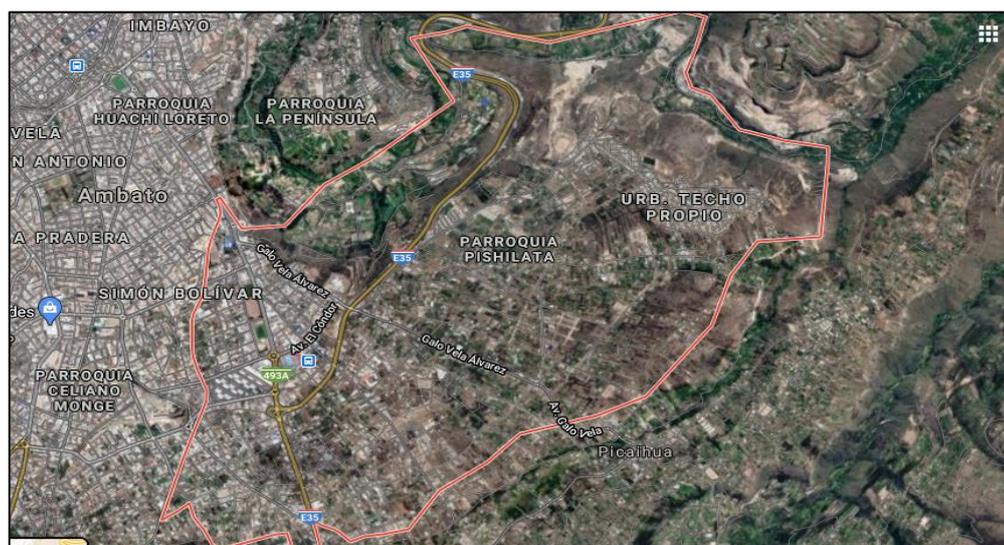


Figura 2-1: Límites de la Parroquia Pishilata

Fuente: Google Maps.

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

1.3.4. Beneficiarios directos e indirectos

1.3.4.1. Beneficiarios directos

El presente trabajo está enfocado a beneficiar a todo estudiante a conseguir los conocimientos necesarios en el área del rediseño de una planta de tratamiento de aguas residuales. Asimismo, beneficiará directamente al dueño y personal del taller artesanal de acabados de cuero “América” ya que se pretende encontrar cualquier falla en el proceso existente en esa industria y mejorarlo, ya sea optimizando costos o mejorando procesos.

El medio ambiente será el principal beneficiario, ya que se reducirá el impacto ambiental producido por los químicos utilizados en estos procesos, lo cual aumentará la calidad de vida de los moradores y animales que habitan el sector.

1.3.4.2. Beneficiarios indirectos

Es obligatorio que todas las industrias de curtiembre cumplan con la normativa ambiental vigente, por lo tanto, el desarrollo de este trabajo puede servir al dueño de cualquier industria de acabados de cuero a guiarse y empezar con el diseño (o rediseño) de la planta de tratamiento para las aguas residuales de su empresa. Así mismo el Gobierno Autónomo Descentralizado de la provincia de Tungurahua se beneficiará de la implementación de este proyecto técnico, ya que su finalidad es la reducción del impacto ambiental que genera la industria del curtido por medio del rediseño de la actual planta de tratamiento de efluentes de la empresa para encontrar mecanismos que nos ayuden a reducir la contaminación hacia el medio ambiente.

1.3.5. Objetivos

1.3.5.1. Objetivo General

- Rediseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para el taller artesanal de acabados de cuero ‘América’ ubicado en la provincia de Tungurahua, parroquia Pishilata.

1.3.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar las características físico – químicas del agua residual, basadas en los límites permisibles bajo la normativa vigente, Acuerdo Ministerial 097-A, TABLA 8, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

- Identificar las variables de proceso apropiadas 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 según los resultados obtenidos en la caracterización del efluente.
- Validar el rediseño propuesto considerando la caracterización físico – química del agua tratada, en base a los límites permisibles bajo la normativa vigente, Acuerdo Ministerial 097-A, TABLA 8, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Curtiembre

El curtido es el proceso químico en el cual se transforma la piel de los animales en cuero. La industria de la curtiembre o tenería, utiliza las pieles de los animales que se obtienen de las industrias cárnicas como un subproducto. Cabe recalcar que, si no fuera por la industria del curtido, se debería seguir todo un protocolo para descargar estas pieles, ya que habría que someterlas a incineración o depositarlas en botaderos o rellenos sanitarios.

Las pieles más utilizadas son las de ganado bovino, ovino y porcino, y para el proceso de curtido se emplean básicamente dos métodos: curtido a base de sales de cromo y curtido a base de agentes vegetales, unas tres cuartas partes de todas las curtiembres utilizan el método del curtido a base de sales de cromo, el cual, a pesar de ser el más utilizado, es el más contaminante debido a la toxicidad del cromo. Este método estabiliza el colágeno en la piel gracias a sus agentes curtientes que transforman la piel en cuero (Buljan y Kral, 2011, p.7).

2.1.1. Impacto ambiental de las curtiembres

Se estima que para la producción del cuero se necesitan acerca de 500 kilos de productos químicos para procesar una tonelada de cuero, como consecuencia, tenemos una importante cantidad de desechos líquidos y/o sólidos con una composición combinada de compuestos orgánicos e inorgánicos los cuales les dan a estas aguas altas características contaminantes.

El proceso de curtido produce grandes montos de polvo y sulfuro de hidrógeno, además de las carnazas, lodos, grasas, etc. Algunos de los efectos que tienen estas aguas al ser vertidas sobre el medio ambiente son:

- ✓ Piel y membranas mucosas irritadas.
- ✓ En combinación con otras sustancias puede causar cáncer de hígado.
- ✓ Puede alterar el sistema endócrino de la fauna terrestre y acuática.
- ✓ Reacciones alérgicas
- ✓ Daños en riñones e hígados.
- ✓ Puede posibilitar la aparición o el crecimiento de tumores y muerte celular.

En efecto, el agente más contaminante es el cromo (III) debido a que posiblemente se oxide a cromo (VI). El cromo es extremadamente difícil de degradar, además, es imposible saber cuánto

tiempo va a permanecer en el agua, además está científicamente comprobado que el cromo VI causa cáncer en los humanos (Mencías y Mayero, 2000, p.23).

2.2. Aguas residuales

Se les denominan aguas residuales aquellas que han sido sometidas a una alteración química, física o biológica debido a la presencia de contaminantes, por ejemplo, residuos sólidos, químicos, biológicos, industriales, municipales o agrícolas. Estas aguas deben ser tratadas antes de ser derramadas hacia el medio ambiente debido al impacto ambiental que puede causar al ser vertida en el entorno sin haber tenido un tratamiento previo, en la actualidad, en la mayoría de las industrias es obligatorio tener un sistema de tratamiento de aguas residuales para disminuir el daño que los líquidos residuales causan al entorno.

2.2.1. Aguas residuales industriales

Las aguas residuales industriales son el resultado de la actividad industrial y pueden contener contaminantes de distintos tipos de naturaleza. El uso del agua es muy común y necesario en una gran parte de procesos industriales y esta agua debería ser tratada antes de ser devuelta al medio ambiente para que el impacto ambiental que pueda causar sea mínimo o nulo.

Para poder verter estas aguas hacia el medio ambiente es muy importante que sus componentes se encuentren dentro de las normas ambientales establecidas, en muchos casos las industrias reutilizan el agua residual lo cual les ha traído resultados favorables ya que están cumpliendo con la normativa ambiental vigente y además reducen costos al reducir su consumo de agua.

Los agentes contaminantes más importantes en las aguas residuales industriales son: metales pesados, microorganismos patógenos, metales pesados, materia orgánica y sólidos en suspensión. Las aguas residuales por lo general tienen una alta concentración de demanda química de oxígeno (DQO) (Mencías y Mayero, 2000, p.23).

2.2.1.1. Tipos de aguas residuales industriales

Dependen totalmente del proceso industrial del cual provienen, estos procesos dan al agua características físicas y químicas que nos permiten clasificar estas aguas en los siguientes tipos:

- ✓ Aguas con aceites y grasas
- ✓ Aguas con materia orgánica biodegradable
- ✓ Aguas con materia orgánica no biodegradable
- ✓ Aguas salinas o salmueras

- ✓ Aguas con metales pesados
- ✓ Residuos industriales líquidos

2.2.1.2. *Procesos y tecnologías*

Los tres procesos más importantes para el tratamiento de aguas residuales industriales son:

- ✓ **Depuración fisicoquímica:** Está basado en tratamientos físico-químicos, la cual, a través de la combinación de operaciones unitarias nos permite eliminar un gran porcentaje de los contaminantes presentes en las aguas residuales.
- ✓ **Evaporación al vacío:** Es sencilla y económica, es una buena opción cuando no se ha logrado tratar el agua por medios convencionales.
- ✓ **Tratamiento biológico:** Es el más recomendado, pero solo se lo puede utilizar si los componentes del agua que se quieren eliminar son biodegradables. Este tratamiento puede ser aerobio o anaerobio y hay una extensa configuración y opciones de diseño que hacen que las características del proceso puedan variar drásticamente (Aguilar, 2016, p.28).

2.3. **Proceso de obtención de cuero en el taller artesanal de terminados de cuero “América”**

En el taller artesanal de terminados de cuero “América” se obtiene el cuero siguiendo las tres etapas del proceso: Ribera, curtido y terminado.

2.3.1. *Etapas de ribera*

Esta etapa es conocida por su dependencia de grandes cantidades de agua, de ahí viene su nombre:

- ✓ **Almacenamiento y recepción de pieles:** Las pieles son recibidas y se amontonan en la zona de recepción, luego se procede a caracterizarlas y clasificarlas por sus características, ya sea tamaño, cortes, etc.
- ✓ **Remojo y lavado:** Para limpiar las pieles se utiliza detergente y agua, por lo general las pieles antes de estar lavadas contienen materia orgánica e inorgánica como tierra, ceniza, sangre, heces, pelos, sal, etc. El remojo contribuye a devolver la humedad que ha perdido la piel durante el proceso, el agua para remojo debe estar libre de materia orgánica y microorganismos, en este proceso hay consumo de grandes cantidades de agua y desprendimiento de malos olores.
- ✓ **Pelambre y encalado:** Existen 2 posibles caminos para eliminar el pelo presente en las pieles antes de ser convertidas en cuero, el primero es un ataque enzimático mediante proteasas y el

segundo es una reacción química que disuelve el pelo tratando la piel con cal y sulfuro de sodio.

La curtiembre “América” sigue los siguientes pasos para la etapa del pelambre:

Tabla 1-2: Pasos para el proceso de pelambre

PASOS PARA EL PELAMBRE	DESCRIPCIÓN
1	Sacudir bien la sal de las pieles antes de cargar al bombo
2	Utilizar baños cortos en los lavados
3	Inmunizar bien el pelo
4	Utilizar fórmulas recomendadas
5	Consumo máximo de sulfuro 1.5%
6	Consumo máximo de cal 3.5%
7	Usar depilantes de buena calidad
8	Enzimas de remojo de buena calidad
9	Prender la bomba para recolectar el pelo
10	Recoger el pelo en sacos y dejar que escurra
11	Llevar el pelo al botadero de basura
12	Dejar limpio el lugar de trabajo
13	Prender el oxigenador de aguas
14	Seguir los pasos acorde a este cuadro, de no ser así, las multas serán absorbidas por la persona que utilice el servicio.

Fuente: Taller artesanal de terminados de cuero “América”

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021

2.3.2. Etapa de curtido

- ✓ **Desencalado:** Como su nombre lo indica, su objetivo es retirar la cal del interior del cuero, para lograrlo, tenemos que neutralizar la piel mediante el uso de ácidos en disoluciones acuosas, entre ellos tenemos el ácido fórmico, sulfúrico o clorhídrico.
- ✓ **Piquelado:** Este proceso prepara a las pieles para el curtido para lo cual implementa el uso de cloruro de sodio (sal común), formiato de sodio, ácido sulfúrico, etc. En esta etapa es común los residuos ácidos.
- ✓ **Curtido:** En esta etapa, la piel se transforma en el material textil conocido mundialmente como cuero, los elementos más utilizados en la curtición de pieles son las sales de cromo y los curtientes naturales. El curtido se genera a partir de una reacción entre el colágeno de la piel y el cromo (III), en este proceso se utiliza el 200% de agua acorde al peso del cuero.
- ✓ **Recurtido:** Consiste en tratar el cuero curtido con más de un producto químico como las mencionadas sales de cromo, para lograr una consistencia más llena, resistencia al agua,

blandura o para tapar cualquier imperfección causada como resultado de un solo proceso de curtido. En esta etapa se utiliza 500% de agua acorde al peso del cuero.

- ✓ **Teñido:** Para pigmentar la piel se añaden anilinas depende del color deseado, los más comunes son negro, café, azul, rojo.

2.3.3. Etapa de acabado

- ✓ **Terminación:** En esta etapa se dan algunos de los últimos retoques mediante procesos tales como: pintados, lacados, estirados, raspados, ablandados, etc., para darle brillo se añade lacas y tiñer. Dependiendo del producto que se quiera obtener o del uso que se le quiere dar se le añaden procesos para un mejor acabado (Aguilar, 2016, p.38).

2.4. Parámetros de caracterización para aguas residuales procedentes del proceso de curtición

2.4.1. Parámetros físicos

- **Conductividad:** Es la capacidad que tiene una solución para conducir la corriente eléctrica, esto lo hace midiendo la concentración de los iones disueltos en el agua, estos iones son también conocidos como electrolitos, también sirve para determinar los TDS (Sólidos Disueltos Totales) presentes en la muestra de agua.
- **Potencial hidrógeno (pH):** Es importantísimo medir el pH, ya que esta medida nos da la información acerca de la actividad de los iones hidrógeno mediante mediciones potenciométricas con el uso de un electrodo patrón hidrógeno y uno de referencia. En la industria del curtido el valor del pH tiende a variar, en la etapa de ribera se tiene un pH de aproximadamente 11 o 12 debido a la acción de los sulfuros y cal. Luego, en la etapa de curtido se observa un cambio drástico en el pH, con valores de 4 a 5, todo esto depende de los químicos con los cuales se trabaje.
- **Sólidos sedimentables:** Es importante conocer este parámetro ya que nos dan una medida de la cantidad de lodos que pueden ser removidos por sedimentación simple y se la determina midiendo el volumen de sólidos que se han asentado en el fondo de un cono Imhoff, sus unidades son mililitros por litro.
- **Sólidos suspendidos totales:** Se debe medir los sólidos suspendidos ya que estos pueden ser retenidos en un filtro estándar. En el proceso de lavado de pieles, se utilizan tensoactivos y ácidos orgánicos, los cuales permanecen en reposo sobre el agua y no tienden a sedimentar, sino que entran en un estado de flotación.

- **Sólidos totales:** Es la materia residual de la evaporación del agua residual a temperaturas de 103 a 105 °C.
- **Temperatura:** La temperatura es un parámetro muy importante e influyente en la medición de muchos otros parámetros, ya que, puede afectar las características del agua residual, ya que puede interferir en la velocidad de las reacciones químicas y la actividad bacteriana que se producen en ella, además cambia la concentración de la saturación del oxígeno disuelto. La temperatura más recomendable para realizar pruebas de tratabilidad en el agua es de 25 a 35°C.
- **Turbiedad:** Este parámetro especifica la claridad u opacidad del agua debido a sólidos o materia coloidal presentes en ella, es una característica óptica que afecta a los cuerpos de agua reduciendo la concentración de oxígeno de la misma dispersando los rayos de luz (Nihonkasetu, 2017, p.74).

2.4.2. Parámetros químicos

- **Aceites y grasas:** El uso del sulfuro de sodio en la etapa de pelambre, produce la saponificación de las grasas, lo cual reduce los efluentes líquidos aumentando la materia orgánica. Los aceites y grasas son observables a simple vista, flotando en la superficie del agua y causando un mal olor.
- **Alcalinidad:** Es la capacidad del agua de aceptar protones neutralizando la adición de ácidos, en la curtiembre es muy característica del baño de pelambre, por su alto valor de pH debe ser neutralizada en una etapa anterior a la descarga.
- **Cloruros:** Para evitar la descomposición de las pieles, usualmente se recurre al uso de sal, el uso de la misma provoca que los cloruros se encuentren presentes en las aguas residuales. Los cloruros son muy difíciles de eliminar de los efluentes y causa problemas al crecimiento de la flora ya que puede afectar directamente a su estructura celular.
- **Cromo hexavalente:** Es uno de los parámetros más importantes al tener en cuenta, debido a que, en las curtiembres, para la etapa de curtido, se utiliza cromo trivalente en forma de sales minerales, el cual reacciona con el colágeno de la piel, formando el cuero. El problema radica en que este cromo trivalente, se oxida en cromo hexavalente, el cual, se ha comprobado su alta toxicidad, además de causar cáncer en humanos y animales.
- **Demanda biológica de oxígeno (DBO):** Se refiere a la cantidad de oxígeno que se necesita para que los microorganismos presentes puedan degradar la materia orgánica en presencia de aire, este examen toma 5 días en dar resultados. Los componentes que están presentes en el agua que ha sido utilizada para los distintos procesos de curtiembre, hacen que la carga de DBO incremente de manera considerable.

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Podemos interpretar los resultados de este parámetro como el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente. El uso de detergentes y ácidos orgánicos en la etapa de lavado y curtido hacen que la presencia de DQO aumente en el agua.
- **Sulfatos:** Es muy común que esté presente en las aguas residuales de la industria del curtido ya que, en los procesos de las etapas de ribera y curtido se le añade sulfato de amonio a las pieles para remover la cal de la piel. Los sulfatos, en condiciones anaerobias producen mal olor y tiene efectos corrosivos.
- **Sulfuros:** De igual modo, es muy común que los efluentes de las curtiembres presenten sulfuros, debido a que en la etapa de pelambre se utiliza sulfuro de sodio, el cual remueve el pelo de la piel. Los sulfuros generan un olor muy desagradable, similar al huevo podrido, además de darle al agua características corrosivas y tóxicas.
- **Tensoactivos:** El uso de tensoactivos en la etapa de lavado es muy importante, pero la presencia de los mismos, causa un incremento del DQO en el agua (Nihonkasetsu, 2017, p.77).

2.5. Tratamiento de aguas residuales

El propósito de crear un sistema de tratamiento de aguas residuales es proteger la salud y mantener el bienestar de los individuos y el entorno en que vivimos.

Los ríos, lagos, mares y alcantarillas son los receptores naturales de las aguas residuales por lo que la necesidad de una planta procesadora del agua residual se vuelve cada vez más grande, por lo cual se han creado sistemas para tratar el agua antes de devolverla al medio ambiente. Para el tratamiento de estos efluentes hay que seguir lineamientos, métodos y técnicas para reducir la carga contaminante.

Básicamente, realizamos un conjunto de operaciones unitarias que ayudan a procesar el agua residual de tal manera que sus agentes tóxicos y contaminantes son eliminados dándole al agua los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que necesita para estar dentro de los límites máximos de los parámetros que rigen la calidad del agua (Black, 2013, p.84).

2.5.1. Tipos de tratamiento de aguas residuales

Estos tipos de tratamiento se llevan a cabo mediante procesos y operaciones unitarias, la operación que se vaya a utilizar depende de las características del agua a tratar. Existen en el mercado los equipos necesarios para realizar tratamiento de aguas.

Los tratamientos se han caracterizado según el grado de reducción de contaminación y el mecanismo necesario para su depuración. Los tipos de tratamientos de aguas residuales se clasifican en:

- Tratamiento preliminar
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

Existen algunos casos en los cuales solo se hace una neutralización para los cauces receptores, el tratamiento primario y secundario se lo hace cuando no hay toxicidad, y el tratamiento terciario se lo realiza si existe un remanente contaminante. También hay casos en los que se necesita un tratamiento preliminar debido a la presencia de compuestos tóxicos en los efluentes (Black, 2013, p.84).

Tabla 2-2: Tratamientos aplicables a aguas residuales

TIPO DE TRATAMIENTO	OPERACIÓN O PROCESO A REALIZAR
Tratamiento preliminar	<ul style="list-style-type: none"> • Cribado o desbrozo. • Aliviadero de agua en exceso. • Tamizado. • Trituración de los elementos retenidos en el cribado. • Desarenado. • Separación de grasas y aceites.
Tratamiento primario	<ul style="list-style-type: none"> • Sedimentación. • Flotación. • Homogeneización. • Neutralización.
Tratamiento secundario	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño del proceso de lodos. • Laguna con aireación. • Lagunas de estabilización. • Filtros biológicos (percoladores) • Discos biológicos • Tratamientos anaerobios: proceso de contacto de filtros sumergidos.
Tratamiento terciario	<ul style="list-style-type: none"> • Filtración por membrana. • Filtración (lecho de arena, antracita, diatomeas) • Precipitación o coagulación. • Adsorción. • Destilación. • Intercambio iónico.

	<ul style="list-style-type: none"> • Electrodiálisis. • Desinfección. • Reducción de nutrientes.
--	---

Fuente: (Ramalho, 1996., p. 108).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

2.6. Tratamiento de aguas residuales provenientes de la industria de curtido

Las aguas residuales provenientes de una industria de curtido determinada deben ser tratadas por separado, ya que, debido a los procesos que es sometida para transformar las pieles en cuero, tenemos aguas ácidas y básicas. Es importante no unificarlas y tratarlas individualmente, ya que, por ejemplo, si el agua básica proveniente del pelambre se mezcla con el agua ácida del curtido, va a generar sulfuro de sodio, el cual es un gas tóxico que produce malos olores.

El lugar de depósito final de estas aguas es el alcantarillado público, por lo cual, hay que tomar en cuenta que las características de estos efluentes se encuentren dentro de los límites máximos permisibles acorde a la normativa vigente. En la industria de curtido, el tratamiento de las aguas residuales comienza con el tratamiento preliminar, seguido del tratamiento primario y luego el secundario, y para concluir se aplican métodos avanzados de tratamiento (Buljan y Kral, 2011, p.16).

2.6.1. Tratamiento preliminar

Todos los efluentes de la planta deben ser sometidos a un tratamiento preliminar antes de ser sometido a las operaciones y procesos de los tratamientos primarios y secundarios, el tratamiento preliminar se lo hace con el objetivo de disminuir los componentes tóxicos y contaminantes que puedan interferir en la adecuada aplicación de los demás tratamientos.

En esta etapa se eliminan los residuos de mayor grosor que pueden ser obstáculos en las bombas, cañerías, válvulas, etc., algunos de las operaciones y procesos que se llevan a cabo en el tratamiento preliminar son:

2.6.1.1. Desbaste

También se la conoce como tamizado, en esta operación se separan por métodos físicos las materias sólidas en suspensión presentes en el agua. Por su tamaño, estas partículas se las clasifica en:

- Fino, con separaciones de 3 mm a 10 mm en el tamiz
- Medio, con separaciones de 10 mm a 25 mm
- Grande, con separaciones de 50 mm a 100 mm

- ✓ **Rejillas:** El uso de rejillas es útil para retener trapos, carnazas, pelo, etc. Consiste en separar los sólidos gruesos de los finos. Las rejillas deben ser lavadas constantemente, lo más común es lavarlas manualmente, aunque también existe el lavado mecánico. El procedimiento es retirar los sólidos retenidos en las rejillas para después colocarlos en una bandeja perforada y dejarlos secar.

Tabla 3-2: Información para la limpieza de rejillas según el método manual y mecánico

CARACTERÍSTICAS	LIMPIEZA MANUAL	LIMPIEZA MECÁNICA
Tamaño de la barra		
Anchura, mm	5 - 15	5 - 15
Separación entre barras, mm	25 - 50	15 - 75
Pendiente en relación a la vertical, grados	25 - 50	50 - 82.5
Profundidad, mm	25 - 37.5	25 - 37.5
Pérdida de carga admisible, mm	150	150
Velocidad de aproximación, m/s	150	150

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995., p. 507).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

- ✓ **Tamices:** Su objetivo es el mismo que el del desbaste y las rejillas, se lo realiza mediante una filtración sobre un soporte delgado, y su principal objetivo es eliminar la materia de determinados tamaños, como por ejemplo el pelo, y carnazas, los cuales, decantan con dificultad provocando un valor elevado de DQO.

2.6.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario se aplica para separar y remover los sólidos suspendidos, grasas y aceites, carga orgánica, cromo y sulfuro. Dentro del tratamiento primario para los efluentes de una industria de curtido, tenemos:

2.6.2.1. Homogeneización

En esta operación se mezclan los residuos líquidos para conseguir una mezcla uniforme. En una curtiembre es muy importante que el caudal de trabajo sea constante y la composición química regular, para ello, es necesario un buen depósito para homogeneizar después del desbaste y antes de la depuración.

Para lograr una mezcla completa y evitar sedimentaciones, se tiene que mezclar el líquido constantemente. Las agitaciones son causadas por unas hélices sumergidas en el fondo del tanque

las cuales crean corrientes de aire en sentido horizontal. La homogeneización nos trae ventajas, como, por ejemplo: estabiliza el pH, mejora la calidad del efluente, facilita las pruebas de tratabilidad, diluye sustancias inhibitoras, etc., lo cual, facilita la dosificación de reactivos químicos y el rendimiento del proceso (Skrentner, 2012, p.32).

2.6.2.2. Decantación primaria

Por decantación, se entiende la separación de los sólidos de una fase líquida, la decantación depende del tiempo, es decir, a más tiempo de sedimentación, se obtendrá una decantación más completa. Para realizarla se procede a obligar al fluido a fluir ascendentemente a una velocidad inferior a la velocidad de las partículas que se busca eliminar, estas partículas se depositan en forma de lodos.

La aplicación de la decantación primaria se la hace con el objeto de reducir los valores del DBO y DQO presentes en el agua, sólidos en suspensión y materias coloidales sin la necesidad de la presencia de compuestos químicos.

2.6.2.3. Separación por flotación

Es un método de extracción de los sólidos que se encuentran suspendidos en la superficie del agua. En esta operación, no sedimentamos a la materia presente en el agua, sino que se la hace ascender a la superficie. Se prepara el agua con aire disuelto a sobrepresión, la cual se mezcla con el efluente posteriormente.

Esto provoca una descompresión, desprendiendo gran número de burbujas, las cuales chocan con los flóculos y son elevados hacia la superficie. La flotación es muy útil, considerando que, los flóculos al ser ligeros tienden a flotar en vez de sedimentar (Skrentner, 2012, p.32).

2.6.2.4. Coagulante y floculante

En el agua podemos encontrar antes de la sedimentación: materias solubles y las materias firmemente divididas y coloidales, estas dos últimas son difíciles de separarlas por sedimentación ya que, al tener la misma carga eléctrica, se repelen lo cual, las mantiene en movimiento constante. Para lograr desestabilizar estas materias, se recurre al uso de coagulantes como: sales de cromo, sales de hierro y sulfato de aluminio. Con el uso de coagulantes y floculantes las materias coloidales y no disueltas son capaces de sedimentar y precipitar, dejando el líquido clarificado. A continuación, en la siguiente tabla, podemos observar los coagulantes y floculantes más comunes y utilizados en la industria de la curtiembre:

Tabla 4-2: Coagulantes y floculantes más usados en la industria del curtido

REACTIVO	COAGULANTE	FLOCULANTE
Polímero a base de sales de aluminio		X
Polímero a base de sales de hierro		X
Polímero aniónico		X
Sulfato de aluminio	X	
Sulfato férrico	X	
Cloruro férrico	X	

Fuente: Taller artesanal de acabados de cuero "América".

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

2.6.2.5. Sedimentación secundaria

Debido a la gran cantidad de lodos que se generan en la coagulación y floculación, es necesario realizar otra decantación. En este punto se puede observar si la cantidad de reactivos químicos suministrados ha sido correcta, ya que, de haber sido así, el agua debería estar clarificada.

Consiste en tomar los lodos del fondo del decantador para luego llevarlos a espesar y secar, usualmente, el contenido de sólidos que presenta es del 3 al 5%, lo cual, significa aproximadamente 20000-50000 ppm de sólidos suspendidos.

La mayoría de curtiembres, para su planta de tratamiento de aguas, utilizan tanques de sedimentación, de medidas específicas de forma rectangular o circular. Estos tanques están diseñados mecánicamente para la recolección y desalojo de lodos generados (Skrentner, 2012, p.33).

Tabla 5-2: Parámetros de diseño para tanques de sedimentación primaria

PARÁMETRO	INTERVALO	VALOR TÍPICO
Carga superficial en m ³ /m ² día		
A caudal medio	30 - 50	40
A caudal de punta	80 - 120	100
Carga sobre el vertedero m ³ /m día	125 - 500	150
Sedimentación primaria con adición del lodo en exceso activado		
Carga superficial en m ³ /m ² día		
A caudal medio	24 - 32	28
A caudal de punta	48 - 70	60
Carga sobre el vertedero m ³ /m día	125 - 500	250

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995., p. 540).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

- ✓ **Tanques rectangulares:** Son ideales cuando no se dispone de mucho espacio en la empresa, pero su forma hace que sea difícil la recolección de lodos del mismo.

La zona de ingreso del agua residual se ubica a un extremo del tanque y su objetivo es minimizar la velocidad. La salida del tanque cuenta con vertederos ubicados en el extremo de descarga del tanque y para facilitar el drenaje del tanque, el fondo se inclina hacia el embudo, facilitando el drenaje (BVSDE, 2001).

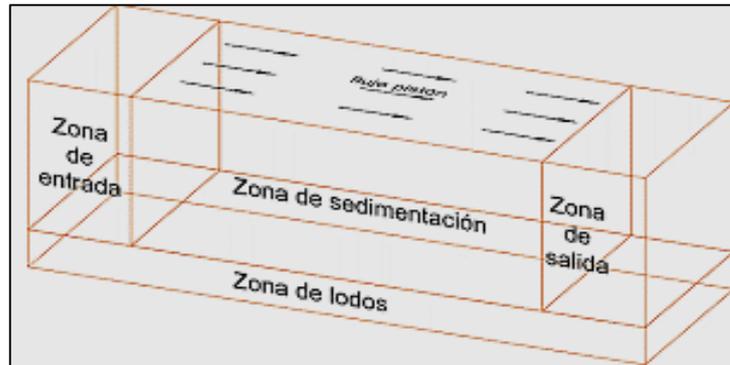


Figura 1-2: Tanque de sedimentación primaria rectangular

Fuente: (Suarez., 2016).

Tabla 6-2: Parámetros de diseño para sedimentadores rectangulares

PARÁMETRO	INTERVALO	VALOR TÍPICO
Profundidad (m)	3 – 4,5	3,6
Longitud (m)	15 – 90	25 – 40
Anchura (m)	3 – 25	5 – 10
Velocidad de los rascadores (m/min)	0,6 – 1.2	0,9

Fuente: (Metcalf y Eddy, 1995, p.544).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

- ✓ **Tanques circulares:** Su uso es muy recomendado, debido a la facilidad de extracción de lodos, al tener una forma circular, el agua residual es introducida ya sea por el medio o por la periferia del tanque.

Consiste en llevar al agua residual al centro del tanque por medio de una tubería en donde pasará por una campana circular, la cual distribuye el flujo hacia todas las direcciones del tanque.

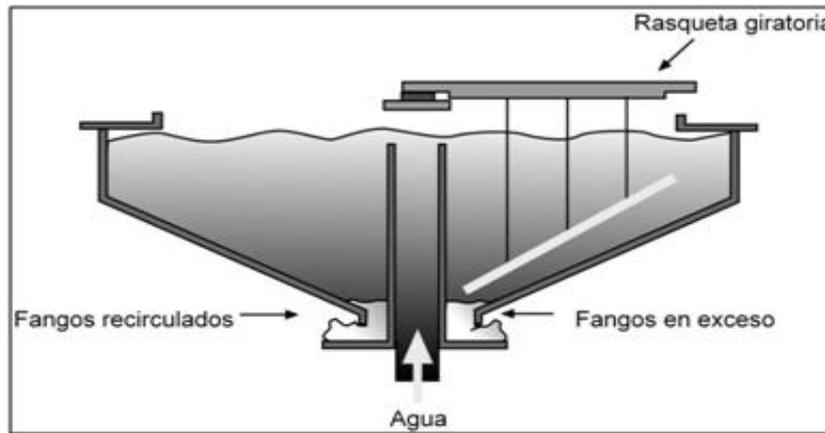


Figura 2-2: Tanque de sedimentación primaria circular

Fuente: (PTAR-Uniminuto., 2018).

Tabla 7-2: Parámetros de diseño para sedimentadores circulares para el tratamiento primario

PARÁMETRO	INTERVALO	VALOR TÍPICO
Profundidad (m)	3 – 4,5	3,6
Longitud (m)	3 - 60	12 – 45
Anchura (m)	6,25 - 16	8
Velocidad de los rascadores (m/min)	0,02 – 0,05	0,03

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995., p. 544).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Tabla 8-2: Velocidades finales a caudal máximo

DECANTACIÓN PRIMARIA	VELOCIDAD A CAUDAL MÁXIMO		
	VALOR MÍNIMO	VALOR TÍPICO	VALOR MÁXIMO
Decantadores rectangulares	1,8 m/h	2,2 m/h	2,6 m/h
Decantadores circulares	2,0 m/h	2,5 m/h	3,0 m/h

Fuente: (Uralita.,2015, p 93).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

2.6.2.6. Espesamiento y secado de lodos

Antes de que los lodos puedan ser vertidos hay que concentrarlos mediante una nueva sedimentación y una nueva adición de sustancias químicas. El objetivo es lograr la mayor sequedad posible, ya que, los lodos mientras más agua contengan, se vuelven más difíciles de transportar, es por eso que los lodos espesados deben ser llevados a secarse.

Existen cuatro formas de llevar a cabo el espesamiento y secado de lodos, a continuación, las modalidades principales:

- Centrifugación

- Eras de secado
- Filtración a presión
- Filtración al vacío

2.6.3. Tratamiento biológico

Los tratamientos biológicos abarcan todos aquellos basados en el fenómeno de la biodegradabilidad. Este tratamiento es clave para eliminar todo tipo de materia orgánica y coloides disueltos los cuales son alimento de los microorganismos aerobios que viven en el agua. Por efecto de la respiración celular, el carbono orgánico contaminante se transforma en dióxido de carbono, parte de él se emplea como alimento para los microorganismos. Es realmente sorprendente el hecho de que el cultivo de microorganismos en el agua, que incluso podrían ser patógenos, aportan para la depuración del agua.

Los tratamientos biológicos se subdividen en tres grupos:

- Película biológica
- Lodos activos
- Lagunas

2.6.3.1. Lodos activos

Para dar inicio al proceso de lodos activados se debe poner en contacto las aguas residuales con el floculante biológico, las aguas en este punto deben haber sido sometidas a aireación en un tanque previamente. Los lodos activos no son más que la masa floculante de microorganismos, materia inorgánica y materia orgánica muerta.

La materia orgánica se mezcla con los microorganismos presentes en el agua residual, y para llevar a cabo la agitación se utiliza sopladores sumergidos, aunque existen otros métodos como medios mecánicos superficiales, el fin es el mismo, oxigenar el medio para obtener una mezcla completa.

El tratamiento de lodos activados se puede dar de modo continuo o discontinuo, en el continuo se requiere de una laguna de aireación a flujo continuo, la forma de esta laguna hace que el agua siga la misma dirección durante todo el proceso (BVSDE, 2001).

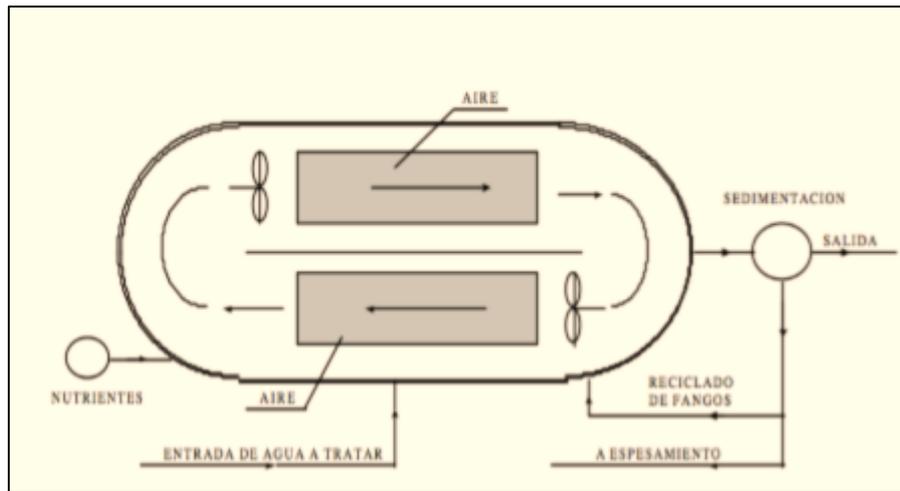


Figura 3-2: Laguna de aireación de flujo continuo

Fuente: (Comisión Nacional del Medio Ambiente-Región Metropolitana, 1999).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Localización del proyecto

3.1.1. Localización geográfica

El sistema de tratamiento de aguas residuales a rediseñar, es el del taller artesanal de acabados de cuero “América”, el cual se ubica en la parroquia urbana Pishilata, perteneciente al cantón Ambato, provincia de Tungurahua a 12 km del suroeste de Ambato.

En este lugar se van a tomar las muestras del agua residual de curtido y pelambre para poder caracterizarlas y someterlas a pruebas de tratabilidad, lo cual, es básicamente determinar a nivel de laboratorio los métodos más eficientes para tratar el agua y llegar a parámetros con valores que se encuentren dentro de la normativa ambiental vigente. Además, es clave para realizar el rediseño de la planta de tratamiento de la empresa.

Tabla 1-3: Referencias geográficas del taller artesanal “América”

País	Ecuador
Región	Sierra
Provincia	Tungurahua
Cantón	Ambato
Coordenadas	X: -1.261795
UTM	Y: -78.610590
Altitud	2632 msnm
Superficie	1757 ha.
Temperatura	25°C

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

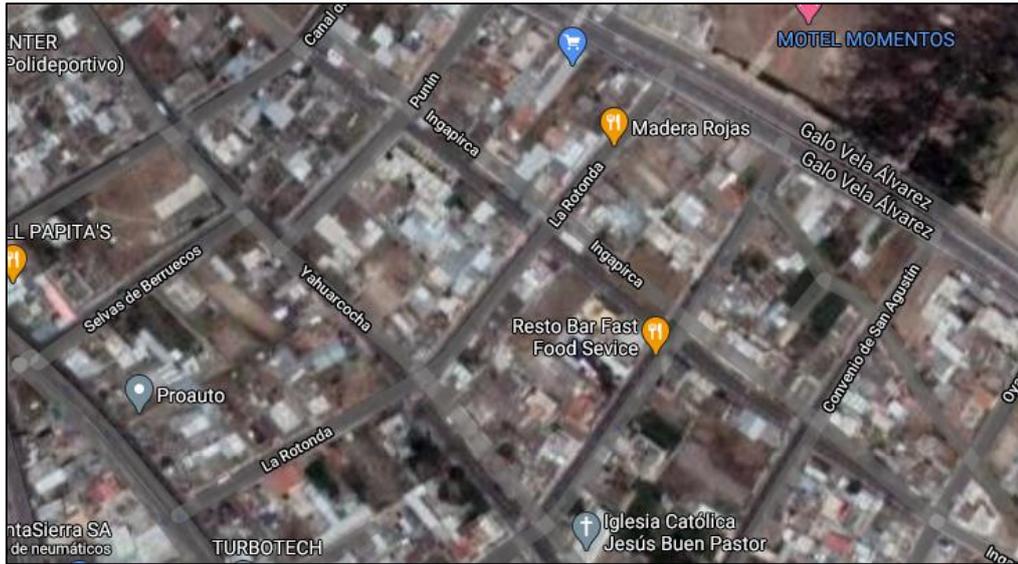


Figura 1-3: Localización del taller artesanal “América”

Fuente: Google Maps.

Realizado por: Gabriel Villagómez, 2021.



Figura 2-3: Toma frontal del taller artesanal de acabados de cuero “América”

Realizado por: Gabriel Villagómez, 2021.

3.2. Ingeniería del proyecto

3.2.1. Tipo de estudio

El presente proyecto tiene por objetivo el rediseño del sistema de tratamiento de aguas actual que el taller artesanal “América” posee. En este proyecto se realizarán procesos de experimentación por medio de varios ensayos, además se usa métodos y técnicas para lograr el tratamiento

requerido, lo cual, sitúa al proyecto como un estudio de tipo TÉCNICO, DESCRIPTIVO Y CUANTITATIVO.

Por lo mismo, se recolectan y analizan los datos para determinar el rediseño adecuado, haciendo uso de metodologías experimentales e investigativas para encontrar el tratamiento que mejor se adecue a las necesidades de la empresa y se ajuste a los recursos con los que cuentan.

3.2.2. Métodos

Se ha determinado que el proyecto es de tipo técnico, estos tipos de proyectos se caracterizan por utilizar tres tipos de métodos para obtener resultados, estos métodos son:

- ✓ **Método deductivo:** Consiste en partir de los conocimientos generales hacia los específicos, básicamente, se trata de leer estudios acerca del fenómeno sujeto a estudio, estudiar el trabajo realizado por otras personas y luego probar las hipótesis.

Para un proyecto de rediseño de un sistema de tratamiento de aguas se revisará en bibliografía todo tipo de información acerca del muestreo, caracterización y tratamiento para después comprobar estas teorías en el laboratorio mediante los análisis respectivos a las muestras de agua y sus pruebas de tratabilidad respectivas.

- ✓ **Método inductivo:** El método inductivo está basado cien por ciento en la experimentación y recopilación de datos. Para el presente proyecto, partiremos analizando inicialmente el efluente sujeto a estudio y caracterizarlo para conocer su estado actual y según esto determinar los parámetros a tener en cuenta para obtener un agua que cumpla con los límites máximos permisibles de la norma ambiental vigente.

En este método se parte de lo específico a lo general, ya que partimos de la recolección de datos y luego de darles una vista panorámica se los lleva a la teoría.

- ✓ **Método experimental:** En el método experimental, el investigador tiene que manipular las variables y controlarlas o evaluarlas. El método experimental es el más práctico ya que se lleva a cabo totalmente en el laboratorio e implica la utilización de equipos, instrumentos y materiales para eliminar las cargas contaminantes del agua.

La obtención de datos en este proyecto viene dada por métodos y técnicas ya establecidas, es muy importante ser muy minucioso y cuidadoso en la determinación de los parámetros del agua en el laboratorio, ya que de estos estudios se obtiene la recopilación de datos y variables necesarias para realizar el rediseño de la planta de tratamiento de aguas.

Tabla 2-3: Métodos de análisis de aguas

PARÁMETRO	MÉTODO	DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA
Conductividad	Electrométrico	Se determina la conductividad mediante un electrodo de cristal y registramos el dato.

Cromo hexavalente	Colorimétrico	Primero se realiza el blanco con agua destilada, luego tomamos 10 ml de la muestra en la celda Hach y se mide en el espectrofotómetro Hach.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	Incubación de 5 días	Tomamos una alícuota de 100 ml y colocamos en el frasco. Se añade 3 ml de solución rica en nutrientes, una pepa de KOH, tapar y colocar en el gasométrico, tomar datos cada día para calcular el valor promedio.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Reflujo cerrado titulométrico	Tomamos 2 ml de muestra y se coloca en un vial, se digesta la muestra durante 2 horas, medición en el equipo HACH, opción DQO 435.
Grasas y aceites	Partición gravimétrica	Se toma 1 ml de muestra y se le baja el pH a 2 aproximadamente usando HCl, pasar por un embudo, dejar que se separen las dos capas y con papel filtro drenar la capa del disolvente.
Potencial de hidrógeno	Potenciométrico	Por medio del electrodo de cristal, se registra el valor y se anota.
Sólidos sedimentables	Cono Imhoff	Se coloca en un cono Imhoff 1 litro de muestra y se deja sedimentar durante 1 hora.
Sólidos totales disueltos	Electrométrico	Se utiliza el electrodo de cristal que mide la conductividad, se registra el valor y se lo anota.
Sólidos totales	Gravimetría	Colocamos 25 ml de muestra en una caja Petri pesada, se somete a baño María hasta que se seque, se introduce en la estufa, se coloca en el desecador por 15 minutos, pesar la caja Petri y anotar la diferencia.
Sulfatos	Espectrofotómetro	Hacer el blanco con agua destilada, tomar una alícuota de 10 ml en la celda Hach, se coloca en el espectrofotómetro Hach y se mide.
Sulfuros	Espectrofotómetro	Tomar 25 ml de muestra, añadir 1 ml de ácido clorhídrico (6N) + 5 ml de solución patrón iodo (0,025N). Titular con tiosulfato de sodio (0,025N). Añadir unas gotas de almidón y titular hasta llegar a un color transparente, anotar el valor.
Temperatura	Termómetro	Se registra el valor utilizando el electrodo de cristal de temperatura.
Tensoactivos	Volumétrico y/o espectrofotómetro	Tomar 500 ml de muestra, ajustar a pH 4 con ácido fosfórico, colocar naranja de metilo. Destilar la muestra, añadir 500 ml de agua caliente y destilar hasta un volumen de 500 ml, anotar el valor.
Turbiedad	Nefelométrico	Se utiliza el turbidímetro, se ingresa la muestra en un tubo Hach, anotar el valor.

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

3.2.3. Técnicas

Las técnicas se refieren a la parte experimental, en donde se recolecta la información que se obtiene realizando la caracterización del agua residual del proceso de pelambre y curtido. Para esto vamos aplicar técnicas las cuales nos proporcionan los pasos que tenemos que seguir en un protocolo para llegar al resultado requerido.

Tabla 3-3: Técnicas utilizadas en la elaboración del proyecto

Técnicas de muestreo	<ul style="list-style-type: none"> • NTE INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS. • NTE INEN 2176:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO
Técnicas de laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> • APHA, STANDARD METHODS 21° EDICIÓN • Métodos HACH

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

3.2.3.1. Técnicas in situ

Las técnicas in situ significa que son realizadas en el mismo lugar de origen de la muestra. Para el presente proyecto se aplicó las técnicas in situ al momento de realizar la medición del caudal por método volumétrico. Los caudales medidos fueron los que corresponden a los efluentes de la etapa de pelambre y curtido.

Tabla 4-3: Método de medición de caudal

FUNDAMENTO	<ul style="list-style-type: none"> • El método volumétrico consiste en la medición del volumen de un líquido en un lapso de tiempo.
MATERIALES	volumétrico metro
REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> • Agua residual
TÉCNICA	<ul style="list-style-type: none"> • Con un cronómetro, medir el tiempo que tarda en llenarse el envase con el agua residual.
CÁLCULO	<ul style="list-style-type: none"> • El caudal se calcula en volumen sobre tiempo. $Q = \frac{V}{t}$ <ul style="list-style-type: none"> • Donde “V” es el volumen del tanque y “t” el tiempo.

Fuente: (STANDARD METHODS, 1996).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Las muestras fueron tomadas con el debido cuidado y haciendo uso de los siguientes materiales y equipos:

Tabla 5-3: Materiales y equipos utilizados para la medición del caudal

Materiales	<ul style="list-style-type: none"> • Botas de caucho • Mandil • Guantes de nitrilo • Mascarilla • Canecas volumétricas de 25 litros.
Equipos	<ul style="list-style-type: none"> • Cronómetro

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

A continuación, en las siguientes tablas podemos observar los resultados de la medición de caudal de los bombos de pelambre y curtido del taller artesanal “América”

Tabla 6-3: Medición del caudal del efluente proveniente del bombo de pelambre

Hora	Fecha	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
8:30 AM	11/02/2021	25	35,26	0,709
9:00 AM	11/02/2021	25	35,58	0,703
14:00 PM	12/02/2021	25	35,46	0,705
15:00 PM	12/02/2021	25	36,12	0,692
12:00 PM	05/03/2021	25	35,67	0,682
PROMEDIO TOTAL				0,701

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Tabla 7-3: Medición del caudal del efluente proveniente del bombo de curtido

Hora	Fecha	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
09:30 AM	11/02/2021	25	40,12	0,623
10:00 AM	11/02/2021	25	39,86	0,627
14:30 PM	12/02/2021	25	40,33	0,620
15:00 PM	12/02/2021	25	40,87	0,612
12:30 PM	05/03/2021	25	41,02	0,609
PROMEDIO TOTAL				0,618

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

3.2.3.2. Preservación de las muestras

En la *Tabla 8-3*, podemos observar las recomendaciones para la preservación de las muestras, según la norma NTE INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.

Tabla 8-3: Preservación de muestras

PARÁMETROS	RECIPIENTES	VOLUMEN DE MUESTRA (ml)	CONSERVACIÓN	TIEMPO DE ALMACENAMIENTO RECOMENDADO
DBO	Plástico o vidrio	1000	Refrigerar a 1°C a 5°C	24 horas
DQO	Plástico o vidrio	1000	Acidificar con ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	1 mes
pH	Plástico o vidrio	50	Análisis inmediato	Sin límite
Sólidos en suspensión	Plástico o vidrio	500	Refrigerar a 1°C a 5°C	48 horas
Sólidos totales y sólidos disueltos	Plástico o vidrio	100	Refrigerar a 1°C a 5°C	24 horas
Sulfuros	Plástico o vidrio	500	Refrigerar, agregar 4 gotas de acetato de zinc 2N en 100 ml; agregamos hidróxido de sodio hasta alcanzar un pH de 9 o más.	1 semana
Turbidez	Plástico o vidrio	100	Refrigerar a 1°C a 5°C	24 horas
Cromo VI	Plástico o vidrio	300	Refrigerar a 1°C a 5°C	24 horas
Cromo total	Plástico o vidrio	100	Acidificar con ácido nítrico (HNO ₃)	----

Fuente: (NTE INEN 2169:2013).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

3.2.3.3. Muestreo

Para realizar el muestreo, se recolecta la cantidad necesaria de la muestra que será sometida a estudios y será enviada análisis y estudios de los componentes físicos, químicos y microbiológicos presentes. En este caso, las muestras serán obtenidas directamente de los bombos de los procesos de pelambre y curtido.

Para la recolección de datos, se hizo uso de la Norma Técnica: NTE INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS. La toma de muestras en la curtiembre es un muestreo simple que nos aporta los efluentes de un proceso en un momento dado para poder caracterizarlo y estudiar su comportamiento al estar bajo las pruebas de tratabilidad.

A continuación, el número de muestras que se tomaron en la empresa con su respectiva fecha y hora:

Tabla 9-3: Toma de muestras del proceso de pelambre

Lugar de toma de muestras.	Total de muestras tomadas.	Fecha	Hora	Tipo de agua muestra
Bombo del proceso de pelambre.	1	11/02/2021	9:00 AM	Agua residual del proceso de pelambre.
	1	12/02/2021	13:00 PM	
	1	05/03/2021	10:00 AM	

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Tabla 10-3: Toma de muestras del proceso de curtido

Lugar de toma de muestras.	Total de muestras tomadas.	Fecha	Hora	Tipo de agua muestra
Bombo del proceso de curtido	1	11/02/2021	9:00 AM	Agua residual del proceso de curtido.
	1	12/02/2021	13:00 PM	
	1	05/03/2021	10:00 AM	

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Las muestras fueron recolectadas cuidadosamente en canecas volumétricas de 25 litros debidamente lavadas para remover cualquier agente externo contaminante que pueda influir en la determinación de los parámetros de las muestras de los efluentes. Los envases también fueron debidamente etiquetados para poder distinguirlos y saber con exactitud la fecha, hora y el lugar del que fueron recolectados.

Esto se hace con el objetivo de transportar de modo seguro las muestras hacia el lugar donde se va a realizar los estudios y análisis de las muestras, para el presente proyecto, las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Calidad de Agua, de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

En el laboratorio mencionado se realizaron las pruebas de caracterización de las muestras de agua, así como las pruebas de tratabilidad, el cual, nos ayuda a determinar con exactitud la selección de floculantes y coagulantes y su dosificación óptima para depurar el agua y brindarle características que le permitan estar dentro de los límites máximos permisibles de descarga de aguas residuales hacia el medio ambiente según lo rige la norma ambiental vigente.

3.2.3.4. Análisis de Laboratorio

Las técnicas utilizadas para los análisis de los efluentes obedecen al manual de “Métodos Normalizados para el Análisis de Agua Potable y Residuales” (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater) el cual es muy conocido por su seriedad y experiencia en estudios en el agua en general. También se utilizará el Manual de Análisis de Agua, Método Hach.

El laboratorio en cual se trabajó es el Laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH).

En las tablas a continuación se puede observar los materiales, reactivos y técnicas para los distintos parámetros a determinar en los efluentes.

✓ **Determinación de cloruros**

Tabla 11-3: Método HACH DR 2800

CONCEPTO	MATERIAL	REACTIVO	TÉCNICA	CÁLCULO
La presencia del ion cloruro es una de las que se encuentran en mayor cantidad tanto en aguas naturales como en aguas residuales y tratadas.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pipeta de 10 ml ✓ Cubetas de análisis de 10 ml.. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 1 ml de solución férrica ✓ 2 ml de solución de tiocianato mercúrico. ✓ Agua residual. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Llenar una cubeta con agua residual y la otra con agua desionizada. ✓ Pipetear 0,8 ml de tiocianato mercúrico en ambas cubetas y mezclar. ✓ Pipetear 0,4 ml de solución férrica en ambas cubetas y mezclar. La reacción tarda 2 minutos y luego se toma los datos en forma de Cl⁻ 	Se lo determina por lectura directa en el espectrofotómetro y sus unidades son mg/l.

Fuente: (STANDARD METHODS, edición 17).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

✓ **Determinación de cromo hexavalente**

Tabla 12-3: Método HACH DR 2800

CONCEPTO	MATERIAL	REACTIVO	TÉCNICA	CÁLCULO
El cromo hexavalente se lo detecta en forma de cromatos. El cromo puede alojarse en el agua al momento que esta pasa por las tuberías, en procesos como el curtido es muy común la presencia de cromo debido al uso de sales de cromo para el proceso de curtido.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pipeta de 10 ml ✓ Cubetas de análisis de 10 ml.. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Reactivo ácido en polvo ✓ Reactivo cromo 1 en agua ✓ Reactivo cromo 2 en agua. ✓ Reactivo ChromaVer 3 en polvo. ✓ Agua residual. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Llenar una cubeta con 10 ml de agua residual. Añadir un sobre de reactivo ChromaVer 3 en polvo. Homogeneizar y esperar el período de reacción de 5 minutos. Preparar el blanco con otra muestra de 10 ml de agua residual y medimos el Cr⁺⁺. 	Se lo determina por lectura directa en el espectrofotómetro y sus unidades son mg/l.

Fuente: (STANDARD METHODS, edición 17).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

✓ **Determinación del DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno)**

Tabla 13-3: Método Standard Methods 5210-B

CONCEPTO	MATERIAL	REACTIVO	TÉCNICA	CÁLCULO
Consiste en tomar la muestra de agua y colocarla en un frasco hermético para incubarlo durante 5 días	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Equipo de DBO₅ ✓ Botellas de incubación. ✓ Grasa ✓ Tampones de copa ✓ Cápsula magnética 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agua residual. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Llevar la temperatura de la muestra hacia 2 °C de la temperatura de incubación de 20 °C. Verter 160 ml de la muestra en un envase oscuro. 	<p>Existen dos posibles escenarios, cuando el agua de disolución no está sembrada:</p> $DBO_5 = \frac{(D1 - D2)}{P}$ <p>Cuando el agua de disolución está sembrada:</p> $DBO \left(5 \frac{mg}{l} \right) = \frac{[(D1 - D2) - (B1 - B2) * f]}{P}$

<p>a temperaturas controladas. El oxígeno disuelto se mide antes y después de la incubación el ROB se calcula mediante la diferencia entre el OD inicial y el final</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Probeta graduada ✓ Termómetro ✓ Embudo 		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Colocar la barra magnética para mezclar en cada botella, añadir el contenido de un sobre de solución buffer nutritivo para el crecimiento óptimo de las bacterias si es necesario. Sellar la tapa de la botella con grasa y un corcho. ✓ Con un embudo adicionar un sobre de Li(OH) en el tampón de cada muestra y se colocan las botellas en el equipo. ✓ Colocar el equipo en la incubadora a 20°C, prender el equipo y seleccionar el tiempo de duración de la prueba. 	<p>Dónde: D1= OD de la muestra diluida inmediatamente después de su preparación mg/L D2= OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20°C mg/L P= fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada B1= OD del control de simiente antes de la incubación mg/L B2= OD del control de simiente después de la incubación mg/L f = proporción de la simiente de la muestra diluida con respecto al control de la simiente.</p>
---	--	--	---	---

Fuente: (STANDARD METHODS, edición 17).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

✓ **Determinación del DQO (Demanda Química de Oxígeno)**

Tabla 14-3. Método 5220-C

CONCEPTO	MATERIAL	REACTIVO	TÉCNICA	CÁLCULO
La Demanda Química de Oxígeno es la cantidad determinada de un oxidante en específico que reacciona con la muestra de agua.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tubos de digestión ✓ Gradilla ✓ Viales con reactivos ✓ Pipeta volumétrica 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agua destilada ✓ Agua residual. ✓ Ftálato ácido de potasio (KHP) 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Homogeneizar 100 ml de muestra por 30 segundos. Conectar el reactor de DQO a 150 °C. ✓ Preparar el reactivo para la curva patrón y realizar las respectivas diluciones del mismo. ✓ Sujetar al tubo a un ángulo de 45 grados y colocar 2 ml de dilución a los tubos. Para el punto cero se utiliza 2 ml de agua destilada. Tapar los tubos e invertirlos para mezclarlos. ✓ Llevar los tubos al bloque digestor y digerir las muestras por 2 horas. Dejar enfriar a temperatura ambiente. 	<p>Al DQO se lo expresa como: mg O₂/L:</p> $DQO = \frac{V1 * k * VP * 8000}{Vs}$ <p>Donde: V1= volumen de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración del testigo. V2= volumen de la disolución de sulfato ferroso amoniacal requerido para la valoración de la muestra. Vs= volumen de la muestra.</p>

Fuente: (STANDARD METHODS, edición 17).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021

✓ **Determinación de la conductividad.**

Tabla 15-3: Método HACH DR 2800

CONCEPTO	MATERIAL	REACTIVO	TÉCNICA	CÁLCULO
La conductividad de refiere a la capacidad de un cuerpo de transferir la corriente eléctrica a través de sí mismo. La conductividad varía con la temperatura.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Vasos de precipitación ✓ Agua destilada ✓ Limpiadores ✓ Agua residual 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agua residual. ✓ Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Colocar 100 ml de muestra de agua en un vaso de precipitación. ✓ Lavamos el electrodo para medir conductividad repetidas veces con agua destilada para eliminar cualquier agente externo y lo sumergimos en el agua a examinar. ✓ Seleccionar conductividad en el equipo y medir, registrar también el valor de la temperatura y una vez que se termine, limpiar el electrodo con agua destilada. 	Lectura directa.

Fuente: (STANDARD METHODS, edición 17).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

✓ **Determinación del potencial hidrógeno (pH)**

Tabla 16-3: Método Standard Methods 4500-B

CONCEPTO	MATERIAL	REACTIVO	TÉCNICA	CÁLCULO
La medición del potencial hidrógeno de una muestra nos indica la acidez o alcalinidad del agua, este valor	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Vasos de precipitación ✓ pH-metro 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agua residual. ✓ Agua destilada 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Calibrar el pH-metro ✓ Tomar la muestra de agua en un vaso de precipitación. ✓ Sumergir los electrodos y esperar a que se 	Lectura directa.

varía de 1 a 14, siendo un pH ácido cuando es menor a 7, básica cuando es mayor a 7 y si el valor es 7 significa que su pH es neutro.			realice la lectura del parámetro. ✓ Anotar el valor obtenido y dejar limpio el electrodo con agua destilada.	
---	--	--	---	--

Fuente: (STANDARD METHODS, edición 17).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

✓ **Determinación de sólidos sedimentables**

Tabla 17-3: Método 2540-F.

CONCEPTO	MATERIAL	REACTIVO	TÉCNICA	CÁLCULO
Se refiere a la cantidad de sólidos suspendidos que pueden ser sedimentados en un período de tiempo determinado.	✓ Vasos de precipitación de 250 ml ✓ Cono Imhoff	✓ Agua residual. ✓ Agua destilada ✓ Hexano	✓ Agitar la muestra y tomar 1 litro para colocar en el cono Imhoff. ✓ Dejar sedimentar por 50 minutos y rotar el cono si han quedado partículas suspendidas en sus paredes. ✓ Anotar el valor marcado en el cono Imhoff en ml/l	Lectura directa.

Fuente: (STANDARD METHODS, edición 17).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

✓ **Determinación de sólidos suspendidos totales**

Tabla 18-3: Método PE – LSA - 04

CONCEPTO	MATERIAL	REACTIVO	TÉCNICA	CÁLCULO
Es la cantidad total de sólidos que se encuentran en suspensión en la muestra de agua. Puede ser medida mediante	✓ Vaso de precipitación de 250 ml ✓ Electrodo HACH	✓ Agua residual. ✓ Agua destilada	✓ Colocar 100 ml de muestra de agua en un vaso de precipitación de 250 ml, con agua destilada limpiar el electrodo HACH,	Lectura directa en el HACH Series.

evaporación de la muestra de agua, secarla y finalmente pesar sus residuos. También se calcula sumando todas las concentraciones de los aniones y cationes en el análisis de aguas.			sumergir el electrodo en la muestra de agua y seleccionar lectura de TDS, anotar el valor obtenido.	
---	--	--	---	--

Fuente: (STANDARD METHODS, edición 17).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

✓ **Determinación de sólidos totales**

Tabla 19-3: Método APHA 2540 B

CONCEPTO	MATERIAL	REACTIVO	TÉCNICA	CÁLCULO
Para la determinación de este parámetro se evapora una muestra en una placa seca, tarada y pesada. Los sólidos totales son representados por el aumento de peso en la placa.	✓ Balanza de análisis ✓ Horno de mufla ✓ Desecador ✓ Cápsulas de porcelana 90 mm (diámetro)	✓ Agua residual.	✓ Precalentar la cápsula en la estufa a temperatura de 103 – 105 °C por una hora. ✓ Seleccionar el volumen de la muestra, transportamos a la cápsula precalentada y tarada y dejamos evaporar. ✓ Una hora después de dejar secar la muestra evaporada se la deja enfriar en el desecador y se pesa. ✓ Repetir hasta obtener peso constante.	Escribir la siguiente ecuación: $mg\ de\ \frac{ST}{L}$ $= \frac{[(A - B) * 1000]}{V}$ Donde: A= Peso de residuo seco + cápsula mg. B= Peso de la cápsula en mg V= Volumen de la muestra en ml.

Fuente: (STANDARD METHODS, edición 17).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

✓ **Determinación de sulfatos**

Tabla 20-3: Método Standard Methods 4500 – SO₄ - E

CONCEPTO	MATERIAL	REACTIVO	TÉCNICA	CÁLCULO
Los efluentes ricos en sulfatos pueden transformarse en sulfuros, los cuales son compuestos muy tóxicos y corrosivos, además de que aportan mal olor.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cubetas de análisis de 10 ml ✓ Pipetas de 10 ml ✓ Limpiadores 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agua residual. ✓ Reactivo SulfaVer en polvo 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tomar 10 ml de la muestra de agua residual y añadir un sobre de reactivo SulfaVer en polvo. ✓ Agitar y homogeneizar, esperar los 5 minutos mientras se prepara el blanco con otra cubeta de 10 ml de agua residual. ✓ Seleccionamos lectura de sulfatos en el equipo. 	Lectura directa en el espectrofotómetro, sus unidades son mg/l.

Fuente: (STANDARD METHODS, edición 17).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

✓ **Determinación de sulfuros**

Tabla 21-3: Método yodométrico 4500 – S²⁻E

CONCEPTO	MATERIAL	REACTIVO	TÉCNICA	CÁLCULO
Los sulfatos son causantes del clásico olor a huevo podrido causado por la presencia de azufre, se produce por la reacción de sulfatos y la descomposición de la materia orgánica presente en la muestra.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Matraz de 250 ml ✓ Bureta de 25 ml 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agua residual. ✓ Ácido clorhídrico ✓ Tiosulfato de sodio 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tomar 25 ml de la muestra de agua residual y añadir 1 ml de HCl 6N y 5 ml de solución patrón de yodo 0,025 N, mezclar hasta obtener un color amarillo. ✓ Proceder a titular con tiosulfato de sodio hasta que llegue a un color amarillo pálido ✓ Añadir unas gotas de la 	<p>La determinación de sulfuros viene dada por la ecuación:</p> $\frac{mgS^{2-}}{L} = \frac{[(A * B) - (C - D) * 16000]}{ml \text{ de muestra}}$

			solución de almidón y seguir titulando con el tiosulfato de sodio hasta llegar a un color transparente, anotar el volumen total.	
--	--	--	--	--

Fuente: (MÉTODO YODOMETRICO 4500- S2- E, STANDARD METHODS, edición 17).

Realizado: Villagómez Gabriel, 2021.

✓ **Determinación de turbidez**

Tabla 22-3: Método HACH 2130-B

CONCEPTO	MATERIAL	REACTIVO	TÉCNICA	CÁLCULO
Determinar la turbidez del agua es importante para conocer la intensidad del color en el agua y en ella las impurezas que se encuentran flotando en el agua.	✓ Pizeta ✓ Turbidímetro ✓ Celda	✓ Agua residual. ✓ Agua destilada	✓ Colocar el agua tomada después del proceso de filtración y colocar en la celda. ✓ Transportar la celda al turbidímetro y esperar el valor. ✓ Anotar el valor obtenido.	Según el resultado a obtener, calibrar el equipo en la escala requerida, ya sea: 0-1, 0-10, 0-100 NTU. El valor se lee directamente del turbidímetro.

Fuente: (STANDARD METHODS, edición 17).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

3.2.4. Caracterización inicial del agua residual de los procesos de pelambre y curtido del taller artesanal “América”

Una vez que se han tomado las muestras de las aguas residuales del proceso de pelambre y curtido proveniente de los bombos y se ha etiquetado adecuadamente las muestras, se procedió a transportar las canecas con el agua residual hacia el Laboratorio de Calidad de Agua de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en donde se realizó las pruebas de caracterización inicial.

Las pruebas de caracterización fueron basadas en las técnicas de laboratorio mencionadas y detalladas previamente y sirvieron para determinar el nivel de contaminación de las aguas y conocer los parámetros que más exceden los límites máximos permisibles según la TABLA 8 del Acuerdo Ministerial 097-A, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

Los principales parámetros que se determinaron fueron los siguientes:

- Color
- Conductividad
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Potencial de hidrógeno (pH)
- Sólidos sedimentables
- Sólidos suspendidos
- Sólidos disueltos totales
- Sulfuros
- Temperatura
- Turbiedad
- Olor
- Cromo hexavalente (Cr⁶⁺)
- Sulfatos
- Cloruros

En las siguientes tablas podemos observar los resultados de la caracterización inicial del agua de pelambre y curtido:

Tabla 23-3: Caracterización inicial del agua residual de pelambre.

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CUMPLE
Color	Platino Cobalto, 465 mm	25 800,00	-	-
Conductividad	mS/cm	16,33	-	-
DBO ₅	mg/L	9 600,00	250,00	NO
DQO	mg/L	16 500,00	500,00	NO
Potencial de hidrógeno	pH	11,8	6 – 9	NO
Sólidos sedimentables	mg/L	275,00	20,00	NO
Sólidos suspendidos	mg/L	480,00	220,00	NO

Sólidos disueltos totales (TDS)	mg/L	12,38	-	-
Sulfuros	mg/L	420,00	1,00	NO
Temperatura	°C	19,5	<40	SI
Turbiedad	NTU	2 600,00	-	-

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Tabla 24-3: Caracterización inicial del agua residual de curtido

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CUMPLE
Cromo hexavalente	mg/L	0,72	0,5	NO
Color	Platino Cobalto, 465 mm	2 020,00	-	-
Conductividad	mS/cm	45,28	-	-
DBO ₅	mg/L	550,00	250,00	NO
DQO	mg/L	4 250,00	500,00	NO
Potencial de hidrógeno	pH	4,02	6 – 9	NO
Sólidos sedimentables	mg/L	23,00	20,00	NO
Sólidos suspendidos	mg/L	350,00	220,00	NO
Sólidos disueltos totales (TDS)	mg/L	28,07	-	-
Sulfatos	mg/L	13 400,00	400,00	NO
Temperatura	°C	18,8	<40	SI
Turbiedad	NTU	4 360,00	-	-

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021

3.2.4.1. Parámetros fuera del límite permisible

Con la caracterización de nuestras muestras de agua podemos observar que la mayoría de los parámetros cuentan con una gran carga de agentes contaminantes, lo cual causa que las características del agua se encuentran fuera de los límites máximos permitidos.

Los parámetros que se encuentran fuera del valor permitido son:

- ✓ **Agua de pelambre:** Caracterizando el agua de pelambre, se pudo evidenciar que la mayoría de los parámetros estudiados excedieron el límite permitido, partiendo con los iones cloruros, se puede evidenciar un excedente en el valor, el cual lo ubica fuera de rango, los valores de DBO₅ y DQO son realmente preocupantes, puesto que, superan por mucho los valores aceptados por la legislación ambiental vigente. El pH de la muestra nos indica su alto grado de basicidad, los parámetros de sólidos disueltos y en suspensión también están fuera de

rango, además se observó la concentración de sulfuros y se determinó que no cumple con los límites establecidos.

- ✓ **Agua de curtido:** Al igual que con el agua de pelambre, el agua residual del proceso de curtido no obedece a la norma ambiental, debido a que sus parámetros exceden el límite permisible. En el agua de curtido, debido al uso de las sales de cromo en el proceso, tienen iones de cromo disueltos, los cuales se determinó están fuera de rango, el DBO₅ y DQO también exceden por mucho los valores aceptados, el pH registrado nos indica que la muestra de agua es muy ácida, se encontró un alto porcentaje de sulfatos, lo cual es preocupante debido a la toxicidad que tiene, además que se ha comprobado que provoca cáncer en humanos y animales, los sólidos sedimentables no están muy alejados del valor aceptado, pero tampoco cumple con los límites máximos admitidos, mediante pruebas de tratabilidad se encontrará el tratamiento óptimo para aplicar a los efluentes.

3.2.5. Índice de biodegradabilidad

El índice de biodegradabilidad se lo realiza con el objetivo de determinar el tratamiento más apropiado. Es un valor que se obtiene dividiendo la Demanda Bioquímica de Oxígeno entre la Demanda Química de Oxígeno, para lo cual vamos a usar los datos de la *Tabla 23-3* y la *Tabla 24-3*.

Este valor representa la naturaleza de la muestra de agua y dependiendo del mismo, el tratamiento a aplicar puede ser biológico, físico-químico o combinado, en la siguiente tabla se observan los tratamientos a aplicarse dependiendo del valor obtenido.

Tabla 25-3: Valores y tratamientos del índice de biodegradabilidad

DBO ₅ /DQO	Biodegradabilidad	Tratamiento adecuado
>0,4	Muy biodegradable	Biológico
0,2 – 0,4	Biodegradable	Combinado
<0,2	Poco biodegradable	Físico-químico

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Para escoger el tratamiento adecuado para nuestras muestras, necesitamos obtener el valor del índice de biodegradabilidad, para ello vamos a necesitar los valores de DQO y DBO₅ para el agua de pelambre y curtido, los cuales ya se encontraron mediante análisis en el laboratorio.

Tabla 26-3: Concentraciones de DBO₅ y DQO en el agua de pelambre y curtido.

Parámetro	Unidades	Agua de pelambre	Agua de curtido
DBO ₅	mg/L	9 600,00	550,00
DQO	mg/L	16 500,00	4 250,00

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

3.2.5.1. Índice de biodegradabilidad del agua de pelambre.

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = \frac{DBO_5}{DQO}$$

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = \frac{9600}{16500}$$

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = 0,58$$

3.2.5.2. Índice de biodegradabilidad del agua de curtido

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = \frac{DBO_5}{DQO}$$

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = \frac{550}{4250}$$

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = 0,13$$

Como se mencionó anteriormente, con los valores del índice de biodegradabilidad podemos determinar el tratamiento adecuado para nuestras muestras de agua, según la *Tabla 25-3* los tratamientos a aplicar a las distintas muestras serían:

Tabla 27-3: Selección del tratamiento adecuado según el índice de biodegradabilidad.

Muestra de agua	DBO ₅ /DQO	Biodegradabilidad	Tratamiento apropiado
Proceso de pelambre	0,58	Muy biodegradable	Biológico
Proceso de curtido	0,13	Poco biodegradable	Físico-químico

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Como podemos observar en la tabla, el agua de pelambre tiene un índice de tratabilidad de 0,58, lo cual nos indica que es muy biodegradable y el tratamiento adecuado es de tipo biológico.

Mientras que el índice de tratabilidad del agua de curtido es 0,13, lo cual determina que es poco biodegradable y que el tratamiento apropiado a aplicar es físico-químico, posterior a esto, se toma a las muestras como objeto de estudio para determinar cuál tratamiento es el mejor para reducir la carga contaminante del agua independientemente del proceso del cual proviene.

3.2.6. Pruebas de tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad a las que se sometieron las muestras puntuales del agua de pelambre y curtido, son ensayos a nivel de laboratorio que se hacen con el fin de estudiar a menor escala, los métodos, técnicas y dosificación de químicos correcta para establecer el rediseño más adecuado del sistema de tratamiento de aguas actual de la empresa.

Se realizó el test de jarras para decidir el mejor coagulante y floculante para nuestras muestras de agua, los reactivos que se utilizaron como coagulantes fueron: policloruro de aluminio (PAC), cloruro férrico y sulfato de aluminio, y como floculantes se utilizó cal y polímeros aniónicos, catiónicos y no iónicos, la finalidad de las pruebas de tratabilidad es precisar la cantidad óptima de coagulante y floculante para obtener los resultados esperados.

Con el test de jarras y con los químicos antes mencionados, se simularon los procesos de la curtiembre de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio y el objetivo del test es la remoción del material orgánico e inorgánico de las muestras de agua provenientes del taller artesanal “América”.

Para el agua de pelambre se trabajó de dos maneras, la primera fue analizando el agua residual directamente sin hacerle un tratamiento preliminar, para la segunda muestra se utilizó una cuba para someter a la muestra a un sistema de aireación con un oxigenador de pecera y 3 mangueras delgadas durante 24 horas, para que exista una mejor homogeneización de los reactivos químicos con el agua residual. El volumen de agua colocado en la cuba fue de 1200 mililitros. Se trabajó de estas dos maneras con el objetivo de determinar si existe una diferencia significativa en los resultados del agua que fue sometida a aireación con el agua que fue tratada directamente, en el caso de que los resultados no varíen mucho, se establece que no se necesita de aireadores para el rediseño de la planta.

3.2.6.1. Pasos para realizar el test de jarras

- Llenar las jarras con 1 litro de muestra.
- Igualar el pH de todas las jarras al deseado utilizando H_2SO_4 o NaOH dependiendo el pH al que se quiera llegar (agua de pelambre o curtido).
- Añadimos el coagulante.

- Seleccionamos la velocidad de mezclado de 100 a 150 rpm durante un minuto.
- Reducir la velocidad a una de 25 a 30 rpm y dejar que mezcle por 20 minutos.
- Apagar el mezclador y dejar reposar por 1 hora.
- Medir la turbulencia al final de las jarras.

3.2.6.2. Selección del coagulante óptimo

El siguiente paso fue determinar el coagulante óptimo con el cual se va a trabajar, como coagulantes se utilizó tres reactivos que fueron mencionados anteriormente: policloruro de aluminio (PAC), cloruro férrico y sulfato de aluminio.

Para determinar el coagulante óptimo se llenó 3 vasos con 500 ml de agua residual de pelambre y curtido, su pH se ajustó a 9 en las 3 muestras, es necesario que el pH sea de 9 ya que a ese valor los coagulantes reaccionan apropiadamente.

Tabla 28-3: Selección del coagulante para el proceso de pelambre

Muestra	Coagulante	pH	Turbiedad	pH	Turbiedad	pH	Turbiedad	Flóculos
		1 hora de reposo		2 horas de reposo		3 horas de reposo		
1	Al ₂ (SO ₄) ₃	8,25	315	7,14	287	6,73	280	(+)
2	FeCl ₃	8,16	328	7,38	284	6,56	276	(+)
3	PAC	8,82	245	8,43	218	8,21	197	(++)

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Donde:

(++) = Formación rápida de flóculos.

(+) = Formación más tardía de flóculos, flóculos pequeños y no es compacto.

Tabla 29-3: Selección del coagulante para el proceso de curtido

Muestra	Coagulante	pH	Turbiedad	pH	Turbiedad	pH	Turbiedad	Flóculos
		1 hora de reposo		2 horas de reposo		3 horas de reposo		
1	Al ₂ (SO ₄) ₃	8,32	308	7,09	293	6,98	278	(+)
2	FeCl ₃	8,21	323	7,29	291	6,77	253	(+)
3	PAC	8,45	233	8,38	233	8,24	182	(++)

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Donde:

(++) = Formación rápida de flóculos.

(+) = Formación más tardía de flóculos, flóculos pequeños y no es compacto.

En la *Tabla 27-3* y *Tabla 28-3* se ha seleccionado el policloruro de aluminio (PAC) como el coagulante más adecuado a nuestras muestras de agua, debido a que fue el que contribuyó a la disminución de la turbiedad del agua, por lo tanto, el policloruro de aluminio será el coagulante que dosificaremos. Además de su eficiencia para disminuir los niveles de turbiedad del agua, el policloruro de aluminio tiene bajo costo y fácil accesibilidad.

3.2.6.3. Elección del pH óptimo

Para la determinación del pH óptimo se utilizó cuatro muestras de 500 ml de agua de curtido y ajustamos su pH con hidróxido de calcio de manera que el valor esté dentro del rango de 8 a 10. Como ya se ha determinado el coagulante óptimo para los procesos, procedemos a aplicar la misma concentración de 500 ppm del coagulante policloruro de aluminio (PAC) en cada una de nuestras muestras y dejar reposar durante 3 horas haciendo un seguimiento cada hora midiendo el pH y la turbiedad de las muestras.

Tabla 30-3: Elección del pH óptimo

Muestra	pH inicial	Policloruro de aluminio (ppm)	Con 1 hora de reposo		Con 2 horas de reposo		Con 3 horas de reposo	
			pH	Turbiedad (NTU)	pH	Turbiedad (NTU)	pH	Turbiedad (NTU)
1	8,0	500	7,89	476	7,66	448	7,55	423
2	8,3	500	7,99	418	7,78	398	7,61	382
3	8,6	500	8,12	346	8,03	323	7,87	309
4	8,9	500	8,45	334	8,12	319	8,08	302
5	9,2	500	9,04	313	8,76	302	8,53	276
6	9,5	500	9,27	328	8,81	312	8,73	304
7	9,8	500	9,66	357	8,93	329	8,77	311

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

3.2.6.4. Dosificación óptima de floculante

Como ya se ha determinado el pH óptimo y el coagulante, el siguiente paso es determinar la dosis adecuada de floculante que nos brinda mejores porcentajes de remoción de los agentes contaminantes de nuestras muestras de agua. El floculante que se utilizó fue un polímero aniónico, lo que se hizo en este tramo fue medir la dosis óptima de floculante aniónico que se debe aplicar a las muestras con el fin de obtener un mejor rendimiento basándose en la turbiedad.

El proceso consistió en tomar 5 muestras de agua residual de 1 litro, ajustar su pH a 9, se añadió el coagulante y posterior a esto, se añadió dosis de floculante con una jeringa de mililitro en

mililitro con el fin de registrar los valores de turbiedad a medida que se agrega el floculante de a poco, una vez obtenidos los datos, se selecciona la muestra que haya dado la turbiedad más baja y se anota los mililitros de floculante que se ha utilizado.

Tabla 31-3: Determinación de la dosis óptima de floculante para el agua de pelambre

Muestra	Dosis de floculante aniónico (ml)	Turbiedad (NTU)
1	1,0	110,00
2	2,0	76,00
3	3,0	35,00
4	4,0	22,00
5	5,0	14,00

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Tabla 32-3: Determinación de la dosis óptima de floculante para el agua de curtido

Muestra	Dosis de floculante aniónico (ml)	Turbiedad (NTU)
1	1,0	125,00
2	2,0	89,00
3	3,0	47,00
4	4,0	29,00
5	5,0	16,00

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Con los resultados obtenidos se puede determinar que la dosis óptima de floculante para el agua de pelambre es de 5 ml de floculante aniónico, lo mismo para el agua de pelambre, ya que, se determinó que la dosis óptima es 5 ml.

3.2.6.5. Dosificación óptima de coagulante

Ya se ha determinado la dosis óptima de floculante, ahora necesitamos conocer la dosis óptima de coagulante, para lo cual se trabajó con una dosificación constante de floculante a una concentración de 50000 ppm y se agregaba la dosis del coagulante de mililitro en mililitro para determinar que dosis nos da una turbiedad menor en las muestras de agua de pelambre y curtido.

Tabla 33-3: Determinación de la dosis óptima de coagulante para el agua de pelambre

Muestra	Dosis de coagulante (ml)	Turbiedad (NTU)
1	1,0	2,6
2	2,0	1,8
3	3,0	2,5

4	4,0	2,8
5	5,0	3,2

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Tabla 34-3: Determinación de la dosis óptima de floculante para el agua de curtido

Muestra	Dosis de floculante aniónico (ml)	Turbiedad (NTU)
1	1,0	10,5
2	2,0	9,00
3	3,0	8,5
4	4,0	8,8
5	5,0	9,3

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Con los datos tabulados, se pudo determinar que la dosis óptima de coagulante para el agua de pelambre es de 2 ml mientras que para el agua de curtido 3 ml porque con estas dosis nos suelta valores más bajos de turbiedad.

3.2.7. Estado actual del sistema de tratamiento de aguas residuales del taller artesanal de terminados de cuero “América”

Desafortunadamente el sistema de tratamiento de aguas residuales actual del taller “América” no cumple con el objetivo de reducir las cargas contaminantes con el fin de que puedan ser vertidos al alcantarillado, la alcantarilla a la que se descargan los efluentes es llamada “Pichincha” y se la conoce como la de los curtidores.

Las aguas residuales tratadas por la planta de tratamiento contienen todavía altas concentraciones de químicos provenientes de las etapas del proceso de curtición por lo que no estarían cumpliendo con la ley ambiental vigente. Sin embargo, el taller artesanal “América” posee un sistema hidráulico bien diseñado, el cual, a través de bombas, tuberías, sistema de recirculación de agua y controladores, hace que el transporte de los efluentes sea más fácil y se pueda evitar accidentes ya que no se realiza de manera manual.

La manera de operar de la planta es: en los procesos de pelambre y curtido, el agua que sale de los bombos cae al sistema de recirculación de agua donde se libera de pelos que se van quedando atrapados en las rejillas del sistema, después por medio de válvulas y tuberías se dirige el agua al bombo que se elija, una vez que se termina el proceso, por efecto de una bomba de 3HP, el agua fluye por las tuberías que están conectadas desde los bombos hacia los tanques donde el agua será tratada. El agua sucia fluye por las tuberías de color plomo, mientras que el agua limpia fluye por las tuberías de color verde.

El agua llega a un tanque oxigenador donde recibe una corriente de aire proveniente de un compresor, también se le hecha cal y se dejará que se dé la decantación por 24 horas, lo importante es bajarle el pH a 9 para poder echarle el floculante y coagulante, en este punto el agua sigue sucia, después de que han transcurrido las 24 horas el agua pasa a otro tanque, en el cual se le añade el coagulante y floculante, después los lodos se dejan secar dos días y se los descarga en el botadero municipal.

El agua tratada, después de salir de los tanques se dirige a 2 trampas de sólidos conformadas por 3 mallas, la primera de 2 cm x 2 cm, la segunda de 0,5 x 0,5 cm y la tercera de 0,1 cm x 0,1 cm y están conectadas a dos pozos subterráneos los cuales están diseñados para retener la mayor cantidad posible de sólidos. También hay un tanque sedimentador rectangular en el cual se tratan las aguas recolectadas en los pozos, pero siempre y cuando no contengan cromo, esto va a depender de la procedencia del agua, así que no siempre se utilizará este tanque floculador. Luego de esto, las aguas son enviadas al sistema de alcantarillado.

En las siguientes tablas se especifica las dimensiones de los tanques, y pozos:

Tabla 35-3: Dimensiones del tanque oxigenador

Dimensión	Unidad	Valor
Profundidad	m	3,00
Ancho	m	3,00
Largo	m	3,7

Fuente: Taller artesanal "América".

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.



Figura 3-3: Tanque oxigenador.

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Tabla 36-3: Dimensiones del tanque de floculación y coagulación

Dimensión	Unidad	Valor
Profundidad	m	3,5
Ancho	m	3,00
Largo	m	3,7

Fuente: Taller artesanal “América”.

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.



Figura 4-3: Tanque de floculación y coagulación

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Tabla 37-3: Dimensiones del tanque sedimentador rectangular

Dimensión	Unidad	Valor
Profundidad	m	3,5
Ancho	m	4,2
Largo	m	13,8

Fuente: Taller artesanal “América”.

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.



Figura 5-3: Tanque sedimentador rectangular

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Tabla 38-3: Dimensiones del pozo 1

Dimensión	Unidad	Valor
Profundidad	m	2,4
Largo	m	6,00

Fuente: Taller artesanal “América”.

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Tabla 39-3: Dimensiones del pozo 2

Dimensión	Unidad	Valor
Profundidad	m	1,2
Largo	m	2,5

Fuente: Taller artesanal “América”.

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

3.2.8. Dimensionamiento de unidades del sistema de tratamiento de aguas del taller artesanal “América”

3.2.8.1. Caudal de diseño para el agua de pelambre

✓ Caudal experimental

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

Ecuación 1.

Donde:

Q: Caudal; L/s

V: Volumen; m³

t: Tiempo; s

$$Q = \frac{25 L}{35.62 s}$$

$$Q = 0,70 \frac{L}{s}$$

✓ **Caudal de corrección**

$$Q_c = Q * F$$

Ecuación 2.

Donde:

Q_c: Caudal de corrección; L/s

Q: Caudal experimental; L/s

F: Factor de seguridad (30%)

$$Q_c = 0,70 L/s * 0,3$$

$$Q_c = 0,21 L/s$$

✓ **Caudal de diseño**

$$Q_D = Q + Q_c$$

Ecuación 3.

Donde:

Q_D: Caudal de diseño; L/s; m³/s; m³/día

Q: Caudal experimental; L/s

Q_c: Caudal de corrección: L/s

$$Q_D = (0,7 + 0,21) L/s$$

$$Q_D = 0,91 \frac{L}{s} = 9,1 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 78,62 \frac{m^3}{día}$$

3.2.8.2. Caudal de diseño para el agua de curtido

✓ Caudal experimental

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

Donde:

Q: Caudal; L/s

V: Volumen; m³

t: Tiempo; s

$$Q = \frac{25 \text{ L}}{40,44 \text{ s}}$$

$$Q = 0,618 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

✓ Caudal de corrección

$$Q_c = Q * F$$

Donde:

Q_c: Caudal de corrección; L/s

Q: Caudal experimental; L/s

F: Factor de seguridad (30%)

$$Q_c = 0,618 \text{ L/s} * 0,3$$

$$Q_c = 0,185 \text{ L/s}$$

✓ Caudal de diseño

$$Q_D = Q + Q_c$$

Donde:

Q_D: Caudal de diseño; L/s; m³/s; m³/día

Q: Caudal experimental; L/s

Qc: Caudal de corrección; L/s

$$Q_D = (0,618 + 0,185) L/s$$

$$Q_D = 0,803 \frac{L}{s} = 8 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} = 69,379 \frac{m^3}{día}$$

3.2.8.3. Diseño del sistema de rejillas

El sistema de rejillas o cribado sirve para disminuir la concentración de sólidos suspendidos de mayor tamaño, estamos hablando de partículas de más de 5 mm, se clasifican por su tipo de limpieza en mecánicas y manuales.

Tabla 40-3: Condiciones de diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica

Características		Limpieza manual	Limpieza mecánica	Unidades
Tamaño de la barra	Anchura	5 - 15	5 - 15	mm
	Profundidad	25 - 37,5	25 - 37,5	mm
Separación entre barras		25 - 50	15 - 75	mm
Pendiente en relación a la vertical		60 - 45	0 - 60	grados
Velocidad de aproximación		0,30 - 0,60	0,6 - 1,1	m/s
Pérdida de carga admisible		150	150	mm

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1996).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

- ✓ **Área libre del paso del agua:** Para este cálculo, necesitaremos el valor de la velocidad de flujo adecuada, así que la seleccionaremos según la *Tabla 39-3* la cual nos indica que el valor para limpieza manual es de 0,30 a 0,60 m/s por lo cual, sacaremos el promedio y utilizaremos un valor de velocidad de flujo (v) de 0,45 m/s y para el caudal de diseño sacamos un promedio entre los caudales de diseño del proceso de pelambre y curtido el cual es $1,7 \times 10^{-3} m^3/s$ ya que el agua de ambos procesos es tratada en los mismos tanques y todas se dirigen al sistema de rejillas actual.

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

Ecuación 4.

Donde:

A_L: Área libre del paso del agua; m²

Q_D: Caudal de diseño; m³/s

v: Velocidad de flujo; m/s

$$A_L = \frac{1,7 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{0,45 \text{ m/s}}$$

$$A_L = 0,0038 \text{ m}^2$$

✓ **Altura del tirante en el canal:** Para el ancho del canal vamos a tomar el valor de 0,3 m.

$$h_{ar} = \frac{A_L}{B} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde:

h_a: Altura del tirante en el canal; m

A_L: Área libre del paso del agua; m²

B: Ancho del canal; m

$$h_{ar} = \frac{0,0038 \text{ m}^2}{0,3 \text{ m}}$$

$$h_{ar} = 0,0127 \text{ m}$$

✓ **Altura del tirante de construcción:** Tomamos un valor de 0,25 como altura de seguridad.

$$h_a = h_{ar} + h_s \quad \text{Ecuación 6.}$$

Donde:

h_a: Altura del tirante de construcción; m

h_a: Altura del tirante en el canal; m

h_s: Altura de seguridad; m

$$h_a = 0,0127 \text{ m} + 0,25 \text{ m}$$

$$h_a = 0,263 \text{ m}$$

- ✓ **Longitud de las barras:** La *Tabla 39-3*, está basada en la Norma RAS 2000, de ahí sacamos el valor de 60° de inclinación para el cálculo de longitud de barras pertenecientes al sistema de rejillas o cribado.

$$L_b = \frac{h_a}{\text{sen}\theta} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Donde:

L_b: Longitud de las barras; m

h_a: Altura del tirante de construcción; m

θ: Ángulo de inclinación de barras; grados

$$L_b = \frac{0,263 \text{ m}}{\text{sen } 60^\circ}$$

$$L_b = 0,304 \text{ m}$$

- ✓ **Número de barras:** Para el cálculo del número de barras vamos a necesitar datos de la *Tabla 39-3*, necesitamos ver el valor tabulado para el parámetro de separación entre barras, tomaremos 0,040 m y para el valor de espesor de las barras usaremos 5×10^{-3} m.

$$N_b = \frac{B}{e+S} \quad \text{Ecuación 8.}$$

Donde:

N_b: Número de barras

B: Ancho del canal; m

e: Espesor de las barras; m

S: Separación entre las barras; m

$$N_b = \frac{0,3 \text{ m}}{5 \times 10^{-3} \text{ m} + 0,040 \text{ m}}$$

$$N_b = 6,7 \cong 6 \text{ barras}$$

3.2.8.4. Dimensionamiento del tanque oxigenador

La oxigenación de las aguas residuales es un proceso muy importante ya que el suministro de oxígeno constantemente al agua permite que se dé una biodegradación aeróbica de los compuestos tóxicos del agua.

Los métodos de aireación más comunes para tratamiento de aguas residuales son:

- Mediante equipos de aireación difusa.
- Sistemas de turbina.
- Sistemas de aireación superficial.

En este tanque también le echan la cal y se mezcla con un agitador de paletas, el sistema de tratamiento de aguas actual de la empresa se trabaja con un compresor que proporciona aire al agua del tanque, para el rediseño se ha reconsiderado el método y se contará con un equipo de aireación difusa, este equipo está diseñado para inyectar aire por efecto de la presión, se sitúa en la parte inferior del tanque. El aire proviene de un compresor o de sopladores dependiendo la presión y la presión depende de la profundidad del agua, en presiones bajas conviene usar sopladores directos mientras que en presiones altas se utilizan compresores turbo.

- ✓ **Volumen del tanque oxigenador:** En la *Tabla 34-3* encontraremos los valores que utilizaremos para calcular el volumen del tanque:

$$V_{TO} = a_{ta} * h_{ta} * L_{ta} \quad \text{Ecuación 9.}$$

Donde:

V_{TO} : Volumen del tanque oxigenador; m^3

a_{ta} : Ancho del tanque; m

h_{ta} : Altura del tanque; m

L_{ta} : Longitud del tanque; m

$$V_{TO} = 3m * 3m * 3,7m$$

$$V_{TO} = 33,3 m^3$$

Para la selección del suministrador de aire, se considera ciertos parámetros además de la profundidad del agua, como por ejemplo las dimensiones del tanque, caudal, temperatura y el más relevante es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5). Considerando la situación actual de la

empresa, se optó por seleccionar el compresor turbo debido a la confirmación de los requerimientos en base a los parámetros mencionados anteriormente.

- ✓ **Cálculo del caudal de aire en función al DBO₅:** Haciendo una revisión en la *Tabla 23-3* y *Tabla 24-3* de la caracterización de los efluentes residuales generados por la empresa, seleccionamos el valor de DBO₅ más alto, este valor es la del agua de pelambre siendo 9600 mg/L.

$$DBO_5 \left(\frac{Kg}{día} \right) = DBO_5 * Q_D \quad \text{Ecuación 10.}$$

Donde:

DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno; mg/L

Q_D: Caudal de diseño; m³/día

$$DBO_5 \left(\frac{Kg}{día} \right) = 9600 \frac{mg DBO_5}{L} * \frac{1 Kg DBO_5}{1 x 10^6 mg DBO_5} * \frac{1000 L}{m^3} * \frac{78,62 m^3}{día}$$

$$DBO_5 \left(\frac{Kg}{día} \right) = 754,75 \frac{Kg DBO_5}{día}$$

Con este valor podemos calcular el caudal de aire más adecuado para el tanque oxigenador, calculamos de la siguiente forma:

$$Q_{aire} = 754,75 \frac{Kg DBO_5}{día} * \frac{154 m^3 aire}{Kg DBO_5} * \frac{1 día}{24 h} * \frac{1 h}{60 min}$$

$$Q_{aire} = 80,71 \frac{m^3 aire}{min}$$

Donde:

Q_{aire}: Caudal de aire; m³ aire/min

- ✓ **Cálculo de la presión hidrostática**

$$P_H = \rho * g * h_{ta} \quad \text{Ecuación 11.}$$

Donde:

P_H : Presión hidrostática; psi

ρ : Densidad del agua; kg/m³

g : Gravedad; m/s²

h_{ta} : Altura del tanque oxigenador; m

$$P_H = 997 \frac{kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2} * 3 m$$

$$P_H = 29311,8 Pa = 4,25 psi$$

✓ **Cálculo de la presión absoluta**

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

Ecuación 12.

Donde:

P_{abs} : Presión absoluta; psi

P_{atm} : Presión atmosférica; psi

P_H : Presión hidrostática; psi

$$P_{abs} = 14,7 psi + 4,25 psi$$

$$P_{abs} = 18,95 psi$$

✓ **Variación térmica en el aire de compresión**

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

Ecuación 13.

Donde:

ΔT_{comp} : Variación térmica; °C

T_{amb} : Temperatura ambiente; °C

η : Eficiencia de compresión asumida; 80%

P_{abs} : Presión absoluta; psi

P_{atm} : Presión atmosférica; psi

$$\Delta T_{comp} = \frac{25 \text{ }^\circ\text{C}}{0,80} \left[\left(\frac{18,95 \text{ psi}}{14,7 \text{ psi}} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$\Delta T_{comp} = 27,75 \text{ }^\circ\text{C}$$

✓ **Cálculo de la temperatura de salida de aire**

$$T_2 = T_{amb} + \Delta T_{comp} \quad \text{Ecuación 14.}$$

Donde:

T₂: Temperatura de salida de aire; °C

T_{amb}: Temperatura ambiente; °C

ΔT_{comp}: Variación térmica del aire de presión; °C

$$T_2 = 25^\circ\text{C} + 27,75^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 52,75 \text{ }^\circ\text{C}$$

✓ **Cálculo de la potencia del compresor**

$$P_{comp} = \frac{0,22 Q_{aire}}{\eta} \left[\left(\frac{P_{abs}}{P_{atm}} \right)^{0,283} - 1 \right] \quad \text{Ecuación 15.}$$

Donde:

P_{comp}: Potencia del compresor; HP

Q_{aire}: Caudal de aire; ft³/min

η: Eficiencia de compresión asumida; 80%

P_{abs}: Presión absoluta; psi

P_{atm}: Presión atmosférica; psi

$$P_{comp} = \frac{0,22 * 2850,25 \text{ ft}^3/\text{min}}{0,80} \left[\left(\frac{18,95 \text{ psi}}{14,7 \text{ psi}} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P_{comp} = 58,41 \text{ ft}^3 * \text{psi}/\text{min}$$

$$P_{comp} = 0,25 \text{ HP}$$

✓ **Cálculo de la velocidad a la salida del compresor**

$$v = \frac{Q_{aire}}{A}$$

Ecuación 16.

$$v = \frac{Q_{aire}}{\frac{\pi}{4} * D^2}$$

Donde:

v: Velocidad a la salida del compresor; m/s

Q_{aire}: Caudal de aire; m³/min

A: Área de la tubería; m²

D: Diámetro de la tubería; m

$$v = \frac{Q_{aire}}{\frac{\pi}{4} * D^2}$$

$$v = \frac{80,71 \text{ m}^3/\text{min}}{\frac{\pi}{4} * (0,35 \text{ m})^2}$$

$$v = 838,88 \frac{\text{m}}{\text{min}} * \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}}$$

$$v = 13,98 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- ✓ **Cálculo del número de Reynolds:** Para calcular el número de Reynolds vamos a necesitar de la siguiente tabla para determinar el diámetro de la tubería más adecuado:

Tabla 41-3: Selección del diámetro de la tubería según el caudal

Diámetro (mm)	Caudal (m ³ /min)
100	3,75
150	11,05
225	32,2

300	69,7
375	126
450	204
525	311
600	437
675	601
750	802

Fuente: (Romero, 2012).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

$$N_R = \frac{v \cdot D \cdot \rho_{aire}}{\mu}$$

Ecuación 17.

Donde:

N_R: Número de Reynolds

v: Velocidad a la salida del compresor; m/s

D: Diámetro de la tubería; m

ρ_{aire}: Densidad del aire; kg/m³

μ: Viscosidad del aire; Pa. s

$$N_R = \frac{13,98 \frac{m}{s} * (0,35 m) * 1,28 kg/m^3}{0,019 Pa. s}$$

$$N_R = 329,63$$

- ✓ **Cálculo del diámetro de los orificios del difusor de aire:** Para determinar el diámetro de los orificios del difusor poroso de aire, necesitaremos el dato del diámetro de burbuja, el cual lo podemos obtener con un aproximado de la siguiente tabla, como ya hemos encontrado el número de Reynolds lo que se debe hacer es ver en qué régimen se encuentra para poder determinar el diámetro de burbuja apropiado:

Tabla 42-3: Selección del diámetro de burbuja

Tipo de burbuja	Régimen	Eficiencia	Tamaño de burbuja
Burbuja simple o fina	0 < N _R < 200	10 – 30 %	2 – 5 mm
Burbuja intermedia o semifina	200 < N _R < 2000	6 – 15 %	6 – 10 mm
Burbuja a chorro	N _R > 2000	4 – 8 %	10 mm

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

$$D_o = \frac{d_b^3 * g * (\rho_{agua} - \rho_{aire})}{6 * \sigma}$$

Ecuación 18.

Donde:

D_o: Diámetro del orificio; m

d_b: Diámetro de burbuja; m

g: Gravedad; m/s²

ρ_{agua}: Densidad del agua; kg/m³

ρ_{aire}: Densidad del aire; kg/m³

σ: Tensión superficial; N/m

$$D_o = \frac{(0,008 \text{ m})^3 * 9,81 \text{ m/s}^2 * (997 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - 1,28 \text{ kg/m}^3)}{6 * 0,08 \text{ N/m}}$$

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

✓ **Cálculo del número de orificios del difusor poroso**

$$N = \frac{0,7 * D_t}{D_o}$$

Ecuación 19.

Donde:

N: Número de orificios del difusor poroso

D_t: Diámetro de la tubería neumática; m

D_o: Diámetro del orificio del difusor poroso; m

$$N = \frac{0,7 * 0,085 \text{ mm}}{0,01 \text{ mm}}$$

$$N = 5,95 \cong 6 \text{ orificios.}$$

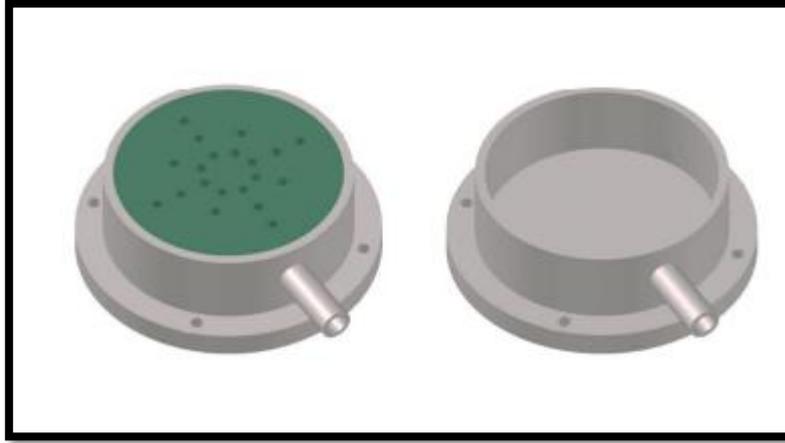


Figura 6-3: Difusor poroso para el tanque oxigenador

Fuente: (Balseca, 2019, p. 25).

3.2.8.5. Dimensionamiento del tanque de floculación y coagulación

En este tanque se reciben las aguas residuales que vienen del tanque oxigenador para adicionarles el coagulante y floculante. El método actual para mezclado cuenta con un sistema de agitación de agitadores de paletas, el mismo que se usa para el tanque oxigenador, por lo que se procederá hacer el rediseño de los equipos y herramientas que intervienen en el proceso de floculación y coagulación. Primero obtenemos el volumen del tanque, para ello usaremos los datos de la *Tabla 35-3*:

✓ Volumen del tanque de floculación y coagulación

$$V_{TFC} = a_{ta} * h_{ta} * L_{ta} \quad \text{Ecuación 20.}$$

Donde:

V_{TFC} : Volumen del tanque de floculación y coagulación; m^3

a_{ta} : Ancho del tanque; m

h_{ta} : Altura del tanque; m

L_{ta} : Longitud del tanque; m

$$V_{TFC} = 3m * 3,5 m * 3,7m$$

$$V_{TFC} = 38,85 m^3$$

✓ **Diseño de la longitud de las paletas del sistema de agitación**

$$B = \frac{D}{4} \quad \text{Ecuación 21.}$$

Donde:

B: Longitud de la paleta; m

D: Diámetro de la cámara de mezcla; m

$$B = \frac{3,35 \text{ m}}{4}$$

$$B = 0,84 \text{ m}$$

✓ **Diseño de la altura de la paleta del sistema de agitación**

$$W = \frac{D}{4} \quad \text{Ecuación 22.}$$

Donde:

W: Alto de la paleta; m

D: Diámetro de la cámara de mezcla; m

$$B = \frac{3,35 \text{ m}}{4}$$

$$B = 0,84 \text{ m}$$

- ✓ **Cálculo de la potencia aplicada al agua:** Es importante calcular la potencia que se aplicará al agua ya que esto determinará la eficiencia del tratamiento, pero cabe recalcar que las propiedades del agua varían según la temperatura, como lo podemos observar en la siguiente tabla:

Tabla 43-3: Propiedades físicas del agua

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA			
TEMPERATURA (°C)	DENSIDAD (Kg/m ³)	VISCOSIDAD DINÁMICA (N.s/m ²)	VISCOSIDAD CINEMÁTICA (m ² /s)
0	999,8	1,781 x 10 ⁻³	1,785 x 10 ⁻⁶
5	1000,0	1,518 x 10 ⁻³	1,519 x 10 ⁻⁶

10	999,7	1,307 x 10 ⁻³	1,306 x 10 ⁻⁶
15	999,1	1,139 x 10 ⁻³	1,139 x 10 ⁻⁶
20	998,2	1,102 x 10 ⁻³	1,003 x 10 ⁻⁶
25	997,0	0,890 x 10 ⁻³	0,893 x 10 ⁻⁶
30	995,7	0,708 x 10 ⁻³	0,800 x 10 ⁻⁶

Fuente: (González, 2015).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Tabla 44-3: Criterios de diseño para mezcladores de turbina

PARÁMETRO	MEDIDA
Gradiente de velocidad (s ⁻¹)	500 – 1000
Tiempo de retención (h)	1 - 7

Fuente: (Programa regional HPE/OPS/CEPIS, 1992).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

$$P = G^2 * v * V_{TFC}$$

Ecuación 23.

Donde:

P: Potencia aplicada al agua residual; Watt

G: Gradiente de velocidad; s⁻¹ (Ver **Tabla 43-3**)

v: Viscosidad dinámica del agua a 20°C (Ver **Tabla 42-3**)

V_{TFC}: Volumen del tanque de floculación y coagulación; m³

$$P = (750 \text{ s}^{-1})^2 * 0,001003 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}} * 38,85 \text{ m}^3$$

$$P = 21918,68 \text{ Watt} * \frac{1 \text{ HP}}{745,7 \text{ Watt}}$$

$$P = 29,39 \text{ HP}$$

✓ **Cálculo de la velocidad de rotación:** Para calcular el total de revoluciones por minuto que optimicen el proceso de tratamiento vamos a necesitar la siguiente tabla:

Tabla 45-3: Impulsores y su número de potencia

IMPULSOR	NÚMERO DE POTENCIA (K)
Hélice pinch cuadrada, 3 paletas	0,32
Hélice pinch 2, 3 aletas	1,00
Turbina, 6 aletas planas	6,30
Turbina, 6 aletas curvas	4,80
Turbina, 6 aletas punta de flecha	4,00

Turbina ventilador, 6 aletas	1,65
------------------------------	------

Fuente: (Programa regional HPE/OPS/CEPIS, 1992).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

$$N = \sqrt[3]{\frac{P}{K * \rho * D^5}} \quad \text{Ecuación 24.}$$

Donde:

N: Velocidad de rotación; rpm

P: Potencia; Watt

K: Número de potencia; (Ver *Tabla 44-3*)

ρ : Densidad del agua a 20°C; kg/m³

D: Diámetro de la turbina, m

$$N = \sqrt[3]{\frac{21918,68 \text{ Watt}}{4,0 * 999,49 \text{ kg/m}^3 * (1,2 \text{ m})^5}}$$

$$N = 1,30 \text{ RPS}$$

$$N = 78 \text{ RPM}$$

3.2.8.6. Dimensionamiento del tanque de sedimentación rectangular

✓ Cálculo del volumen del tanque sedimentador rectangular

$$V_{TS} = a_{ts} * h_{ts} * L_{ts} \quad \text{Ecuación 25.}$$

Donde:

V_{TO}: Volumen del tanque sedimentador rectangular; m³

a_{ta}: Ancho del tanque; m

h_{ta}: Altura del tanque; m

L_{ta}: Longitud del tanque; m

$$V_{TO} = 3,5 \text{ m} * 4,2 \text{ m} * 13,8 \text{ m}$$

$$V_{TO} = 202,86 \text{ m}^3$$

Tabla 46-3: Criterios de diseño para pantalla difusora

PARÁMETRO	RANGO	UNIDAD
Distancia desde la pared de entrada	0,7 – 1	m
Distancia de la pared inferior del sedimentador	0,80	m
Los orificios más altos a partir de la superficie	1/5 – 1/6	m
Los orificios más bajos a partir de la superficie del fondo	1/4 – 1/5	m
Velocidad inicial	≤ 0,15	m/s
Sentido de flujo de aboquillado	15	°

Fuente: (CEPIS, 2012).

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

- ✓ **Cálculo de la longitud total:** La obtenemos sumando la longitud del sedimentador y la longitud entre la pantalla difusora y la pared de entrada, el mismo que encontraremos en la *Tabla 49-3*.

$$L_t = L_s + L_{pd} \quad \text{Ecuación 26.}$$

Dónde:

L_s: Longitud del sedimentador; m

L_{pd}: Longitud entre la pantalla difusora y la pared de entrada; m

$$L_t = 13,8 \text{ m} + 0,8 \text{ m}$$

$$L_t = 14,6 \text{ m}$$

- ✓ **Cálculo de la velocidad de sedimentación**

$$v_s = \frac{Q_D}{L_t * B_s} \quad \text{Ecuación 27.}$$

Dónde:

Q_D: Caudal de diseño; m³/s

L_t: Longitud total; m

B_s: Ancho del sedimentador; m

$$v_s = \frac{0,00091 \text{ m}^3/\text{s}}{14,6 \text{ m} * 4,2 \text{ m}}$$

$$v_s = 0,000015 \text{ m/s}$$

✓ **Cálculo del área superficial en la zona de sedimentación**

$$A_s = \frac{Q_D}{v_s} \quad \text{Ecuación 28.}$$

Dónde:

Q_D: Caudal de diseño; m³/s

v_s: Velocidad de sedimentación; m/s

$$A_s = \frac{0,00091 \text{ m}^3/\text{s}}{0,000015 \text{ m/s}}$$

$$A_s = 60,66 \text{ m}^2$$

✓ **Cálculo de la carga hidráulica**

$$C_H = \frac{Q_D}{B_s} \quad \text{Ecuación 29.}$$

Donde:

C_H: Carga hidráulica; m²/s

Q_D: Caudal de diseño; m³/s

B_s: Ancho del sedimentador; m

$$C_H = \frac{0,00091 \text{ m}^3/\text{s}}{4,2 \text{ m}}$$

$$C_H = 0,00022 \text{ m}^2/\text{s}$$

3.2.8.7. Cálculo de la dosificación de productos químicos

Para estos cálculos usaremos los valores de las tablas realizadas para la dosificación de químicos, teniendo así los siguientes cálculos:

✓ **Dosis de Policloruro de aluminio (PAC)**

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Ecuación 30.

Donde:

C₁: Concentración de la solución de PAC; g/ml

V₁: Volumen de la dosificación óptima; ml

C₂: Concentración de la dosificación óptima de PAC; g/l

V₂: Volumen de la dosificación óptima de solución; ml

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

$$C_2 = \frac{0,02 \frac{g}{ml} * 2 ml}{1000 ml}$$

$$C_2 = 0,00004 \frac{g}{mL} * \frac{1000 mL}{1 L}$$

$$C_2 = 0,04 \frac{g}{L}$$

Esto significa que al día vamos a requerir de:

$$PAC_{día} = Q_D * C_2$$

Ecuación 31.

Donde:

PAC_{día}: Cantidad de PAC al día; kg/día

Q_D: Caudal de diseño; L/día

C₂: Concentración de la dosis óptima de PAC; g/L

$$PAC_{día} = 78624 \frac{L}{día} * \frac{0,04g}{L} * \frac{1 kg}{1000 g}$$

$$PAC_{día} = 3,14 \frac{kg}{día}$$

✓ **Dosis de Flocculante aniónico**

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Donde:

C₁: Concentración de la solución de floculante aniónico; g/ml

V₁: Volumen de la dosificación óptima; ml

C₂: Concentración de la dosificación óptima de floculante; g/l

V₂: Volumen de la dosificación óptima de solución; ml

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

$$C_2 = \frac{0,001 \frac{g}{ml} * 5 ml}{1000 ml}$$

$$C_2 = 0,000005 \frac{g}{mL} * \frac{1000 mL}{1 L}$$

$$C_2 = 0,005 \frac{g}{L}$$

Esto significa que al día vamos a requerir de:

$$P_{floculante/día} = Q_D * C_2$$

Ecuación 32.

Donde:

P_{floculante/día}: Cantidad de floculante al día; kg/día

Q_D: Caudal de diseño; L/día

C₂: Concentración de la dosis óptima de floculante; g/L

$$P_{floculante/día} = 78624 \frac{L}{día} * \frac{0,005 g}{L} * \frac{1 kg}{1000 g}$$

$$P_{floculante/día} = 0,39 \frac{kg}{día}$$

✓ **Dosificación de cal**

$$P_{cal/día} = Q_D * C_2$$

Ecuación 33.

Donde:

$P_{cal/día}$: Cantidad de cal al día; kg/día

Q_D : Caudal de diseño; L/día

C_2 : Concentración de la dosis óptima de cal; g/L

$$P_{cal/día} = 78624 \frac{L}{día} * \frac{5 g}{L} * \frac{1 kg}{1000 g}$$

$$P_{cal/día} = 393,12 \frac{kg}{día}$$

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Validación del rediseño

Hasta el momento ya se contaba con los datos de la caracterización inicial de los parámetros físico-químicos del agua residual sin tratar. Ahora se procede a comparar con los datos de la caracterización de los parámetros del agua residual provenientes del proceso de pelambre y curtiembre, pero una vez que ya han sido sometidas a los ensayos de tratabilidad en el laboratorio en base a los métodos y técnicas ya detallados en el trabajo.

4.1.1. Caracterización de los parámetros físico-químicos del agua residual de pelambre después del tratamiento

Tabla 1-4: Caracterización final del agua residual de pelambre

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CUMPLE
Color	Platino Cobalto, 465 mm	56,00	-	-
Conductividad	mS/cm	4,116	-	-
DBO ₅	mg/L	430,00	250,00	NO
DQO	mg/L	570,00	500,00	NO
Potencial de hidrógeno	pH	7,72	6 – 9	SI
Sólidos sedimentables	mg/L	10,00	20,00	SI
Sólidos suspendidos	mg/L	55,00	220,00	SI
Sólidos disueltos totales (TDS)	mg/L	2,028	-	-
Sulfuros	mg/L	102,00	1,00	NO
Temperatura	°C	19,5	<40	SI
Turbiedad	NTU	12,00	-	-

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Aún después de las pruebas de tratabilidad los parámetros de DBO₅, DQO y Sulfuros todavía no se encuentran dentro de la norma, sin embargo, en lo que concierne al DBO₅ y DQO, la cantidad con la que excede los límites permisibles es casi despreciable, y tanto para estos parámetros como para sulfuros, hay que considerar el porcentaje de remoción que se logró, el cual es muy significativo.

4.1.2. Caracterización de los parámetros físico-químicos del agua residual de curtido después del tratamiento

Tabla 2-4: Caracterización final del agua residual de curtido.

PARÁMETRO	UNIDAD	RESULTADO	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CUMPLE
Cromo hexavalente	mg/L	0,084	0,5	SI
Color	Platino Cobalto, 465 mm	70,00	-	-
Conductividad	mS/cm	5,19	-	-
DBO ₅	mg/L	400,00	250,00	NO
DQO	mg/L	1 011,00	500,00	NO
Potencial de hidrógeno	pH	7,55	6 – 9	SI
Sólidos sedimentables	mg/L	7,00	20,00	SI
Sólidos suspendidos	mg/L	37,00	220,00	SI
Sólidos disueltos totales (TDS)	mg/L	8,66	-	-
Sulfatos	mg/L	1 000,00	400,00	NO
Temperatura	°C	18,8	<40	SI
Turbiedad	NTU	16,2	-	-

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Como se puede observar en la **Tabla 2-4**, los valores de DBO₅ y DQO aún no se encuentran dentro de la normativa, pero de igual manera su porcentaje de remoción es muy importante y se detallará a continuación.

4.1.3. Porcentaje de remoción

El porcentaje de remoción se lo obtuvo aplicando la siguiente fórmula y comparando los valores obtenidos de los parámetros físico-químicos para el agua de pelambre y curtido de la **Tabla 23-3** y **Tabla 24-3** de caracterizaciones iniciales contra los de la **Tabla 1-4** y **Tabla 2-4** de caracterización final del agua residual.

$$\% \text{ Remoción} = \frac{\text{Concentración inicial} - \text{Concentración final}}{\text{Concentración inicial}} \times 100\% \quad \text{Ecuación 25.}$$

Tabla 3-4: Porcentaje de remoción en el agua residual de pelambre

PARÁMETRO	UNIDAD	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	% REMOCIÓN
DBO ₅	mg/L	9 600,00	430,00	95,52
DQO	mg/L	16 500,00	570,00	96,54
Sólidos sedimentables	mg/L	275,00	10,00	96,36
Sólidos suspendidos	mg/L	480,00	55,00	88,54
Sulfuros	mg/L	420,00	102,00	75,71

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Podemos observar que los porcentajes de remoción más altos los encontramos en la remoción de DQO, DBO₅ y sólidos sedimentables, a pesar que el porcentaje en la remoción de sulfuros no sea significativamente alto, son más de las 3 cuartas partes de sulfuro de las cuales el agua se ha depurado.

Tabla 4-4: Porcentaje de remoción en el agua residual de curtido.

PARÁMETRO	UNIDAD	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL	% REMOCIÓN (%)
Cromo hexavalente	mg/L	0,72	0,084	88,33
DBO ₅	mg/L	550,00	400,00	27,27
DQO	mg/L	4 250,00	1 011,00	76,22
Sólidos sedimentables	mg/L	23,00	7,00	69,57
Sólidos suspendidos	mg/L	350,00	37,00	89,43
Sulfatos	mg/L	13 400,00	1 000,00	92,54%

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

En la *Tabla 4-4*, se observa que los porcentajes de remoción más altos están en los parámetros de sulfatos principalmente, con un 92,54% lo cual nos indica que la oxidación de sulfuros ha sido eficiente, así como el proceso.

4.2. Resultados de las unidades para el dimensionamiento de equipos

En las siguientes tablas se encuentran tabulados los datos obtenidos con los cálculos y ecuaciones de ingeniería respectivas en el Capítulo III.

✓ **Caudal de diseño**

Tabla 5-4: Resultados del cálculo del caudal de diseño para el agua de pelambre

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Caudal experimental	L/s	0,70
Caudal de corrección	L/s	0,21
Caudal de diseño	L/s	0,91

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Tabla 6-4: Resultados del cálculo del caudal de diseño para el agua de curtido

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Caudal experimental	L/s	0,618
Caudal de corrección	L/s	0,185
Caudal de diseño	L/s	0,803

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

✓ **Tanque oxigenador**

Tabla 7-4: Resultados del cálculo del dimensionamiento del tanque oxigenador

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Volumen del tanque	m ³	33,3
Longitud	m	3,7
Ancho	m	3
Profundidad	m	3
Caudal del aire	m ³ /min	80,71
Potencia del compresor	HP	0,25
Diámetro de orificios del difusor poroso	m	0,01
Número de orificios del difusor poroso	-	6

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

✓ **Tanque de floculación y coagulación**

Tabla 8-4: Resultados del cálculo del dimensionamiento del tanque de floculación y coagulación

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Volumen del tanque	m ³	38,85
Profundidad del tanque	m	3,5
Ancho del tanque	m	3,0
Largo del tanque	m	3,7

Longitud de las paletas	m	0,84
Altura de las paletas	m	0,84
Potencia aplicada al agua	HP	29,39
Velocidad de rotación	RPM	78,0

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

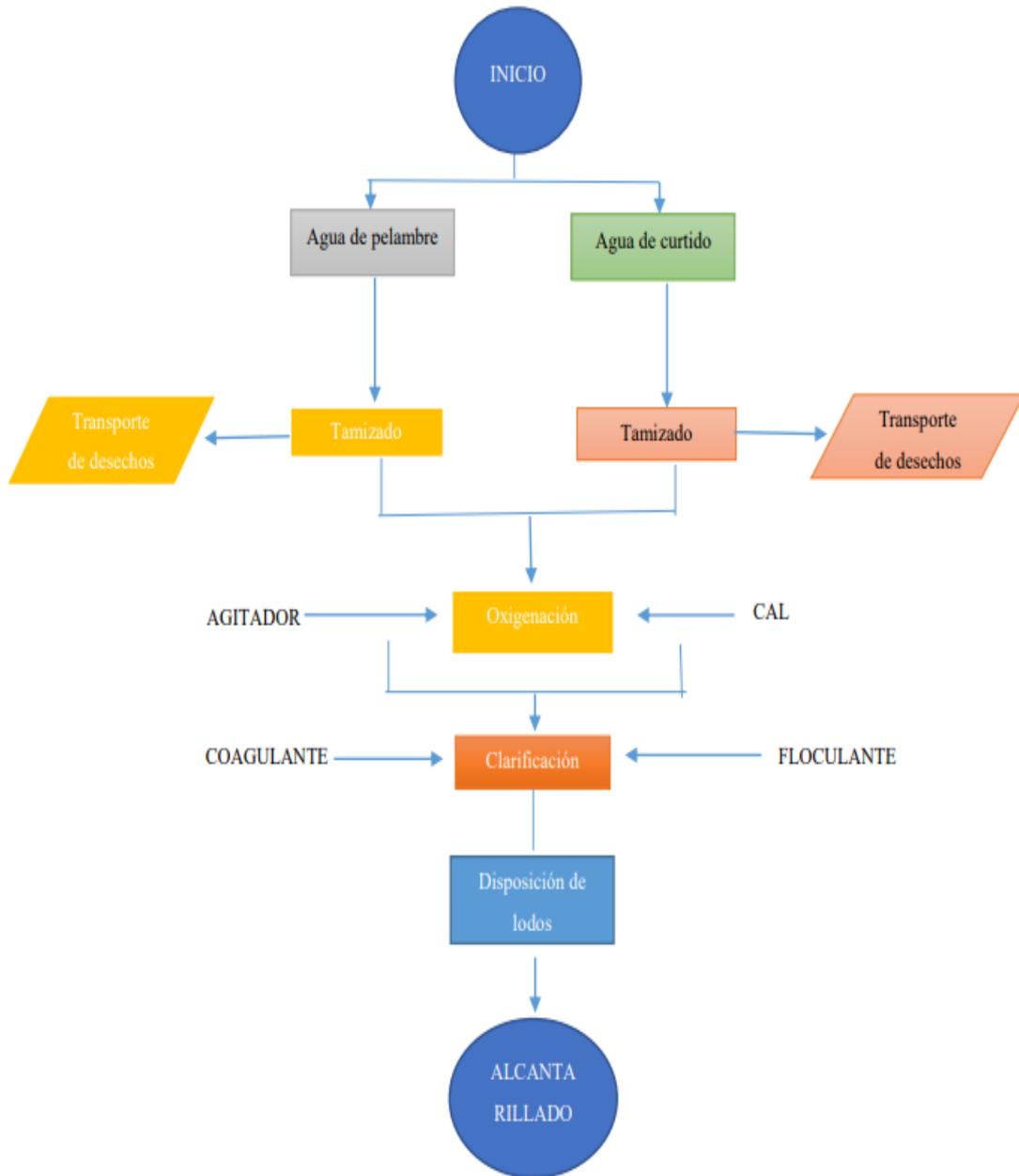
✓ **Tanque de sedimentación rectangular**

Tabla 9-4: Resultados del cálculo del dimensionamiento del tanque de sedimentación

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Volumen del tanque	m ³	202,86
Profundidad del tanque	m	4,2
Ancho del tanque	m	35
Largo del tanque	m	13,8
Longitud total	m	14,6
Velocidad de sedimentación	m/s	0,000015
Carga hidráulica	m ² /s	0,00022

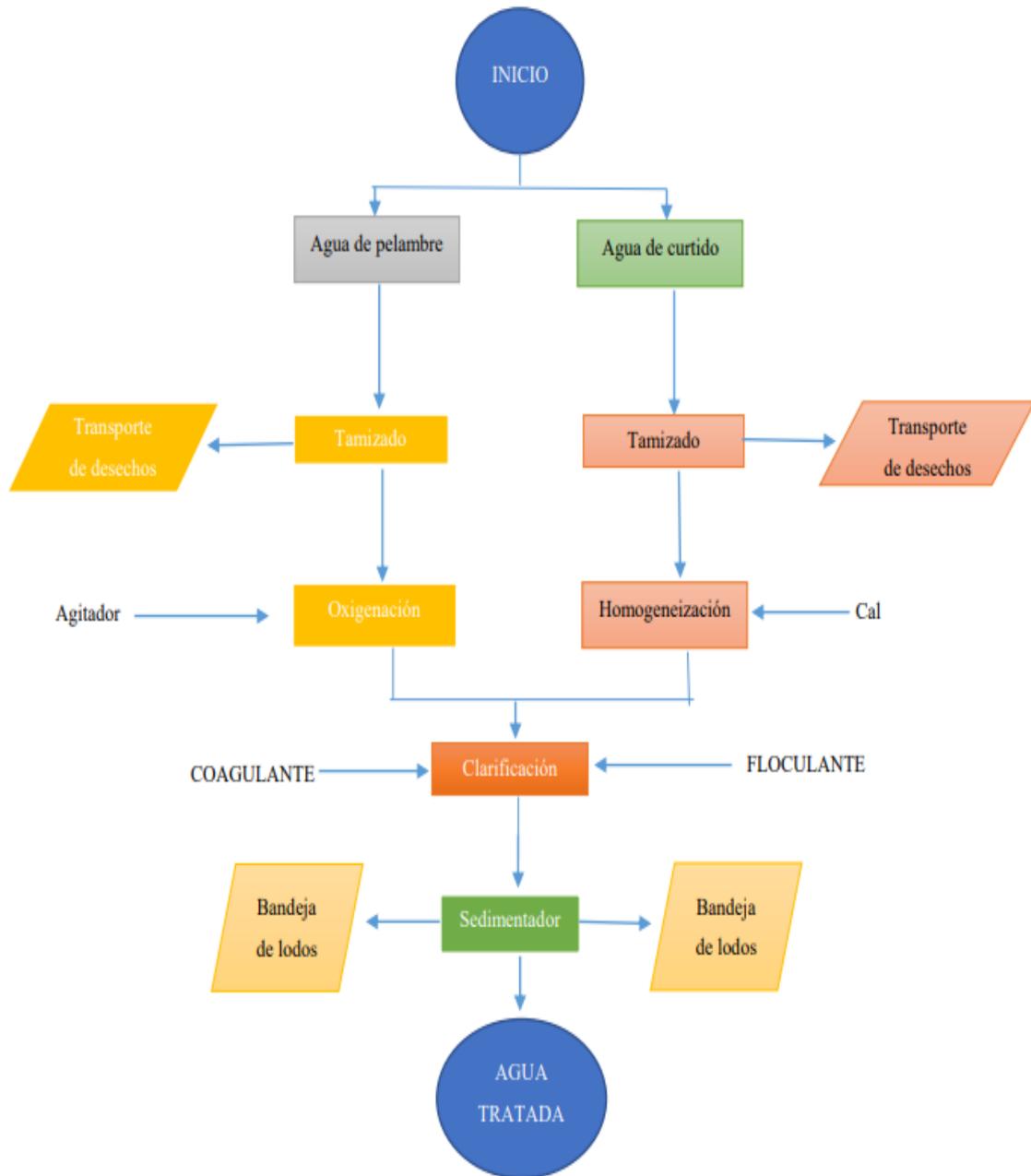
Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

Figura 1-4: Diagrama de proceso de la actual planta de tratamiento de aguas residuales en la curtiembre “América”



Realizado por: Gabriel Villagómez, 2021.

Figura 2-4: Diagrama del proceso de rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre “América”



Realizado por: Gabriel Villagómez, 2021.

4.3. Costos de implementación

4.3.1. Costo del rediseño del sistema de tratamiento de aguas del taller artesanal “América”

Tabla 10-4: Cotización del rediseño del sistema de tratamiento de aguas.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
Tanque Oxigenador				
Difusores	m	10	12	120
Tubo de acero al carbono SCH 40 ASTM-53 de 200mm (Longitud 6m)	Unidad	2	50	100
Codo 90° ASTM A234 WPB 8”	Unidad	4	20	80
Válvula de bola 8”	Unidad	2	80	160
Compresor 0,25 HP	Unidad	1	400	200
Tanque de Floculación y Coagulación				
Suministro e instalación de motor de 1HP	Unidad	1	200	200
Acero AISI 1018 L=1500mm, D=40mm (Eje)	Kg	40	0,80	32
Láminas de acero PL e=6mm (Paletas)	Kg	50	1	50
Rejillas				
Replanteo y nivelación	m ²	1	30	30
Rejillas metálicas	Unidad	10	20	200
Adecuación del cana	m ²	1	30	30
Tanque de sedimentación				
Replanteo H.S. 140 Kg/cm ²	m ²	3,4	15	51
Enlucido vertical con impermeabilización	m ²	5,5	16	88
Otros costos				
Sueldo para mano de obra (Responsable)	Unidad	2	600	1000

Sueldo para mano de obra (Operarios)	Unidad	3	400	1000
TOTAL (Sin sueldos)				3341

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

4.3.2. Costo de químicos

Tabla 11-4: Cotización de químicos

Descripción	Dosificación (kg/día)	Presentación (kg)	Costo unitario (\$)	Costo por día (\$)
Policloruro de aluminio (PAC)	3,14	25	36,40	4,57
Floculante aniónico	0,39	25	100,00	1,56
Cal	150	25	7,00	42
TOTAL				48,13

Realizado por: Villagómez Gabriel, 2021.

4.4. Análisis de resultados

Los resultados de la caracterización del agua arrojaron resultados con los que se realizó que la planta de tratamiento de aguas residuales actual del taller artesanal “América” no cumple con el objetivo de reducir las cargas contaminantes de los efluentes residuales de manera que se encuentren dentro de los límites máximos permisibles, según rige el Acuerdo Ministerial 0-97A, en la TABLA-8 de límite de descarga de aguas residuales al alcantarillado.

Con el índice de degradabilidad obtenido en la *Tabla 25-3*, se determinó el tipo de tratamiento para los efluentes, los cuales dieron como resultado que el efluente del agua de pelambre es muy biodegradable mientras que la de curtido es poco biodegradable, por lo cual se escogió un tratamiento físico-químico. La decisión de optar por un tratamiento físico-químico no fue tomada al azar, ya que hubo cuestionamiento acerca de que tratamiento aceptar, debido a la diferencia del índice de biodegradabilidad entre el agua de pelambre y curtido.

Se realizó la caracterización de los efluentes de dos procesos de la producción del cuero, dichos procesos son: pelambre y curtido. Los valores obtenidos por métodos y técnicas a nivel de laboratorio nos indican que los parámetros que no cumplen con la normativa son: DBO₅, DQO, pH, Sólidos sedimentables, Sólidos suspendidos, Sulfatos, Cromo hexavalente y Sulfuros.

Los resultados de la caracterización inicial del agua de pelambre son: Color 25800 Pt/Co 465mm; Conductividad 16,33 mS/cm; DBO₅ 9600 mg/L; DQO 16500 mg/L; pH 11,8; Sólidos sedimentables 275 mg/L; Sólidos suspendidos 480 mg/L; Sólidos disueltos totales (TDS) 12,38

mg/L; Sulfuros 420 mg/L; Temperatura 19,5°C y Turbiedad 2600. Mientras que, para el agua de curtido, la caracterización inicial dio los siguientes resultados: Cromo hexavalente 0,72 mg/L; Color 2020 Pt/Co 465mm; Conductividad 45,28 mS/cm; DBO₅ 550 mg/L; DQO 4250 mg/L; pH 4,02; Sólidos sedimentables 23 mg/L; Sólidos suspendidos 350 mg/L; Sólidos disueltos totales (TDS) 28,07 mg/L; Sulfatos 13400 mg/L; Temperatura 18,8°C y Turbiedad 4360.

Para la tratabilidad del agua de pelambre, se sometió a una aireación en una cuba durante 24 horas con un motor de pecera, hubo una gran diferencia desde el primer instante al momento de realizar la prueba de jarras, se pudo demostrar que el agua que se había sometido a aireación por 24 horas demostraba una mejor eficiencia ya que el agua se veía mucho más cristalina que la que no había sido sometida a aireación, ambas jarras fueron puestas una frente a otra y se les agregó la misma dosificación de coagulante y floculante especificados en la *Tabla 31-3* y *Tabla 33-3*.

En cuanto al agua de curtido, no se sometió a aireación, se la trabajó directamente aplicándole cal para reducirle el pH y lograr el efecto de sedimentación en el cual se separan los lodos del agua y se dirigen hacia el fondo del vaso, después de que ha sedimentado por 24 horas, se separa cuidadosamente el agua de los lodos, los lodos se dejan a secar y podrían ser sujetos a estudio de otro análisis, pero en este proyecto no fue el caso. Después se somete a prueba de jarras y se le añade la dosis especificada de coagulante y floculante en la *Tabla 32-3* y *Tabla 34-3*.

Después de las pruebas de tratabilidad del agua de pelambre los resultados de la caracterización final fueron: Color 56 Pt/Co 465mm; Conductividad 4,116 mS/cm; DBO₅ 430 mg/L; DQO 570 mg/L; pH 7,72; Sólidos sedimentables 10 mg/L; Sólidos suspendidos 55 mg/L; Sólidos disueltos totales (TDS) 2,028 mg/L; Sulfuros 102 mg/L; Temperatura 19,5°C y Turbiedad 12. Mientras que para el agua de curtido la caracterización final del efluente es: Cromo hexavalente 0,084 mg/L; Color 70 Pt/Co 465mm; Conductividad 5,19 mS/cm; DBO₅ 400 mg/L; DQO 1011 mg/L; pH 7,55; Sólidos sedimentables 7 mg/L; Sólidos suspendidos 37 mg/L; Sólidos disueltos totales (TDS) 8,66 mg/L; Sulfatos 1000 mg/L; Temperatura 18,8°C y Turbiedad 16,2.

En la *Tabla 3-4* y *Tabla 4-4* de porcentaje de remoción, se puede demostrar que casi todos los parámetros se encuentran dentro de la norma después del tratamiento, sin embargo, los valores de DBO₅, DQO, Sulfatos y Sulfuros exceden los límites, no obstante, el porcentaje de remoción es muy elevado lo cual demuestra la eficiencia del tratamiento de los efluentes.

CONCLUSIONES

- Se determinó las características físico-químicas de los efluentes del agua residual proveniente del proceso de pelambre y de curtido, de acuerdo a los valores obtenidos se determinó que los parámetros que exceden los límites máximos permisibles de descarga al alcantarillado según el Acuerdo Ministerial 0-97A, TABLA 8 son: DBO₅ 9600 mg/L; DQO 16500 mg/L; pH 11,8; Sólidos sedimentables 275 mg/L; Sólidos suspendidos 480 mg/L y Sulfuros 420 mg/L. Mientras que para el agua de curtido: Cromo hexavalente 0,72 mg/L; DBO₅ 550 mg/L; DQO 4250 mg/L; pH 4,02; Sólidos sedimentables 23 mg/L; Sólidos suspendidos 350 mg/L; Sulfatos 13400 mg/L. Todos estos son parámetros que sobrepasan los límites por lo cual representan un peligro hacia el entorno.
- Las variables de proceso identificadas son: el caudal, la temperatura del agua que llega a los bombos, el factor de seguridad, la temperatura, viscosidad cinemática, densidad, y gradiente de velocidad del fluido.
- Mediante los cálculos de ingeniería se realizó el dimensionamiento de los equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales, por lo cual se determinó que: el caudal de diseño para el agua de pelambre es 0,91 L/s y para curtido 0,803 L/s. El diseño de las rejillas debe contar con un área libre de paso del agua de 0,0038 m², longitud de las barras de 0,304 m y se recomiendan 6 barras. Para el tanque oxigenador se determinó un volumen de 33,3 m³ y su caudal de aire en función al DBO₅ es 80,71 m³/min, presión hidrostática y absoluta de 4,25 psi y 18,95 psi respectivamente, la temperatura de salida del aire debe ser de 52,75°C y la potencia del compresor de 0,25 HP. El tanque oxigenador contará con un difusor de aire, el mismo que debe contar con 6 orificios de 0,01 m de diámetro. Para el tanque en el que actualmente se realiza la floculación y coagulación se determinó un volumen de 38,85 m³ y las paletas de su sistema de agitación deben tener 0,84 m de alto y de largo. La potencia aplicada al agua es de 29,39 HP y la velocidad de rotación 78 RPM.
- Para validar el diseño, es decir, para determinar su eficiencia se realizó la caracterización final de los efluentes de pelambre y curtido para demostrar sus nuevos valores y comprobar si están dentro de la normativa ambiental vigente, los resultados demuestran que, para el agua de pelambre, el DQO, DBO₅ y los Sulfuros siguen estando fuera de la norma, pero su porcentaje de remoción es de 96,54%; 95,52%; y 75,71% respectivamente. Mientras que, para el agua de curtido, el DQO, DBO₅ y Sulfatos siguen estando fuera de los límites, siendo el porcentaje de remoción obtenido a nivel de laboratorio de 76,22%; 27,27% y 92,54% respectivamente, para el agua de curtido los valores de DBO y DQO no exceden los límites por mucho, mientras que los sulfatos mostraban un excedente preocupante en su valor, después del tratamiento se

logró remover casi el 93% de ellos, lo cual es un buen signo ya que los sulfuros son compuestos altamente tóxicos y cancerígenos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar la planta de tratamiento propuesta, ya que con el sistema actual de la empresa se ha demostrado que no se están cumpliendo los objetivos de depurar el agua a un punto que pueda ser descargada al alcantarillado cumpliendo todos los parámetros según el Acuerdo Ministerial 0-97A de límites de descarga al alcantarillado.
- Es muy importante limpiar periódicamente los tanques de oxigenación y de floculación, ya que, cualquier componente que se quede en el tanque puede reaccionar con algún agente externo o con los componentes de la misma agua que se trata en los mismos.
- Hay que cambiar las tuberías regularmente ya que por efectos de la corrosión o por desgaste, se puede tener problemas de operación en caso de la ruptura o abolladura de alguna de estas tuberías, así mismo, se debe cambiar la tubería de descarga al alcantarillado.
- Debido a que la curtiembre se encuentra en un clima frío, el mantenimiento de la planta debe hacerse aproximadamente cada 90 días, en climas más cálidos y húmedos es recomendable realizarlo cada 30 días, ya que, en esas condiciones, los microorganismos crecen más rápido y son más fuertes.
- Un consejo muy útil es calcular los caudales con días de anticipación para empezar la construcción del sistema de tratamiento para que no existan variaciones importantes en los cálculos de ingeniería.

BIBLIOGRAFÍA

ACUERDO MINISTERIAL 097-A, TABLA 8. Límites de descarga de aguas residuales al alcantarillado. Quito-Ecuador. 2015.

AGUILAR, G., *Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la curtiembre Quisapincha, provincia de Tungurahua* [en línea]. 2016, p. 28 – 38. Recuperado el 18 de enero del 2021. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6474>

BENITÉZ, N & ORDOÑEZ, D. *Remoción de cromo trivalente en aguas residuales de curtiembres mediante un proceso biótico-abiótico* [en línea]. 2019, Vol. 35, p. 57. Recuperado el 16 de enero del 2021. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/370/37066309013/html/>

BULJAN, J & KRAL, I., *Introduction to treatment of tannery effluents* [en línea]. 2011, p. 7 - 16. Recuperado el 16 de enero del 2021. Disponible en: https://www.unido.org/sites/default/files/2011/Introduction_to_treatment_of_tannery_effluents_0.pdf.

CABANILLA, F., *Medición de fluidos en canales abiertos con vertederos* [en línea]. 2015. Recuperado el 18 de febrero del 2021. Disponible en: <http://documents.mx/documents/medicion-de-fluidos-en-canales-abiertos-con-vertederoscorregidodocx.html>

CASTILLO, C & QUIJANO, A., *Potencial mutagénico y genotóxico de aguas residuales de la curtiembre Tasajero en la ciudad de Cúcuta, Norte de Santander, Colombia.* [en línea]. 2015. Vol. 18, Num. 1, p. 27. Recuperado el 14 de enero del 2021. Disponible en: <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/449>

CASTRO. *Análisis técnico ambiental del proceso de la curtiduría serrano de la ciudad Ambato y diseño de la planta de tratamiento de las aguas residuales.* Quito: SN. 2013

EDDY, M., *Ingeniería de Aguas Residuales* (tercera ed.). Madrid-España: McGraw-Hill. 1995.

GUZMÁN, K & LUJÁN, M., *Pelambre en el proceso de curtido de pieles* [en línea]. 2010, Vol. 4, p. 464-492. Recuperado el 14 de enero del 2021. Disponible en: <http://www.scielo.org/bo/pdf/ran/v4n4/v4n4a02.pdf>

MENCÍAS, E & MAYERO, L., *Manual de toxicología básica* [en línea]. 2000, p. 23. Recuperado el 16 de enero del 2021. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/9405/1/UPS-QT07099.pdf>

METCALF., & EDDY., *Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización*, 3ra. ed. Madrid-España, Editorial Mc Graw-Hill Interamericana, 1995., Pp. 503 – 682

RAMALHO, R., *Tratamiento de Aguas Residuales*, 2da. ed. Quebec – Canadá, Editorial Reverte S.A, 1993, pp. 85-100

ROJAS, R., *Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. CEPIS/OPS/05.168 -OMS. Curso internacional: “Gestión Integral de tratamiento de aguas residuales”. Lima-Perú, 2005. pp. 1718

ROMERO, J., *Tratamiento de efluentes residuales, Teoría y Principios de Diseño*, 3ra Ed. Bogotá-Colombia, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002, Pp.38-54; 68-305; 375390; 441

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

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

TERENCE, J., *Abastecimiento de Agua y Alcantarillado*, 1era. ed. Bogotá – Colombia., McGraw – Hill Interamericana., 2000., Pp. 420.

ANEXOS

ANEXO A: ACUERDO MINISTERIAL 097-A, TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES AL ALCANTARILLADO.

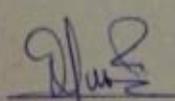
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Cínc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE

Parámetro	Unidad	Método*	Límite máximo permisible**	Resultados
Temperatura	°C	2550-A	<40	19,5
Color	Unidades de Pt/Co	8025-A	-	25 800
pH	-	4500-B	6-9	11,8
Turbiedad	NTU	2130-B	-	2 600
Conductividad	mS/cm	2510-B	-	16,33
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-C	220	480
Sólidos sedimentables	mL/L	2540-B	20	275
Sólidos disueltos totales (TDS)	g/L	2540-C	-	10,12
Sulfuros (S)	mg/L	4500-S ² -E	1	420
DQO	mg/L	5220-C	500	16 500
DBO ₅ (5 días)	mg/L	5210-B	250	9 600

* Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.
** Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Tabla 9.

Atentamente



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. CALIDAD DE AGUA

ANEXO C: CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL AGUA 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 ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Gabriel Alejandro Villagómez Galán

Fecha de Análisis: 08/03/2021

Tipo de muestra: Agua residual del proceso de curtido sin tratar, Taller artesanal "América"

Localidad: Parroquia Pishilata - Cantón Ambato - Provincia de Tungurahua

TRABAJO DE TITULACIÓN

Parámetro	Unidad	Método*	Límite máximo permisible**	Resultados
Temperatura	°C	2550-A	<40	18,8
Color	Unidades de Pt/Co	8025-A	-	2 020
pH	pH	4500-B	6-9	4,02
Turbiedad	NTU	2130-B	-	4 360
Conductividad	mS/cm	2510-B	-	45,28
Sólidos Suspendidos	mg/L	2540-C	220	350
Sólidos sedimentables	mL/L	2540-B	20	23
Sólidos disueltos totales (TDS)	g/L	2540-C	-	28,07
Cromo hexavalente	mg/L	HACH-8023	0,5	0,72
Sulfatos	mg/L	4500-SO4-E	400	13 400
DQO	mg/l	5220-C	500	4 250
DBO ₅ (5 días)	mg/L	5210-B	250	550

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

** Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Tabla 9.

Atentamente

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DE AGUA

ANEXO D: CARACTERIZACIÓN FINAL DEL AGUA RESIDUAL 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 ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Gabriel Alejandro Villagómez Galán

Fecha de Análisis: 12/03/2021

Tipo de muestra: Agua residual del proceso de pelambre tratado, Taller artesanal "América"

Localidad: Parroquia Pishilata - Cantón Ambato - Provincia de Tungurahua

TRABAJO DE TITULACIÓN

Parámetro	Unidad	Método*	Límite máximo permisible**	Resultados
Temperatura	°C	2550-A	<40	19,5
Color	Unidades de Pt/Co	8025-A	-	56
pH	-	4500-B	6-9	7,72
Turbiedad	NTU	2130-B	-	12
Conductividad	mS/cm	2510-B	-	4,116
Sólidos Suspendedos	mg/L	2540-C	220	55
Sólidos sedimentables	mL/L	2540-B	20	10
Sólidos disueltos totales (TDS)	g/L	2540-C	-	2,55
Sulfuros (S)	mg/L	4500-S ²⁻ -E	1	102
DQO	mg/L	5220-C	500	570
DBO ₅ (5 días)	mg/L	5210-B	250	430

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

** Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Tabla 9.

Atentamente

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DE AGUA

ANEXO E: CARACTERIZACIÓN FINAL DEL AGUA RESIDUAL DE CURTIDO



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

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

Casilla 06-01-4703

Teléfono 2998 200 ext. 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Gabriel Alejandro Villagómez Galán

Fecha de Análisis: 12/03/2021

Tipo de muestra: Agua residual del proceso de curtido tratado, Taller artesanal "América"

Localidad: Parroquia Pishilata - Cantón Ambato - Provincia de Tungurahua

TRABAJO DE TITULACIÓN

Parámetro	Unidad	Método*	Límite máximo permisible**	Resultados
Temperatura	°C	2550-A	<40	18,8
Color	Unidades de Pt/Co	8025-A	-	70
pH	pH	4500-B	6-9	7,55
Turbiedad	NTU	2130-B	-	16,2
Conductividad	mS/cm	2510-B	-	5,19
Sólidos Suspendedos	mg/L	2540-C	220	37
Sólidos sedimentables	mL/L	2540-B	20	7
Sólidos disueltos totales (TDS)	g/L	2540-C	-	3,21
Cromo hexavalente	mg/L	HACH-8023	0,5	0,084
Sulfatos	mg/L	4500-SO4-E	400	1 000
DQO	mg/L	5220-C	500	1 011
DBO ₅	mg/L	5210-B	250	400

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

** Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Tabla 9.

Atentamente

Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. CALIDAD DE AGUA

ANEXO F: DOCUMENTOS DEL TALLER ARTESANAL "AMÉRICA"



ROBERTO GUANINA
PROPIETARIO
CALLES: LAS INGAPURCA Y LA ROTONDA
C.D.A.: AMERICA BUEN PASTOR
TELÉFONOS: 2400270-0907570070
AMATO-ECUADOR

Ambato, 24 de diciembre del 2020

Doctor
Bolívar Flores Mg.
**PRESIDENTE DE LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
DE LA CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

Presente. –

De mi consideración:

Remito a usted un cordial y atento saludo, a su vez deseándole éxitos en sus delicadas funciones, me dirijo a usted para poner en conocimiento que, el "TALLER ARTESANAL DE CUEROS TERMINADOS DE CUERO 'AMÉRICA'" apoya a la ejecución del Trabajo de Integración Curricular denominado "REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL TALLER ARTESANAL DE CUEROS TERMINADOS DE CUERO 'AMÉRICA' DE LA PARROQUIA PISHILATA-TUNGURAHUA" que realizará el Sr. Gabriel Alejandro Villagómez Galán con C.I. 060421266-2 y código estudiantil 984549, 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 Integración Curricular, aceptando todas aquellas actividades que se prevean realizar con nuestro apoyo, otorgo de esta manera el aval para la realización del mismo.

Agradezco anticipadamente su favorable atención.

Atentamente,

Sr. Alex Roberto Guanina Supe
C.I.180227516-2
Gerente Propietario del Taller Artesanal de Cueros "América"

ANEXO G: ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA



ANEXO H: PRUEBAS DE TRATABILIDAD A NIVEL DE LABORATORIO

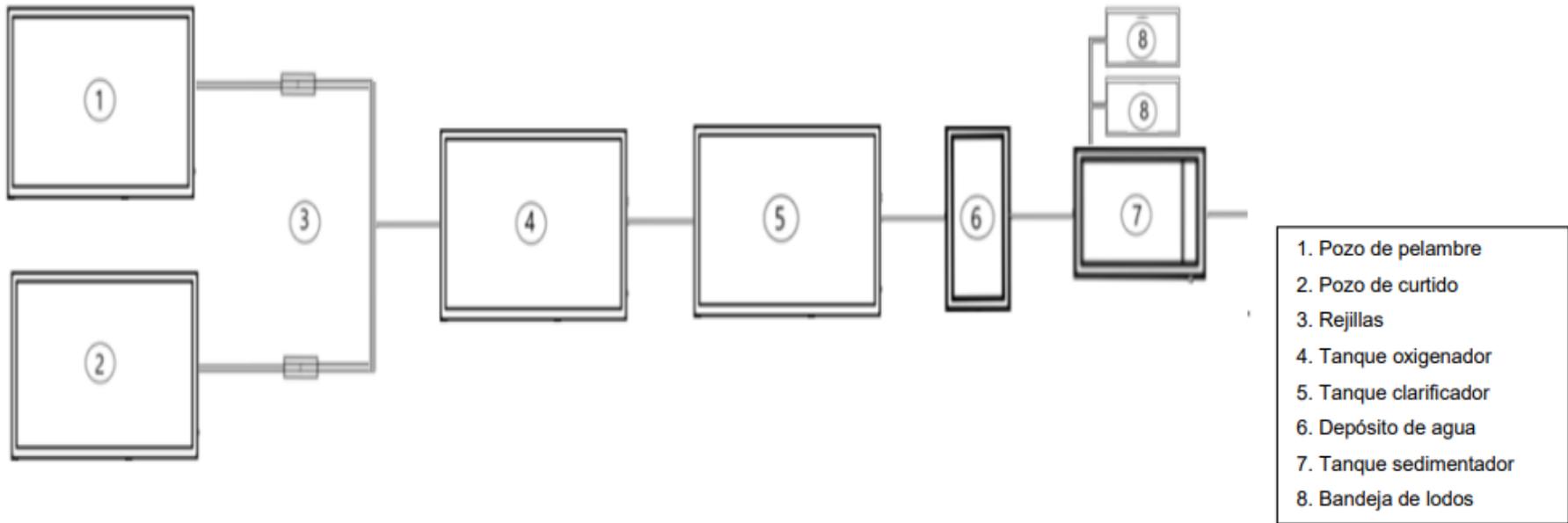


ANEXO I: ANTES Y DESPUÉS DEL TRATAMIENTO DE AGUA



ANEXO J: DIAGRAMA DEL REDISEÑO DE LA PLANTA

PLANTA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES



Notas:

A. Vista aérea

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA:

CERTIFICADO
APROBADO
POR APROBAR

POR ELIMINAR
POR CALIFICAR
INFORMACIÓN

ESPOCH
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA
GABRIEL ALEJANDRO VILLAGÓMEZ

REDISEÑO DEL SISTEMA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE
"AMÉRICA"

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**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: 11 / 10 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: <i>Gabriel Alejandro Villagómez Galán</i>
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: <i>Ciencias</i>
Carrera: <i>Ingeniería Química</i>
Título a optar: <i>Ingeniero Químico</i>
f. Analista de Biblioteca responsable: <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>

**LEONARDO
FABIO MEDINA
NUSTE**

Firmado digitalmente
por LEONARDO FABIO
MEDINA NUSTE
Fecha: 2021.10.11
16:31:29 -05'00'



1865-DBRA-UTP-2021