



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA**

**“REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA BRITO DE LA  
PARROQUIA ATAHUALPA - TUNGURAHUA”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: RENÉ ALEXIS TELENCHANO MANOBANDA**

Riobamba – Ecuador

2022



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

**“REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA BRITO DE LA PARROQUIA  
ATAHUALPA - TUNGURAHUA”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: RENÉ ALEXIS TELENCHANO MANOBANDA**

**DIRECTOR: ING. CÉSAR ARTURO PUENTE GUIJARRO, PhD.**

Riobamba – Ecuador

2022

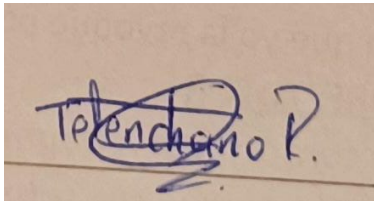
© 2022, René Alexis Telenchano Manobanda

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

Yo, Rene Alexis Telenchano Manobanda 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 otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 21 de Enero del 2022

A photograph of a handwritten signature in blue ink on a light brown, textured surface. The signature is written in a cursive style and reads "Telenchano R.". There is a horizontal line drawn across the bottom of the signature.

**René Alexis Telenchano Manobanda**

**060517428-3**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERIA QUIMICA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto técnico, “**REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA BRITO DE LA PARROQUIA ATAHUALPA – TUNGURAHUA**”, realizado por el señor: **RENÉ ALEXIS TELENCHANO MANOBANDA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Segundo Hugo Calderón, Mgs.

\_\_\_\_\_

2022-01-21

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. César Arturo Puente Guijarro, PhD.

\_\_\_\_\_

2022-01-21

**DIRECTOR DE TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Ing. Mayra Paola Zambrano Vinuesa, Mgs,

\_\_\_\_\_

2022-01-21

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se lo dedico primeramente a Dios, por darme las fuerzas para continuar en el proceso de aprendizaje tanto académico como personal.

A mi madre por el cariño, el amor que me brindo durante estos años, gracias a ella he logrado culminar mis estudios y convertirme en lo que soy.

A mis hermanos, por estar siempre apoyándome moralmente durante el transcurso de mi carrera profesional.

A mi mujer y mi hijo Liam Telenchano quienes han sido mi inspiración y fortaleza para seguir en el proceso de obtener uno de los anhelos más deseados en lo académico.

Alexis

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco infinitamente a Dios y a mi familia por el apoyo incondicional, en especial a mi madre por la confianza, apoyo, cariño el cual fue un pilar fundamental para poder cumplir mi sueño de conseguir una carrera a nivel profesional.

Un sincero agradecimiento a la empresa “CURTIDURÍA BRITO” en especial a la Sra. Landy Brito Gerente de la misma por su valiosa ayuda y brindarme la apertura para que se lleve a cabo este proyecto.

De igual manera a mi director de trabajo de titulación el Ing. Cesar Arturo Puente Guijarro como también al Miembro la Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza, quienes fueron un apoyo incondicional durante la realización del proyecto estipulado.

Mi profundo agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y en especial a la Facultad de Ciencias – Escuela de Ingeniería Química, por formar profesionales competitivos en el ámbito profesional y académico.

Alexis

## TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE ABREVIATURAS.....	x
INDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xvii
RESUMEN.....	xviii
SUMMARY .....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1. <b>DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA</b> .....	2
1.1. <b>Antecedentes</b> .....	2
1.2. <b>Justificación de problema</b> .....	2
1.3. <b>Beneficiarios directos e indirectos</b> .....	3
1.3.1. <i>Directos</i> .....	3
1.3.2. <i>Indirectos</i> .....	3
1.4. <b>Localización del proyecto</b> .....	4
1.5. <b>Objetivos</b> .....	5
1.5.1. <i>Objetivo general</i> .....	5
1.5.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	5
CAPÍTULO II.....	6
2. <b>REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS</b> .....	6
2.1. <b>Antecedentes de la Curtiduría “Brito”</b> .....	6
2.1.1. <b>Proceso de producción de la Curtiduría “Brito”</b> .....	8
2.1.1.1. <i>Recepción de las pieles</i> .....	9
2.1.1.2. <i>Ribera</i> .....	9
2.1.1.3. <i>Etapas de Curtido</i> .....	11
2.1.1.4. <i>Secado y almacenamiento</i> .....	12
2.1.2. <b>Productos químicos utilizados en los procesos de curtición</b> .....	14
2.2.1. <i>Aguas residuales</i> .....	14
2.2.2. <i>Tipos de aguas residuales</i> .....	14



<b>2.2. Marco teórico.....</b>	<b>14</b>
2.2.1. Aguas residuales.....	14
2.2.2. Tipos de aguas residuales.....	14
2.2.3. <i>Parámetros de caracterización para aguas residuales procedentes del proceso de curtiembre.....</i>	<i>15</i>
2.2.3.1. <i>Parámetros físicos.....</i>	<i>15</i>
2.2.3.2. <i>Parámetros químicos.....</i>	<i>16</i>
2.2.4. <i>Tratamientos de aguas residuales procedentes del proceso de pelambre.....</i>	<i>16</i>
2.2.4.1. <i>Tratamiento preliminar.....</i>	<i>16</i>
2.2.4.2. <i>Tratamiento primario.....</i>	<i>17</i>
2.2.4.3. <i>Tratamiento secundario.....</i>	<i>17</i>
2.2.4.4. <i>Tratamiento terciario.....</i>	<i>18</i>
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>19</b>
<b>3. MARCO METODOLOGICO.....</b>	<b>19</b>
3.1. <b>Ingeniería del Proyecto .....</b>	<b>19</b>
3.1.1. <i>Tipo de estudio.....</i>	<i>19</i>
3.1.2. <i>Métodos y Técnicas.....</i>	<i>19</i>
3.1.2.1. <i>Métodos.....</i>	<i>19</i>
3.1.2.2. <i>Técnicas.....</i>	<i>20</i>
3.1.3. <i>Muestreo .....</i>	<i>24</i>
3.1.4. <i>Estado actual del sistema de tratamiento de agua residual en la curtiduría “Brito”<sup>24</sup></i>	<i>24</i>
3.1.5. <i>Datos experimentales.....</i>	<i>26</i>
3.1.5.1. <i>Determinación del caudal.....</i>	<i>27</i>
3.1.6. <i>Caracterización físico-química de las aguas residuales procedentes de la etapa de pelambre en la Curtiduría “Brito” .....</i>	<i>27</i>
3.1.7. <i>Índice de biodegradabilidad .....</i>	<i>28</i>
3.1.8. <i>Pruebas de tratabilidad.....</i>	<i>29</i>
3.1.8.1. <i>Selección del coagulante.....</i>	<i>29</i>
3.1.8.2. <i>Determinación de la concentración ideal de Fe Cl<sub>3</sub> para agua de pelambre.....</i>	<i>30</i>
3.1.8.3. <i>Selección del floculante.....</i>	<i>31</i>
3.1.8.4. <i>Determinación de la concentración ideal de floculantes polielectrolito aniónico 2%.....</i>	<i>32</i>
3.1.8.5. <i>Resultados finales de las pruebas de jarras.....</i>	<i>32</i>
3.1.9. <i>Cálculos de ingeniería .....</i>	<i>33</i>
3.1.9.1. <i>Cálculo del caudal de diseño.....</i>	<i>33</i>
3.1.9.2. <i>Diseño del canal de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales.....</i>	<i>34</i>
3.1.9.3. <i>Dimensionamiento del tanque de aireación.....</i>	<i>39</i>

3.1.9.4. Dimensionamiento del tanque de coagulación y floculación.....	44
3.1.9.5. Dimensionamiento del sedimentador rectangular.....	48
3.1.9.6. Dimensionamiento del sistema de filtrado.....	52
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>57</b>
<b>4. RESULTADOS.....</b>	<b>57</b>
<b>4.1. Resultados del dimensionamiento del rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría “Brito” .....</b>	<b>57</b>
<b>4.2. Resultados de la tratabilidad del agua de pelambre de la curtiduría Brito .....</b>	<b>59</b>
4.2.1. <i>Análisis de la remoción de la Demanda Química de Oxígeno.....</i>	60
4.2.2. <i>Análisis de la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno .....</i>	61
4.2.3. <i>Análisis de la remoción de los sólidos totales .....</i>	61
4.2.4. <i>Análisis de la remoción de los sólidos suspendidos totales .....</i>	62
4.2.5. <i>Análisis de la remoción de los sólidos sedimentables.....</i>	63
4.2.6. <i>Análisis de la remoción de los sulfuros .....</i>	64
4.2.7. <i>Análisis del cambio de potencial de hidrógeno .....</i>	66
4.2.8. <i>Análisis de la remoción de color, turbiedad y conductividad.....</i>	67
<b>4.3. Análisis de costos del proyecto .....</b>	<b>67</b>
<b>4.4. Discusión de resultados .....</b>	<b>69</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>71</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>72</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## INDICE DE ABREVIATURAS

$Q_d$	Caudal de diseño
$Q_{pelambre}$	Caudal de pelambre real
$f_s$	Factor de seguridad
$A_c$	Área del canal
$b$	Ancho del canal
$h$	Altura del canal hasta el agua,
$R_h$	Radio hidráulico
$v_m$	Velocidad media de la corriente que circula por el canal
$n$	Coefficiente de Manning
$S$	Gradiente hidráulico
$h_{máx}$	Altura máxima de agua
$H_c$	Altura total del canal
$h_s$	Altura de seguridad
$L_b$	Longitud de las barras
$L_b$	Longitud de las barras
$\theta$	Ángulo de inclinación
$N_b$	Número de barras
$s$	Separación entre barras
$e$	Espesor máximo de las barras
$n_{máx}$	Nivel máximo de agua
$v_m$	Velocidad media de la corriente por el canal
$L_s$	Longitud sumergida de las barras
$h_c$	Pérdida de carga a través de las rejillas
$\beta$	Coefficiente de pérdida de rejillas
$g$	Gravedad
$V_{ta}$	Volumen del tanque de aireación
$H_{ta}$	Altura del tanque de aireación
$L_{ta}$	Longitud del tanque de aireación
$b_{ta}$	Ancho del tanque de aireación
$Q_{aire}$	Caudal de aire necesario para degradar el DBO <sub>5</sub>
$DBO_5$	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
$P_{ha}$	Presión hidrostática del agua
$\rho$	Densidad del agua

$P_a$	Presión absoluta
$P_{ha}$	Presión hidrostática del agua
$P_{atm}$	Presión atmosférica
$T_a$	Temperatura ambiente
$\eta$	Eficiencia compresor
$T_s$	Temperatura de salida del aire
$\Delta T_{ad}$	Variación térmica del compresor
N	Número de difusores
$D_{MnSO_4}$	Dosis óptima de sulfato de manganeso
$V_d$	Volumen de diseño
$C_1$	Concentración de dosis óptima de $MnSO_4$
$V_{CF}$	Volumen del tanque de coagulación y floculación
$H_{CF}$	Altura del tanque de coagulación y floculación
$L_{CF}$	Longitud del tanque de coagulación y floculación
$b_{CF}$	Ancho del tanque de coagulación y floculación
L	Longitud de la paleta del impulsor
$D_{CM}$	Diámetro de la cámara de mezcla
W	Alto de la paleta
P	Potencia del motor
G	Gradiente de velocidad
$\mu$	Viscosidad dinámica del agua a 20°C
$D_T$	Diámetro de turbina
$C_{FeCl_3}$	Concentración de $FeCl_3$
$C_2$	Concentración de $FeCl_3$ en la dosificación óptima
$V_{FeCl_3}$	Volumen de la dosificación
$V_2$	Volumen de la dosificación óptima de la solución,
$D_{FeCl_3}$	Dosis óptima de cloruro férrico
$C_F$	Concentración de floculante aniónico
$C_3$	Concentración de floculante aniónico en la dosificación óptima,
$V_F$	Volumen de la dosificación
$V_3$	Volumen de la dosificación óptima de la solución
$D_F$	Dosis óptima de floculante aniónico
$A_o$	Área superficial de la unidad
$V_o$	Velocidad inicial de paso entre orificios
D	Diámetro del orificio,
$n_o$	Número de orificios

$a_o$	Área de cada orificio
$L$	Longitud del sedimentador
$B$	Ancho del sedimentador
$H$	Altura del sedimentador
$V$	Volumen del sedimentador
$V_s$	Velocidad de sedimentación, m/s
$A_s$	Área superficial en la zona de sedimentación
$T_o$	Periodo de retención
$H_{max}$	Altura máxima del sedimentador
$Q_f$	Caudal de filtrado
$n_f$	Número de filtros
$A_f$	Área del filtro
$T_f$	Tasa de filtración
$K_c$	Coefficiente de costo mínimo
$B_f$	Ancho del filtro
$L_f$	Largo del filtro
$H_f$	Altura del lecho filtrante
$e_g$	Espesor de grava fina
$e_z$	Espesor zeolita
$e_{ca}$	Espesor carbón activado
$e_{a1}$	Espesor arena de mar
$e_{a2}$	Espesor arena de río
$Z_f$	Altura del filtro, m
$F_c$	Altura de drenaje
$C_a$	Altura de agua sobre el lecho
$C_s$	Altura de grava

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Localización geográfica de la curtiduría "Brito" .....	4
<b>Tabla 1-2:</b> Servicios utilizados por la curtiduría "Brito" .....	7
<b>Tabla 2-2:</b> Variables a controlar en el proceso de pelambre .....	10
<b>Tabla 3-2:</b> Productos químicos utilizados en el proceso de curtición en la Curtiduría "Brito" ....	14
<b>Tabla 4-2:</b> Parámetros químicos para caracterizar aguas residuales .....	16
<b>Tabla 5-2:</b> Operaciones del pre-tratamiento.....	16
<b>Tabla 6-2:</b> Operaciones del tratamiento primario .....	17
<b>Tabla 1-3:</b> Medición del caudal.....	20
<b>Tabla 2-3:</b> Determinación de turbiedad.....	20
<b>Tabla 3-3:</b> Determinación de potencial de hidrógeno .....	21
<b>Tabla 4-3:</b> Determinación de conductividad .....	21
<b>Tabla 5-3:</b> Determinación de Sólidos Totales .....	21
<b>Tabla 6-3:</b> Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) .....	22
<b>Tabla 7-3:</b> Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	23
<b>Tabla 8-3:</b> Recolección de muestras de la etapa de pelambre .....	24
<b>Tabla 9-3:</b> Dimensiones del antiguo sistema de filtrado .....	25
<b>Tabla 10-3:</b> Dimensiones del antiguo sistema de dosificación .....	25
<b>Tabla 11-3:</b> Dimensiones antiguas del sistema de filtrado 2.....	26
<b>Tabla 12-3:</b> Dimensiones antiguas del sistema de cloración.....	26
<b>Tabla 13-3:</b> Caudal del agua de pelambre de la curtiduría "Brito" .....	27
<b>Tabla 14-3:</b> Resultados de la caracterización inicial del agua residual de la etapa de pelambre ..	27
<b>Tabla 15-3:</b> Criterios de biodegradabilidad según la relación entre $DBO5DQO$ .....	28
<b>Tabla 16-3:</b> Resultados de la relación de $DBO5DQO$ .....	28
<b>Tabla 17-3:</b> Dosificación de diferentes coagulantes para agua de pelambre .....	29
<b>Tabla 18-3:</b> Determinación de concentración de $FeCl_3$ 1% para agua de pelambre.....	30
<b>Tabla 19-3:</b> Selección del floculante ideal para el agua de pelambre .....	31
<b>Tabla 20-3:</b> Determinación de concentración de floculante aniónico 2% para agua de pelambre	32
<b>Tabla 21-3:</b> Caracterización del agua residual después de las pruebas de tratabilidad .....	32
<b>Tabla 22-3:</b> Coeficiente de rugosidad de Manning .....	35
<b>Tabla 23-3:</b> Consideraciones de diseño para rejillas de limpieza manual.....	37
<b>Tabla 24-3:</b> Coeficiente de pérdida de rejillas .....	38
<b>Tabla 25-3:</b> Características físico-químicas del agua residual .....	40
<b>Tabla 26-3:</b> Relación diámetro/caudal .....	43
<b>Tabla 27-3:</b> Parámetros de diseño para mezcladores de turbina .....	45
<b>Tabla 28-3:</b> Consideraciones de diseño para sedimentadores rectangulares.....	48

<b>Tabla 29-3:</b> Consideraciones de diseño del filtro.....	52
<b>Tabla 1-4:</b> Resultados de cálculo del caudal.....	57
<b>Tabla 2-4:</b> Resultados de dosificación .....	57
<b>Tabla 3-4:</b> Dimensiones del canal de entrada.....	57
<b>Tabla 4-4:</b> Dimensiones del sistema de rejillas de limpieza manual.....	57
<b>Tabla 5-4:</b> Dimensiones del tanque de aireación .....	58
<b>Tabla 6-4:</b> Dimensiones del tanque de coagulación y floculación.....	58
<b>Tabla 7-4:</b> Dimensiones del sedimentador rectangular .....	58
<b>Tabla 8-4:</b> Dimensiones del sistema de filtrado .....	59
<b>Tabla 9-4:</b> Porcentaje de remoción demanda química de oxígeno.....	60
<b>Tabla 10-4:</b> Porcentaje de remoción demanda bioquímica de oxígeno.....	61
<b>Tabla 11-4:</b> Porcentaje de remoción sólidos totales.....	62
<b>Tabla 12-4:</b> Porcentaje de remoción sólidos suspendidos totales .....	63
<b>Tabla 13-4:</b> Porcentaje de remoción sólidos sedimentables.....	64
<b>Tabla 14-4:</b> Porcentaje de remoción sulfuros.....	65
<b>Tabla 15-4:</b> Porcentaje de remoción potencial de hidrogeno .....	66
<b>Tabla 16-4:</b> Porcentaje de remoción color, turbiedad, conductividad.....	67
<b>Tabla 17-4:</b> Análisis costos de productos químicos .....	68
<b>Tabla 18-4:</b> Análisis costos de rediseño de PTAR.....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Ubicación geográfica de la Curtiduría "Brito" .....	4
<b>Figura 1-2:</b> Recepción de pieles.....	9
<b>Figura 2-2:</b> Bombos utilizados en etapa de ribera.....	9
<b>Figura 3-2:</b> Cuero por curtición vegetal.....	12
<b>Figura 4-2:</b> Cuero en procesos de secado.....	13
<b>Figura 5-2:</b> Cuero terminado.....	13
<b>Figura 1-3:</b> Sistema de filtrado.....	25
<b>Figura 2-3:</b> Sistema de cloración .....	26
<b>Figura 3-3:</b> Selección del coagulante .....	30
<b>Figura 4-3:</b> Dosis óptima de coagulante .....	31
<b>Figura 5-3:</b> Valores del coeficiente $\beta$ para rejillas .....	39
<b>Figura 6-3:</b> Sedimentador rectangular.....	48
<b>Figura 7-3:</b> Filtro utilizado.....	52



## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b> Plano de la planta de producción de la Curtiduría “Brito” .....	7
<b>Gráfico 2-2:</b> Diagrama del proceso de curtición realizado por la Curtiduría “Brito” .....	8
<b>Gráfico 1-4:</b> Comparativa de la Demanda Química de Oxígeno .....	60
<b>Gráfico 2-4:</b> Comparativa de la Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	61
<b>Gráfico 3-4:</b> Comparativa de sólidos totales .....	62
<b>Gráfico 4-4:</b> Comparativa sólidos suspendidos totales .....	63
<b>Gráfico 5-4:</b> Comparativa sólidos sedimentables.....	64
<b>Gráfico 6-4:</b> Comparativa de sulfuros.....	65
<b>Gráfico 7-4:</b> Comparativo pH .....	66
<b>Gráfico 8-4:</b> Comparativa color, conductividad y turbiedad.....	67

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**Anexo A:** Prueba de tratabilidad

**Anexo B:** Caracterización inicial del agua de pelambre

**Anexo C:** Aval de la curtiduría “Brito”

**Anexo D:** Oficio aclaratorio de reutilización del agua de curtido

**Anexo E:** Caracterización del agua de pelambre tratada

**Anexo F:** Propuesta de Rediseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la curtiduría Brito

## RESUMEN

El objetivo del presente estudio técnico fue el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría “Brito” de la parroquia Atahualpa – Tungurahua. Se inició con la caracterización del agua proveniente del proceso de pelambre, determinando que los parámetros de pH, DQO, DBO<sub>5</sub>, sulfuros, sólidos totales, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos superan los límites permisibles en la normativa del Acuerdo Ministerial 097-A tabla 8, límites de descarga al sistema de alcantarillado público. Para escoger el tratamiento ideal se utilizó el índice de biodegradabilidad teniendo un valor de 0,71 por lo que se realizó un tratamiento biológico y físico químico, en el proceso de tratabilidad se realizó aireación durante 8 horas y se añadió sulfato de manganeso al 5% con el fin de oxidar sulfuros, como coagulante se utilizó 5 ml de cloruro férrico al 1% y como floculante 0,5 ml de poli electrolito aniónico al 2%; los resultados evidenciaron una remoción de más del 90% en todos los parámetros mediante el uso. Posteriormente, se diseñó la planta de tratamiento en base a las variables y flujos de diseño de acuerdo a la capacidad de producción de la empresa, llegando a establecerse la necesidad de un canal de entrada con rejillas, tanque de aireación, seguido de uno de agitación, un sedimentador y finalmente un filtrado. Se recomienda que una vez implementado dicho sistema de tratamiento de aguas se establezca periodos de mantenimiento y caracterizaciones del agua residual con el fin de verificar la eficacia de la misma con el tiempo.

**Palabras clave:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA> <PROCESOS INDUSTRIALES>  
<CURTIDURIA> <AGUAS RESIDUALES> <FLOCULACIÓN>  
<AIREACIÓN> <SEDIMENTACIÓN>



Firmado electrónicamente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

1052-DBRA-UPT-2021

2021-04-22

## Abstract

The objective of this study was the design of a wastewater treatment system for the “Brito” tannery in Atahualpa - Tungurahua province. It began with the characterization of the water from the peeling process, determining that the parameters of pH, COD, BOD5, sulphides, total solids, sedimentable solids, suspended solids exceed the permissible limits in the regulations of Ministerial Agreement 097-A table 8 and are discharged into the public sewer system. To choose the ideal treatment, the biodegradability index was used, having a value of 0.71, so a biological and physical-chemical treatment was carried out. In the treatability process, aeration was carried out for 8 hours and 5% manganese sulphate was added to oxidize sulphides. 5 ml of 1% ferric chloride was used as a coagulant and 0.5 ml of 2% anionic polyelectrolyte as a flocculant. The results showed the removal of more than 90% in all parameters. Subsequently, the treatment plant was designed based on the variables and design flows according to the production capacity of the company, establishing the implementation of an inlet channel with grids, aeration tank, followed by an agitation channel, a settler and finally filtering. It is recommended that once the wastewater treatment system is implemented, maintenance periods and characterizations of the wastewater be established to verify its effectiveness over time.

Keywords: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY> <INDUSTRIAL PROCESSES> <CURTIDURIA> <WASTEWATER> <FLOCCULATION> <AERATION> <SEDIMENTATION>

ANGEL  
PAUL  
OBREGON  
MAYORGA  
Digitally signed  
by ANGEL PAUL  
OBREGON  
MAYORGA  
Date: 2022.02.03  
23:33:08 -05'00'

## INTRODUCCIÓN

Actualmente la mayoría de los procesos industriales produce generación de residuos perjudiciales para el medio ambiente y la salud de las personas, por ende, se da la necesidad de crear tratamientos especializados para pretender eliminar o reducir el impacto que provocan dichos residuos en el ambiente, uno de los residuos más significativos son las aguas residuales que afectan a las cuencas hídricas y al ecosistema asociado a ellas.

La actividad manufacturera de la industria del cuero se ha considerado desde la antigüedad como primordial para el hombre, debido a la necesidad de alimentación y vestimenta, no obstante, la transformación de dicha materia prima implica un grave impacto ambiental y social. (Sanz, 2011, pp. 5-10)

Según el informe divulgado por la Asociación de Curtidores del Ecuador (ANCE), en el año 2017 se procesó 1 millón de pieles en el país y de esta cantidad el 90% tuvo lugar en la provincia de Tungurahua, debido a que gran parte de las industrias del cuero se encuentran en dicha locación, es decir la manufactura del cuero constituye uno de los ejes centrales de economía de la provincia, estableciéndose como el principal proveedor de cueros, calzado y artesanías del país. (El Comercio, 2018)

En las industrias del cuero se genera grandes volúmenes de efluentes líquidos y residuos sólidos (recortes de cuero, carnazas), como consecuencia del proceso de curtición que requiere grandes cantidades de agua y aplicación de tratamientos químicos, es decir provoca aguas residuales con considerable cantidad de materia orgánica, cromo y sulfatos, causando malos olores y originando un ambiente contaminante, por ende la descarga de efluentes y disposición final de residuos sólidos generados en la planta curtidura no debe verterse directamente al alcantarillado sin previo tratamiento. (Weitzendeld, 2016, pp. 1876-1878)

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

La curtiembre “Brito” localizada en la parroquia Atahualpa del cantón Ambato, provincia de Tungurahua, efectúa el proceso de curtido de cueros y pieles adobadas, la planta procesa aproximadamente 130 pieles mensuales utilizando la técnica de curtido vegetal mediante quebracho (C76H52O46), es decir cambio su metodología de curtición en relación a los años anteriores lo cual ocasiono cambios en los volúmenes de efluentes líquidos y residuos sólidos produciendo que la actual planta la tratamiento de aguas residuales en la curtiembre no resulte útil y el agua tratada no cumpla con los límites permisibles de descarga al alcantarillado público establecidos en la tabla 8 del Anexo 1, Libro VI del Acuerdo Ministerial 097-A: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, es por estas razones que es imprescindible realiza el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales.

A fin de garantizar el cumplimiento de la normativa ambiental vigente se ha visto la necesidad de realizar el rediseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales de curtiembre, el cual permita reducir los niveles de contaminación en el sector, proporcionando ambientes seguros y saludables para los trabajadores y población aledaña.

### 1.2. Justificación de problema

La contaminación generada por el agua residual producto de las actividades de curtiembre están siendo regulados y mitigados por parte de entidades gubernamentales como el GAD provincial de Tungurahua, quienes proponen proyectos conjuntos entre la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH y las industrias dedicadas a la curtición, para así apoyar al sector empresarial de la provincia y al desarrollo profesional.

En la actualidad, curtiduría Brito, si dispone de un sistema de tratamiento de los efluentes líquidos y al momento deposita sus residuos al sistema de alcantarillado de la parroquia Atahualpa, debido a que se cambió la metodología de producción sustituyendo el cromo hexavalente altamente contaminante por quebracho, la planta antigua quedo totalmente sin utilizar y por ende su descarga del agua residual industrial no cumple con los parámetros establecidos en la tabla 8 del Anexo 1, Libro VI del Acuerdo Ministerial 097-A: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al

recurso agua, por lo que se justifica la realización de un rediseño de la planta de tratamiento de agua residual en vista de la necesidad de la empresa y en beneficio a sectores aledaños.

Con el rediseño del sistema de tratamiento de agua residual, se planteará una solución integral para favorecer la mitigación de los impactos ambientales, realizando un tratamiento preliminar, primario y secundario a las aguas provenientes del proceso de curtición de pieles, además se propondrá recuperar sustancias químicas disueltas en el agua, esto disminuirá la cantidad de sustancias introducidas en cada etapa de transformación y aumentará el rendimiento económico en la planta, logrando así solucionar los problemas ambientales y mejorando la capacidad productiva de la planta, consiguiendo una curtiduría eficiente y a la vez amigable con el medio ambiente.

### **1.3. Beneficiarios directos e indirectos**

#### ***1.3.1. Directos***

El principal beneficiario del presente proyecto es la curtiduría “Brito”, puesto que al momento no cumple con la normativa legal vigente de calidad ambiental por lo que están expuesto a sanciones, multas y perjuicios económicos a la planta.

Adicionalmente los trabajadores de la curtiduría “Brito” serán directamente beneficiados del rediseño de la planta de tratamiento de las aguas residuales, puesto que ellos están en contacto directo con los efluentes, por lo tanto, expuesto a contaminantes que podrían causar enfermedades graves a largo plazo.

#### ***1.3.2. Indirectos***

Las personas que se beneficiarán indirectamente por el desarrollo de la presente investigación serán:

- ✓ El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de la ciudad de Ambato y el Gobierno Provincial de Tungurahua, debido que dichos organismos estatales al momento se encuentran en la búsqueda de soluciones para mitigar la contaminación generada por las curtiembres.
- ✓ Los pobladores aledaños a la planta industrial y la ciudad de Ambato, ya que al momento son afectados por la contaminación de los efluentes y residuos generados.
- ✓ La sociedad en general porque la evacuación de agua contaminada repercute en un elevado

grado en la contaminación de los ríos a donde se descarga estas aguas residuales.

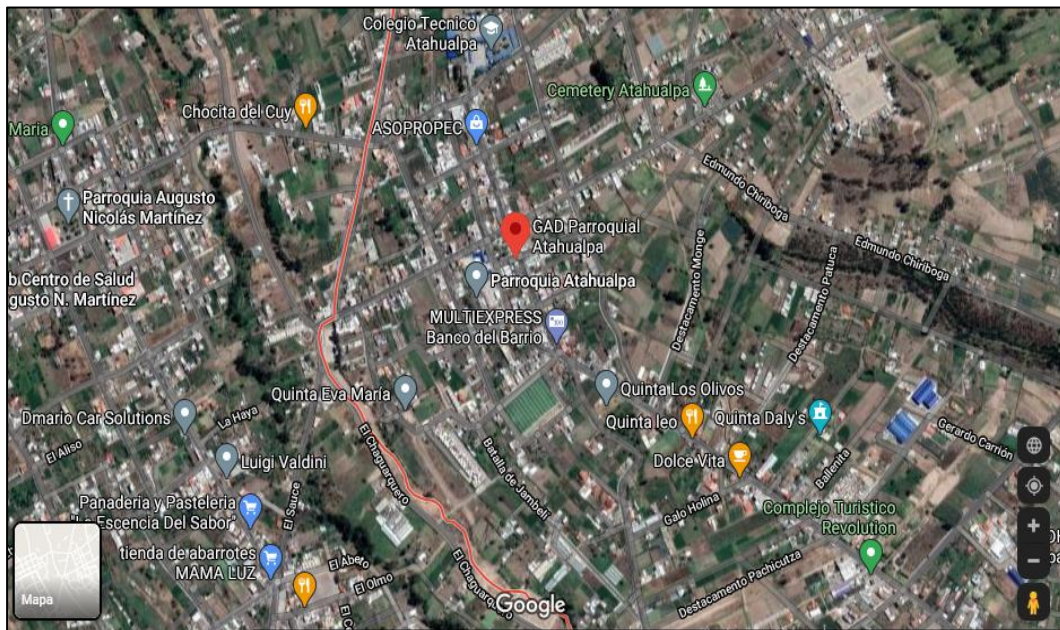
#### 1.4. Localización del proyecto

El proyecto tendrá lugar en la Curtiduría “Brito” situado en la provincia de Tungurahua, al noreste de la ciudad de Ambato, parroquia Atahualpa, barrio San Vicente.

**Tabla 1-1:** Localización geográfica de la curtiduría “Brito”

<b>País</b>	Ecuador
<b>Región</b>	Sierra
<b>Provincia</b>	Tungurahua
<b>Cantón</b>	Ambato
<b>Altitud</b>	2580
<b>Clima</b>	Posee un clima templado frio aproximadamente de 15°C

Realizado por: Telenchano René, 2021.



**Figura 1-1:** Ubicación geográfica de la Curtiduría "Brito"

Fuente: Google Maps, 2021.



## **1.5. Objetivos**

### ***1.5.1. Objetivo general***

- ✓ Rediseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría “Brito” de la parroquia Atahualpa – Tungurahua.

### ***1.5.2. Objetivos Específicos***

- ✓ Realizar la caracterización físico – química del agua residual proveniente del proceso de pelambre, basadas en los límites permisibles bajo la normativa vigente Acuerdo Ministerial 097-A, tabla 8, Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua.
- ✓ Realizar pruebas de tratabilidad del agua residual para las muestras que se encuentran fuera de los límites con la norma de calidad ambiental vigente.
- ✓ Identificar las variables del proceso apropiadas para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la curtiduría “Brito”.
- ✓ Realizar los cálculos de ingeniería para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría “Brito”
- ✓ Validar el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante la caracterización físico-química del agua tratada cotejando resultados con la tabla 8 del Anexo 1, Libro VI del Acuerdo Ministerial 097-A.

## CAPÍTULO II

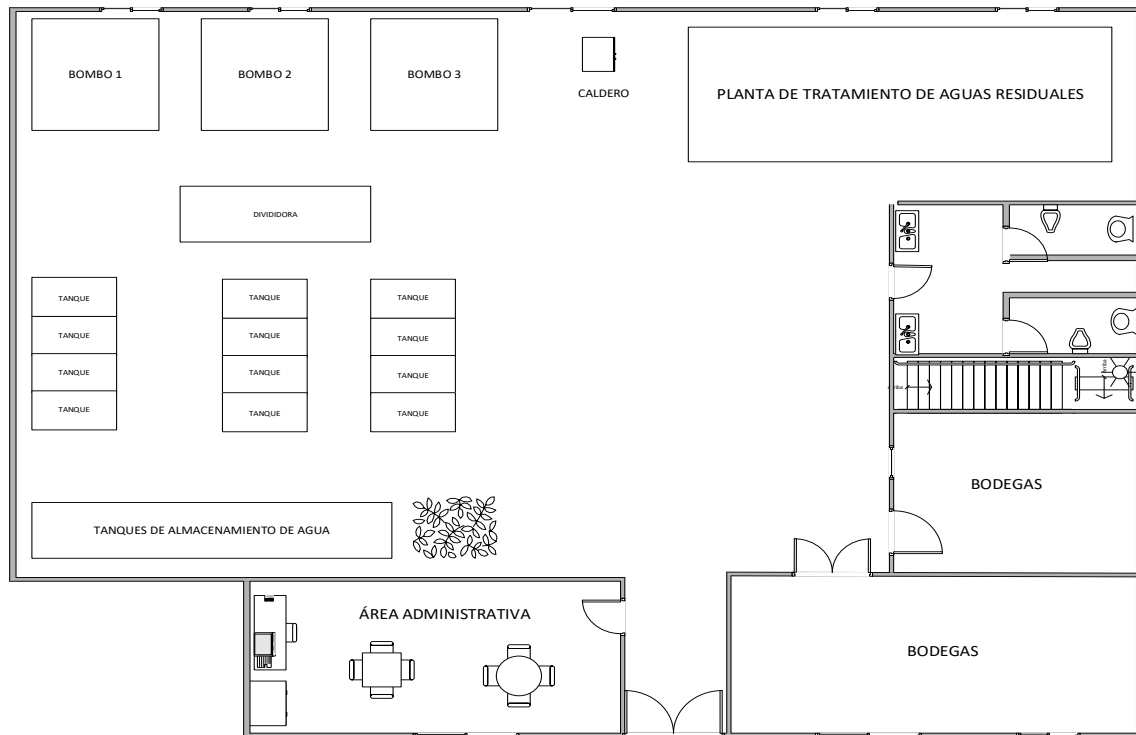
### 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Antecedentes de la Curtiduría “Brito”

La curtiduría “Brito” es una empresa ubicada en el barrio San Vicente, parroquia Atahualpa en la ciudad de Ambato, de propiedad de la señora Landy Maritza Brito Illesca, cuyo objetivo es la curtición de pieles de ganado bovino provenientes de los centros de faenamiento de Ambato y Riobamba. La empresa cuenta actualmente con 4 trabajadores legalmente establecidos que generan una producción mensual aproximada de 130 pieles.

Curtiembre “Brito” realiza una producción promedio de 130 pieles de origen bovino al mes, lo que nos indica que por semana se llegan a procesar 33 pieles aproximadamente; estas pieles están destinadas para la fabricación de suelas y correas, la curtiduría posee un sistema de producción discontinuo, ya que, las pieles que ingresan a la empresa son procesadas en diferentes cargas o lotes.

La empresa posee una superficie aproximada de 1200,4 m<sup>2</sup>, distribuidos en diferentes áreas de la siguiente forma: en la planta baja se encuentran el área de bombos, área de tanques de remojo, área de caldero y el área de reservorio; mientras que en la planta alta el área de acabados y almacenamiento de los productos, además el área administrativa y ventas, como se observa en la siguiente figura:



**Gráfico 1-2:** Plano de la planta de producción de la Curtiduría “Brito”

**Fuente:** Curtiduría “Brito”, 2021.

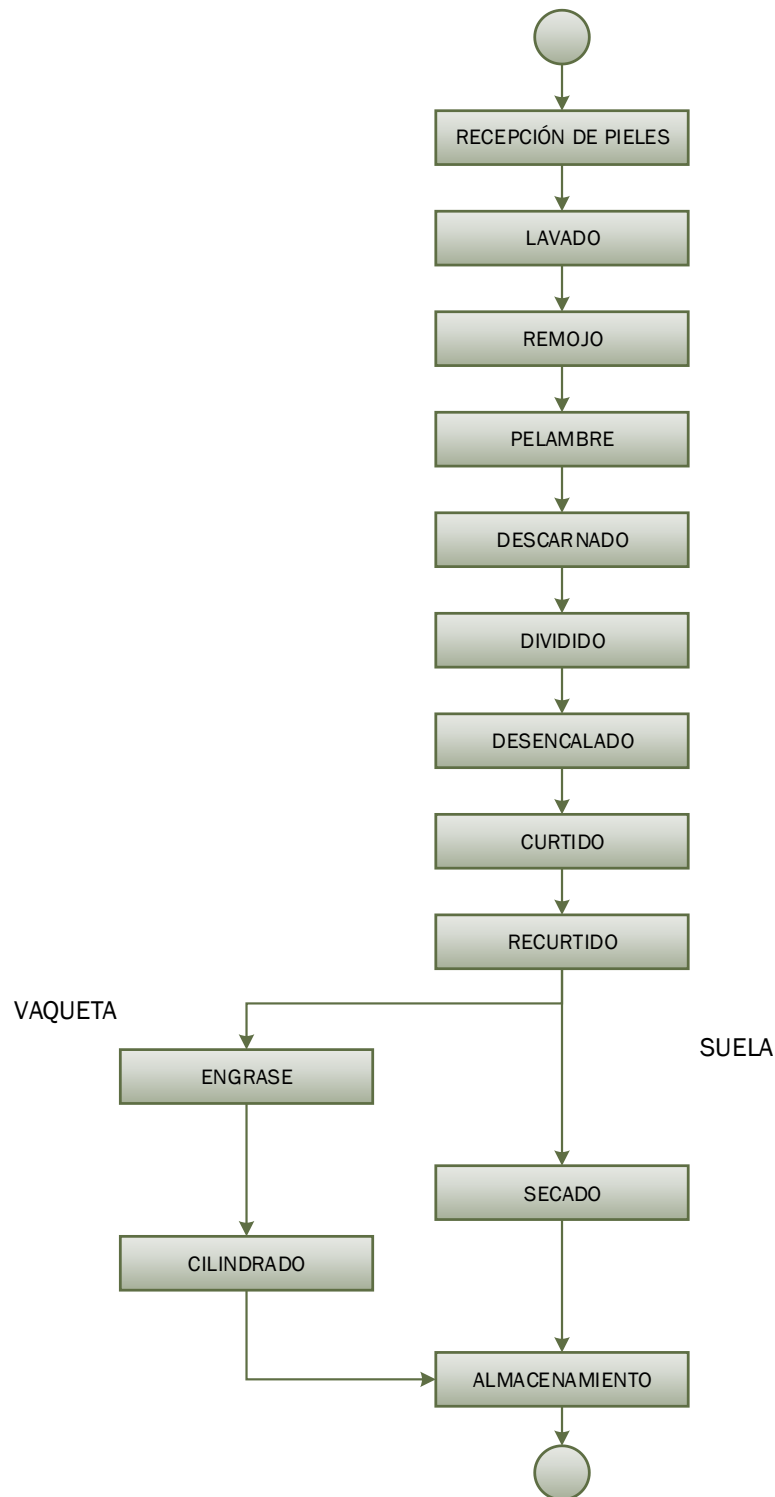
Para la ejecución del proceso de curtición del cuero en la Curtiduría Brito, se consume cantidades considerable de agua, energía eléctrica y aceite, a continuación, se evidencia detalles del consumo de estos servicios básicos en la tabla 1-2:

**Tabla 1-2:** Servicios utilizados por la curtiduría "Brito"

Servicio	Proceso	Consumo	Fuente
Agua	Lavado-Remojo	1650 (l/T piel)	Red pública de agua tipo industrial
	Pelambre	800 (l/T piel)	
	Curtido	120 (l/T piel)	
Energía eléctrica	1042 kW/h al mes		Red pública de luz
Aceite	5 litros/mes		Comercio local

**Fuente:** Curtiduría Brito, 2021.

### 2.1.1. Proceso de producción de la Curtiduría “Brito”



**Gráfico 2-2:** Diagrama del proceso de curtición realizado por la Curtiduría “Brito”  
Realizado por: Telenchano René, 2021.

El proceso de producción de curtiduría “Brito” se divide en los siguientes procesos de manera secuencial:

### 2.1.1.1. Recepción de las pieles

El proceso comienza con la recepción de las pieles, las cuales deben pasar por verificación de su estado, es decir, si están conservadas en sal o se encuentran en fresco, ya que, si las pieles se encuentran en fresco no necesitarán de un proceso de lavado exhaustivo; para así comenzar con el primer proceso de ribera que es el lavado.



**Figura 1-2:** Recepción de pieles  
Realizado por: Telenchano René, 2021.

### 2.1.1.2. Ribera

En esta etapa se encuentran los subprocesos de lavado, remojo, pelambre, dividido y descarnado, es decir se prepara a las pieles para el curtido, adecuándolas mediante la humectación e hinchamiento de las mismas, además, de la eliminación de la lana o pelo de la piel. Debido a los principales químicos utilizados en esta etapa del proceso, el agua residual presenta un pH elevado, así también, el consumo de agua en esta fase es el más elevado del proceso en general; a continuación, se hace una breve explicación de cada uno de estos procesos mencionados.



**Figura 2-2:** Bombos utilizados en etapa de ribera  
Realizado por: Telenchano René, 2021.

- ✓ **Lavado:** el objetivo de este proceso es la eliminación de cualquier suciedad como puede ser la sangre, el estiércol, sal, etc., así como, ciertos microorganismos presentes en las pieles, para que el proceso sea eficiente se utiliza un tensoactivo además del agua.
  
- ✓ **Remojo:** proceso que nos brinda la facilidad de que las pieles logren un buen hinchamiento, mayor flexibilidad y blandura para así llevar a cabo de manera efectiva los siguientes procesos químicos, se busca la devolución de la piel a un hinchamiento natural y para esto se tiene como indicador el pH, el cual, es idóneo al encontrarse en un valor de alrededor de 9, 5. En este proceso se sumergen las pieles en agua, tensoactivos, hidróxido de sodio y preparaciones enzimáticas.
  
- ✓ **Pelambre:** a la piel procedente del proceso de remojo se la lleva a pelambre, el cual utiliza aparte de agua el producto químico cal, esto con el fin de inmunizar el pelo de la piel (opcional), y sulfuro de sodio el cual consigue la eliminación de la epidermis y pelo de la misma; en este proceso se utiliza un porcentaje de agua bajo en relación al peso de las pieles ingresadas ya que se busca tener un efecto mecánico alto sobre las mismas. Una vez terminado y teniendo una piel sin pelo se lleva a cabo un lavado para así eliminar los residuos del proceso tales como el propio pelo. El pelambre es un proceso de hidrólisis química que da como resultado una piel depilada, un hinchamiento de la piel y se pueden diferenciar entre dos tipos de pelambre: enzimáticos y químicos, los primeros cuentan con el resudado y la depilación con preparados enzimáticos, mientras que los pelambres químicos pueden ser por embadurnado, pelambres de cal y el más utilizado actualmente que es con sulfuro y cal. La calidad del proceso de pelambre viene determinada principalmente por las variables de: temperatura, agente depilante, remojo previo, efecto mecánico, productos auxiliares y cantidad de baño.

**Tabla 2-2:** Variables a controlar en el proceso de pelambre

<b>Factor</b>	<b>Incidencia en el proceso</b>
Cantidad de baño	Cuanto menor sea la cantidad de baño utilizado la concentración de los productos depilantes incrementará produciendo un ataque mayor a la raíz del pelo.
Temperatura	A menor temperatura de trabajo se produce un mayor hinchamiento en la piel tratada y mayor turgencia.
Efecto del remojo	El remojo ayuda a que las condiciones de pelambre sean menos abrasivas.
Efecto mecánico	El efecto mecánico que el bombo produce sobre las pieles ayuda a la penetración de los productos químicos en el proceso de pelambre

Productos auxiliares	Se utiliza distintos productos que benefician el proceso de pelambre como son: enzimas y tensoactivos.
Tipo de depilante	Sulfuro de sodio: efecto reductor, elevado pH Cal apagada: puede comportarse como inmunizador de pelo si actúa sola.

Fuente: (Cordero B., 2010)

Realizado por: Telenchano René, 2021.

- ✓ **Descarnado:** es una operación mecánica que se realiza fuera del bombo reactor, haciendo pasar a las pieles por cuchillas las cuales eliminan la grasa y carne que se encuentra hasta ese momento junto a la piel, al finalizar esta etapa se genera un residuo denominado carnaza, el cual, está constituido por aproximadamente 80% agua y 20 % materia seca: grasa, sales, proteína. (Morera, 2000).
- ✓ **Dividido:** según el artículo a elaborar se necesita que la piel tenga un determinado grosor, por lo cual, mediante un proceso mecánico se divide al cuero en dos partes: flor y cerraje, en el caso de la curtiduría Brito se realiza luego del descarnado ya que esto genera una mejor calidad en el producto obtenido (flor), el cual, tras el curtido presentará menos arrugas, el cerraje por otra parte es utilizado posteriormente en procesos de elaboración de colas y gelatinas. (Bustos, 2012, pp. 34-35)
- ✓ **Desencalado:** en el proceso se lavan las pieles con agua y neutralizantes: ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido fórmico o ácido láctico, eliminando así la cal de los procesos anteriores ya que esta se une químicamente a las fibras de la piel y esto puede traer complicaciones para el proceso de curtición. (Morera, 2000).

### 2.1.1.3. Etapa de Curtido

- ✓ **Curtido y recurtido:** mediante este proceso se logra la transformación de la piel en cuero propiamente dicho, para esto se utiliza principalmente sales de cromo y extractos vegetales, los cuales, logran estabilizar el colágeno de la piel confiriendo las propiedades necesarias para elaborar artículos. Dentro de los extractos vegetales tenemos a los taninos y no taninos, los primeros curten la piel y son de carácter fenólico entre los cuales se puede mencionar al quebracho, mimosa y castaño, mientras que los segundos no curten como tal, pero si intervienen en el proceso de curtición y contienen hidratos de carbono, proteínas, ácidos orgánicos, sales. El proceso de curtición vegetal consta de dos fases que son: la penetración de la solución con tanino en la piel y la fijación del tanino al colágeno (Cueronet, 2013). Generalmente en el proceso de recurtido se prefiere el uso de extractos vegetales ya que estos proporcionan un mejor poder de relleno a las pieles, de igual manera, se busca obtener una

flor que no sea áspera y un tacto suave, por lo que se utiliza compuestos poco astringentes como quebracho sulfitado y mimosa.

- ✓ **Engrase:** mediante la incorporación de materias grasas (solubles o no en agua) en el cuero, se permite lubricar las fibras de la piel, de manera que puedan deslizarse sencillamente unas en relación con otras, logrando así, un cuero más flexible y blando. Cabe indicar que al momento de engrasar sus propiedades tienden a modificarse, permitiendo un aumento a la resistencia al desgarro, alargamiento e impermeabilidad al agua. (Lombeida, 2017, p. 28) (Moya, 2016, p. 44).



**Figura 3-2:** Cuero por curtición vegetal  
Realizado por: Telenchano René, 2021.

#### 2.1.1.4. Secado y almacenamiento

- ✓ **Secado:** una vez habiendo culminado todos los procesos de ribera y curtición anteriores, el cuero se encuentra en estado húmedo llegando a pesar incluso 3 veces más que al principio de la cadena de producción, es así que, mediante el proceso de secado se busca eliminar esta humedad, llevando al cuero a aproximadamente 14% de agua en su estructura; existen diferentes métodos para realizar el secado siendo los más populares: cámaras de secado, túnel de secado, placas secotherm, secado al vacío, bombas de calor, radiación y las variables que se deben controlar para esta etapa son la temperatura y el sustrato cuero ya que mientras más grueso sea el mismo más tiempo tomará el proceso.





**Figura 4-2:** Cuero en procesos de secado  
Realizado por: Telenchano René, 2021.

- ✓ **Cilindrado y almacenamiento:** es una operación mecánica que consiste en pasar un cilindro a presión sobre los cueros ya terminados, esto con el fin de atribuir mayor resistencia al desgaste y al agua, este proceso principalmente se realiza al cuero que es producido para ser usado como suela de zapato. Una vez obtenido el producto final se lleva a bodegas a temperatura ambiente hasta su posterior traslado, estas bodegas se conservan con baja humedad y con poca filtración de radiación solar.



**Figura 5-2:** Cuero terminado  
Realizado por: Telenchano René, 2021.

### 2.1.2. *Productos químicos utilizados en los procesos de curtición*

En la curtiduría Brito los productos químicos que se utilizan se definen en la tabla 3-2:

**Tabla 3-2:** Productos químicos utilizados en el proceso de curtición en la Curtiduría “Brito”

PROCESO	PRODUCTOS QUÍMICOS
Lavado	Agua
	Tensoactivo
Remojo	Agua
	Humectante
	Tensoactivo
Pelambre	Depilante
	Agua
	Cal P400
	Tensoactivo
	Sulfuro de Sodio
Piquelado	Agua
	Sal
	Ácido Fórmico
Desencalado	Sulfato de Amonio
	Bisulfito de Sodio
Curtición	Tensoactivo
	Ácido Sulfúrico
Recurtido	Mimosa
	Quebracho
	Ácido Oxálico
	Grasas Sulfitadas

Realizado por: Telenchano René, 2021.

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. *Aguas residuales*

A partir del uso de agua de fuentes naturales o de la red de agua potable para los distintos procesos industriales o de uso común se produce las aguas residuales, ya que estas poseen una alteración en sus características biológicas y físico químicas debiendo ser descargadas al alcantarillado, cuerpos de agua dulce o plantas de tratamientos de agua para su eventual evacuación al ambiente. (Ortega, 2015, p.22)

### 2.2.2. *Tipos de aguas residuales*

En la siguiente tabla se establece los distintos tipos de aguas residuales que se pueden encontrar:

- ✓ **Aguas residuales urbanas:** Su composición se caracteriza por la composición orgánica ya que es producto del uso en actividades domésticas.
- ✓ **Aguas residuales industriales:** Generadas por procesos industriales, entre los cuales podemos encontrar: industria azucarera, minera, cuero, textil, siderurgia, celulosa y papel.
- ✓ **Aguas negras:** Presentan alta carga orgánica y provienen del uso de inodoros.
- ✓ **Aguas grises:** Aguas generadas en lavabos, duchas.
- ✓ **Aguas de infiltración:** Ingresan al sistema de alcantarillado por medio de tuberías defectuosas.

### ***2.2.3. Parámetros de caracterización para aguas residuales procedentes del proceso de curtición***

#### ***2.2.3.1. Parámetros físicos***

- ✓ **Temperatura:** Parámetro que influye directamente sobre la vida acuática y la velocidad de reacción, es decir afecta las características del agua residual, el tratamiento y la disposición final. (Sainz, 2004, p.12).
- ✓ **Turbidez:** Característica óptica que mide la transmisión de luz en el agua, los materiales que impiden el paso de la luz son partículas en suspensión o material coloidal. (Nihonkasetu, 2017, p.24).
- ✓ **Color:** Define las diferentes “tonalidades” que presentan las aguas, es causado por el material coloidal que se pueda encontrar en su composición, sólidos suspendidos, sustancias en solución y materia orgánica, esta característica se utiliza de forma cualitativa para estimar la condición del agua residual. (Delgadillo Sergio, & Otros. 2005.p 71)
- ✓ **Olor:** Se desprende por la descomposición anaerobia de materia orgánica presente en las aguas residuales. (Lombeida, 2017, p. 35)
- ✓ **pH:** Permite conocer la acidez o basicidad del agua mediante su potencial hidrógeno, a manera general en el proceso de pelambre se da un agua básica con pH entre 11 a 12 debido al uso de sulfuros.
- ✓ **Sólidos totales:** Dentro de los sólidos totales tenemos a los suspendidos que son partículas que se encuentran en la superficie del agua residual u los sólidos disueltos que hace referencia a minerales, sales, metales.
- ✓ **Conductividad:** Indica la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica y esta depende de los iones que estén presentes en su composición. (HACH COMPANY, 2000).

### 2.2.3.2. Parámetros químicos

**Tabla 4-2:** Parámetros químicos para caracterizar aguas residuales

Parámetro	Descripción
Demanda Química de Oxígeno DQO	Cantidad de oxígeno necesario para oxidar materia orgánica bajo condiciones específicas
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	Los organismos vivos degradan la materia orgánica por proceso de oxidación
Alcalinidad	Facultad del agua para aceptar protones neutralizando así ante la adición de ácidos.
Sulfatos y Sulfuros	Producidos por la oxidación de los compuestos de sulfuro utilizados en el proceso principalmente de pelambre, estos producen las mayores complicaciones al tratar este tipo de agua residual ya que es el causante de corrosión y malos olores, llegando incluso a producir ácido sulfhídrico.
Tensoactivos	Incrementan la concentración de DQO y son los utilizados principalmente como agentes de limpieza
Oxígeno Disuelto	Primer indicador del grado de contaminación de aguas residuales

Fuente: (HACH COMPANY, 2000).

### 2.2.4. Tratamientos de aguas residuales procedentes del proceso de pelambre

El sistema de tratamiento está conformado por una combinación de operaciones unitarias (implica fenómenos físicos) y procesos unitarios (reacciones químicas y/o biológicas), diseñados para disminuir ciertos contaminantes de las aguas residuales a un nivel aceptable para disminuir el impacto ambiental y cumplir con la normativa ambiental vigente. (Lombeida, 2017, p. 38).

#### 2.2.4.1. Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar o pre-tratamiento, permite separar materiales de gran tamaño como: trozos de madera, arena, plásticos entre otros que contiene las aguas residuales, esto con el fin de preparar las aguas para posteriormente realizar otros tratamientos sin ningún inconveniente, logrando así prevenir la obstrucción de bombas, tuberías, válvulas. (Lombeida, 2017)

**Tabla 5-2:** Operaciones del pre-tratamiento

Operación	Descripción
Desbaste o Cribado	Utilización de rejillas para eliminar y retener sólidos gruesos para proteger los equipos mecánicos e instalaciones posteriores que podrían ser obstruidos.
Tamizado	Eliminar sólidos en suspensión, flotantes o residuos existentes en las aguas residuales y podrían interferir en los tratamientos siguientes.

Desarenado	En el desarenador las partículas arenosas y otros sólidos por efecto de la gravedad se decantan hacia el fondo desnivelado.
Desengrasado o Flotación	Se emplea un sistema de aireación para conseguir que las grasas y aceites adheridas al agua residual floten por la diferencia de densidades.

Fuente: (Rigola, 2005, pp. 137-141).

#### 2.2.4.2. Tratamiento primario

El tratamiento primario es un conjunto de procesos físico-químicos, que permiten la remoción y separación de materiales sedimentables, flotantes, parte de la carga orgánica presentes en el agua residual.

**Tabla 6-2:** Operaciones del tratamiento primario

Operación	Descripción
Neutralización	Proceso que consiste en la eliminación o disminución del exceso de acidez o alcalinidad de un agua, es decir regulación del pH.
Homogenización	Permite obtener un efluente uniforme para mantener un caudal constante, mejorar las características del líquido residual y optimizar los tratamientos posteriores.
Sedimentación	Decantación de partículas sólidas del agua residual por diferencia de densidades, produciendo un líquido claro o transparente con menores niveles de concentración de DQO y DBO <sub>5</sub> y partículas en suspensión.
Coagulación-floculación	Mediante el uso de coagulantes y/o floculantes como sulfato de aluminio y sulfato de amonio, las partículas coloidales presentes en el agua residual se aglomeran formando flóculos de mayor tamaño de fácil sedimentación, disminuyendo la turbidez del agua.
Precipitación química	Empleando agentes químicos al efluente se logra generar compuestos poco solubles de fácil decantación, factible para optimizar la eliminación de sólidos suspendidos y metales pesados como: cobre, cadmio, plomo, níquel, fosforo y nitrógeno.
Filtración	Es el proceso de separación de partículas sólidas adheridas en el efluente a través de un medio más o menos poroso, en el cual quedarán retenidos los sólidos, dando lugar al paso del líquido filtrante.

Fuente: (Rigola, 2005).

#### 2.2.4.3. Tratamiento secundario

El tratamiento secundario es un tratamiento biológico en el que por acción de las bacterias y otros microorganismos se encargan de destruir y metabolizar las materias orgánicas solubles, coloidales y bacterias patógenas disminuyendo la DBO<sub>5</sub> y DQO. Estos procesos pueden ser procesos aeróbicos y anaeróbicos (Rigola, 2005).

#### *2.2.4.4. Tratamiento terciario*

El tratamiento terciario es utilizado cuando se desea eliminar contaminantes tóxicos, no biodegradables y peligrosos es decir los efluentes líquidos requieren una mayor depuración a la obtenida en los tratamientos primario y secundario, para la realización de este tratamiento se realiza operaciones como ultrafiltración, radiación ultravioleta, ozonización, osmosis inversa, intercambio iónico, entre otros. (Rigola, 2005)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLOGICO

#### 3.1. Ingeniería del Proyecto

##### 3.1.1. Tipo de estudio

El presente estudio se trata de un proyecto tipo técnico, descriptivo, cuantitativo, para su desarrollo fue necesario examinar técnicas experimentales, normativas, estrategias, guías y demás bibliografía que apoyan a la investigación dando paso a un correcto discernimiento de las pruebas de tratabilidad, determinación de flujos y variables, diseño de la planta y validación del trabajo.

##### 3.1.2. Métodos y Técnicas

###### 3.1.2.1. Métodos

Para el rediseño de la planta de tratamiento que existe en la actualidad en la curtiembre “Brito” se considera los siguientes métodos de investigación:

- ✓ **Método Deductivo:** Parte de lo general a lo específico, es decir centrado en un problema característico, en este caso generando soluciones al problema actual de la planta de tratamiento de aguas residuales, mediante análisis y validación de la tratabilidad del agua se propone el rediseño adecuado al efluente a depurar.
- ✓ **Método Inductivo:** Parte de lo particular a lo general, es decir dándonos una idea inicial de la situación actual de la planta de tratamiento, para esto se realiza un muestreo del efluente y seguido de la caracterización físico-química que permitirá identificar los parámetros fuera de normativa, los cuales nos ofrecerán una perspectiva del problema y dará paso a la selección del tratamiento adecuado para el rediseño de la actual planta.
- ✓ **Método Experimental:** Metodología práctica se utiliza específicamente en el laboratorio en la fase de caracterización del efluente contaminado, en esta se empleará equipos, materiales, reactivos, dándonos una idea basada en la manipulación directa del objeto de estudio, es decir determinando experimentalmente aquellos tratamientos ideales para la curtiembre “Brito”.

### 3.1.2.2. Técnicas

#### ✓ Técnica in situ

Caudal: La medición del caudal se llevó a cabo por el método volumétrico, cabe recalcar que solo se midió el agua de pelambre, utilizando la siguiente técnica:

**Tabla 1-3:** Medición del caudal

<b>Fundamento</b>	El método volumétrico es el volumen de líquido mediante el transcurso de tiempo
<b>Materiales</b>	Recipiente volumétrico Cronómetro
<b>Reactivos</b>	Agua residual
<b>Técnica</b>	Medir con un cronometro el tiempo que tarda en llenarse el recipiente volumétrico con el agua residual
<b>Cálculo</b>	$Q = \frac{V}{t}$ <p>Donde V= Volumen del balde y t= tiempo obtenido con el cronómetro.</p>

Fuente: (Standard Methods, 2017).

Realizado por: Telenchano René, 2021.

#### ✓ Técnicas de laboratorio

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

**Tabla 2-3:** Determinación de turbiedad

<b>Fundamento</b>	Determina la intensidad de color es decir cualquier impureza suspendida en el efluente
<b>Método</b>	Método HACH 2130-B
<b>Materiales</b>	Turbidímetro Celda Pizeta
<b>Reactivos</b>	Muestra de agua residual y Agua destilada
<b>Técnica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar la muestra de agua residual en la celda.</li> <li>✓ Colocar la celda en el equipo y presionar leer, esperar hasta su estabilización.</li> <li>✓ Registrar el valor emitido.</li> </ul>
<b>Cálculo</b>	Lectura directa en unidades de turbiedad (NTU)

Fuente: (Standard Methods, 1996)

Realizado por: Telenchano René, 2021.



**Tabla 3-3:** Determinación de potencial de hidrógeno

<b>Fundamento</b>	Nos indica la acidez o alcalinidad del agua
<b>Método</b>	Potenciométrico
<b>Materiales</b>	pH-metro Vasos de precipitación Limpiadores
<b>Reactivos</b>	Agua destilada Muestra de agua residual
<b>Técnica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Una vez calibrado el equipo, lavar el electrodo utilizando agua destilada.</li> <li>✓ Colocar 100 ml de muestra de agua residual en un vaso de precipitación.</li> <li>✓ Introducir el electrodo en el vaso que contiene la muestra, agitar suavemente para conseguir homogeneidad y presionar READ.</li> <li>✓ Esperar hasta que se estabilice y anotar los resultados emitido en la pantalla.</li> </ul>
<b>Cálculo</b>	Lectura directa

Fuente: (Severiche et al., 2013: pp. 12-13)

Realizado por: Telenchano René, 2021.

**Tabla 4-3:** Determinación de conductividad

<b>Fundamento</b>	Capacidad que tiene una solución acuosa para permitir el paso de la corriente eléctrica.
<b>Método</b>	Método 2510-2520
<b>Materiales</b>	Conductímetro. Vasos de precipitación. Limpiadores.
<b>Reactivos</b>	Vasos de precipitación. Agua destilada. Muestra de agua residual.
<b>Técnica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Una vez calibrado el equipo, lavar el electrodo con agua destilada.</li> <li>✓ Colocar 100 ml de muestra de agua residual en un vaso de precipitación.</li> <li>✓ Introducir el electrodo en el vaso que contiene la muestra y presionar READ.</li> <li>✓ Esperar hasta que se estabilice y anotar los resultados emitido en la pantalla.</li> </ul>
<b>Cálculo</b>	Lectura directa

Fuente: (Severiche et al., 2013: pp. 23-25)

Realizado por: Telenchano René, 2021.

**Tabla 5-3:** Determinación de Sólidos Totales

<b>Fundamento</b>	Son aquellas partículas que se encuentran en el agua residual en forma de materiales disueltas y suspendidas.
<b>Método</b>	Método gravimétrico
<b>Materiales</b>	Placa calefactora Estufa Balanza analítica Desecador

	Cápsulas de porcelana Probetas Pinza
<b>Reactivos</b>	Muestra de agua residual
<b>Técnica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Encender la estufa a una temperatura de 103-105 °C.</li> <li>✓ Colocar la cápsula limpia en la estufa durante 1 hora.</li> <li>✓ Llevar la cápsula al desecador, hasta que se enfríe.</li> <li>✓ Pesar la cápsula seca y anotar el peso (Peso A).</li> <li>✓ Colocar 25 ml de agua residual en una probeta, mezcla hasta obtener una muestra representativa.</li> <li>✓ Colocar la muestra medida en la cápsula previamente tarada.</li> <li>✓ Introducir la cápsula en una placa calefactora hasta su evaporación total.</li> <li>✓ Colocar la muestra evaporada en la estufa a 103-105 °C durante 1 hora.</li> <li>✓ Llevar la cápsula al desecador, hasta que se enfríe.</li> <li>✓ Pesar la cápsula y anotar el resultado</li> <li>✓ Repetir el secado hasta conseguir un peso constante (Peso B).</li> </ul>
<b>Cálculo</b>	<p>Se aplica la siguiente ecuación:</p> $\text{sólidos totales (mg/L)} = \frac{(B - A) * 1000}{\text{volumen de muestra (ml)}}$ <p>Donde:</p> <p>A: peso de la cápsula de evaporación vacía, (mg).</p> <p>B: peso de la cápsula de evaporación con residuo seco, (mg).</p>

Fuente: (Severiche et al., 2013: pp. 44-46)

Realizado por: Telenchano René, 2021.

**Tabla 6-3:** Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

<b>Fundamento</b>	Determina la cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica presente en la muestra de agua residual, efectuado a una temperatura dada y tiempo determinado.
<b>Método</b>	Incubación por 5 días.
<b>Materiales</b>	<p>Incubadora termostáticamente a 20±1°C</p> <p>Probeta</p> <p>Pipeta</p> <p>Balón aforado de 200 ml</p> <p>Botellas de winkler de 300 ml</p> <p>Tapa de sello</p> <p>Cabezales de medición</p> <p>Agitador magnético</p>
<b>Reactivos</b>	<p>Muestra de agua residual</p> <p>Bolsa de solución tampón de nutrientes</p> <p>Agua destilada</p> <p>Pastilla de hidróxido de potasio.</p>
<b>Técnica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Tomar un balón aforado, diluir 10 ml de muestra de agua residual con 100 ml de agua destilada, repetir este procedimiento hasta conseguir 200 ml de muestra diluida.</li> <li>✓ Tomar 150 ml de la muestra diluida y colocar en la botella winkler.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Añadir una bolsa de nutrientes y colocar el agitador magnético.</li> <li>✓ En la tapa colocar una pastilla de hidróxido de potasio y taponar la botella.</li> <li>✓ Enroscar el cabezal de medición y encender.</li> <li>✓ Llevar la botella a la incubadora y dejar por un período de 5 días.</li> <li>✓ Después del tiempo establecido anotar los resultados obtenidos.</li> </ul>
<b>Cálculo</b>	Lectura directa

Fuente: (HACH COMPANY, 2000)

Realizado por: Telenchano René, 2021.

**Tabla 7-3:** Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

<b>Fundamento</b>	Define la cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica de una muestra que es susceptible de oxidación en condiciones determinadas.
<b>Método</b>	Método de digestión/colorimétrico
<b>Equipo/ Materiales</b>	<p>Reactor DQO.</p> <p>Espectrofotómetro</p> <p>Vaso de precipitación.</p> <p>Pipeta de 5 ml.</p> <p>Limpiadores.</p> <p>Gradilla</p>
<b>Reactivos</b>	Muestra de agua residual y Agua destilada
<b>Técnica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Encender el reactor de DQO y precalentar hasta una temperatura de 150 °C.</li> <li>✓ Homogeneizar la muestra de agua residual durante un tiempo de 30 s.</li> <li>✓ Extraer la tapa de un tubo que contiene el reactivo de DQO.</li> <li>✓ Adicionar con la pipeta 2 ml de muestra a tratar, taponar el tubo y limpiar la parte exterior del tubo. Rotular el tubo con una M (que indique muestra).</li> <li>✓ Mezclar bien el contenido del tubo invirtiendo varias veces.</li> <li>✓ Preparar el blanco repitiendo los dos pasos anteriores, pero esta vez añadiendo 2 ml de agua destilada y rotular el tubo con una B (que indique blanco).</li> <li>✓ Introducir los tubos en el reactor y digitar la tecla STAR durante un tiempo de 120 min.</li> <li>✓ Apagar una vez transcurrido el tiempo establecido y dejar enfriar por unos 20 min.</li> <li>✓ Extraer los tubos e invertir varias veces y colocar en una gradilla hasta que llegue a temperatura ambiente.</li> <li>✓ Encender el espectrofotómetro y seleccionar el número de programa para DQO.</li> <li>✓ Limpiar bien la parte externa los dos tubos, colocar en el equipo el blanco y presionar la tecla cero, dejar hasta su estabilización.</li> <li>✓ Finalmente colocar el tubo M (muestra a analizar) en el equipo, presionar READ y esperar hasta que se estabilice para anotar los resultados.</li> </ul>
<b>Cálculo</b>	Lectura directa en (mg/l)

Fuente: (HACH COMPANY, 2000)

Realizado por: Telenchano René, 2021.

### 3.1.3. Muestreo

Se realizó el muestreo las aguas residuales procedentes de la etapa de pelambre, en base a la NTE INEN 2226:2013, Agua. Calidad del Agua. Muestreo, aquí podemos hallar procedimientos y precauciones generales al momento del transporte y conservación todo tipo de muestras de agua. Se realiza la toma de muestras en el punto del pelambre aplicando un muestreo simple, estas muestras fueron tomadas los días de producción de la empresa, considerando que la curtiembre bajo su productividad por la pandemia por COVID-19.

Las muestras recolectadas provienen de todo el proceso de pelambre y la salida de los bombos para formar una muestra compuesta, inicialmente se preparó los recipientes de vidrio color ámbar, debidamente etiquetados con fecha, hora, lugar y tipo de muestra, posteriormente las muestras fueron trasladadas a un cooler provisto de hielo para su transporte al Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH para la caracterización. A continuación, en la siguiente tabla se evidencia los datos del muestreo:

**Tabla 8-3:** Recolección de muestras de la etapa de pelambre

Lugar de muestreo	Tipo de muestra	Fecha de muestreo	Número de muestras	Muestra compuesta
Bombo de pelambre	Agua residual del pelambre	15/12/2020	4	1
		5/01/2021	4	1
		26/01/2021	4	1

Realizador por: Telenchano René, 2021.

### 3.1.4. Estado actual del sistema de tratamiento de agua residual en la curtiduría “Brito”

La antigua planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra en desuso debido a que se cambió la manera de curtir el cuero, variando el cromo hexavalente por quebracho (C76H52O46) es decir se aplica una curtición vegetal, por tal motivo se realiza el rediseño de la planta de tratamiento aprovechando las estructuras ya existentes, cabe recalcar que se procesará únicamente el agua proveniente únicamente del pelambre, debido a que el agua de curtido recircula y no es desechada. A continuación, se describe los componentes de la planta de tratamiento antigua:

#### ✓ Sistema de filtrado

Se posee un tanque inicial donde se evidencia un filtro por platos improvisado con lonas, en dicho tanque el agua residual es filtrada y almacenada, a continuación, se presentan las dimensiones en la tabla 9-3:

**Tabla 9-3:** Dimensiones del antiguo sistema de filtrado

<b>Dimensiones</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Altura	1,5	<i>m</i>
Ancho	1,1	<i>m</i>
Largo	2	<i>m</i>
Volumen	3,3	<i>m</i> <sup>3</sup>

Fuente: Curtiduría "Brito, 2021.

Realizado por: Telenchano René, 2021.



**Figura 1-3.** Sistema de filtrado

Realizado por: Telenchano René, 2021.

#### ✓ Sistema de dosificación

En el segundo tanque se realizaba la dosificación policloruro de aluminio (PAC) al efluente contaminado, además este funcionaba a su vez como sedimentador, las dimensiones del tanque se evidencian a continuación en la tabla 10-3:

**Tabla 10-3:** Dimensiones del antiguo sistema de dosificación

<b>Dimensiones</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Altura	1,5	<i>m</i>
Ancho	1,4	<i>m</i>
Largo	2	<i>m</i>
Volumen	4,2	<i>m</i> <sup>3</sup>

Fuente: Curtiduría Brito, 2021.

Realizado por: Telenchano René, 2021

#### ✓ Sistema de filtrado 2

Sucesivamente se encuentra el segundo tanque de filtrado, que permite ejecutar por segunda vez un filtrado al efluente contaminado, para esto se evidencia un sistema de capas de lonas y de carbón activado con el fin de retener la mayor cantidad de sólidos.

**Tabla 11-3:** Dimensiones antiguas del sistema de filtrado 2

<b>Dimensiones</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Altura	1,5	<i>m</i>
Ancho	1,1	<i>m</i>
Largo	2	<i>m</i>
Volumen	3,3	<i>m</i> <sup>3</sup>

**Fuente:** Curtiduría Brito, 2021.

**Realizado por:** Telenchano René, 2021.

### ✓ Sistema de cloración

Finalmente se encuentra un tanque donde se realizaba la dosificación de cal y cloro, para posteriormente verter el agua al alcantarillado público por medio de un sistema de tuberías, a continuación, se indica las dimensiones en la tabla 12-3:

**Tabla 12-3:** Dimensiones antiguas del sistema de cloración

<b>Dimensiones</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Altura	1,5	<i>m</i>
Ancho	2	<i>m</i>
Largo	2,5	<i>m</i>
Volumen	7,5	<i>m</i> <sup>3</sup>

**Fuente:** Curtiduría Brito, 2021.

**Realizado por:** Telenchano René, 2021.



**Figura 2-3:** Sistema de cloración

**Realizado por:** Telenchano René, 2021.

### 3.1.5. Datos experimentales

### 3.1.5.1. Determinación del caudal

El caudal se determinó por el método volumétrico, estos datos se obtuvieron de la descarga de los bombos de pelambre en función del tiempo, cabe recalcar que para tomar el caudal se consideró los días de mayor producción, a continuación, se puede ver los datos:

**Tabla 13-3:** Caudal del agua de pelambre de la curtiduría "Brito"

Muestra	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
1	10	50,4	0,198
2	10	50,0	0,200
3	10	53,2	0,188
4	10	51,5	0,194
5	10	52,6	0,190
Promedio total			0,194
Caudal ( $m^3/día$ )			16,76

Fuente: Curtiduría Brito, 2021.

Realizado por: Telenchano René, 2021.

### 3.1.6. Caracterización físico-química de las aguas residuales procedentes de la etapa de pelambre en la Curtiduría "Brito"

La caracterización del agua residual proveniente de la etapa de pelambre se realizó en el Laboratorio de Calidad de Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH, esto con el objetivo de identificar aquellos parámetros fuera de los límites permisibles según el Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo 1: Normativa de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, Tabla 8: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, esto me permitirá determinar la tratabilidad correcta y seleccionar el método más adecuado.

**Tabla 14-3:** Resultados de la caracterización inicial del agua residual de la etapa de pelambre

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados	Cumple
Temperatura	°C	<40	19	Cumple
Color	Unidades de Pt/Co	-	16200	-
pH	-	6-9	12,15	No cumple
Turbiedad	NTU	-	17140	-
Conductividad	mS/cm	-	7,897	-
Sólidos Suspendidos totales	mg/L	220	10610	No cumple

Sólidos sedimentables	mL/L	20	375	No cumple
Sólidos totales	mg/L	1600	4820	No cumple
Sulfuros (S)	mg/L	1,0	70,4	No cumple
Grasas y aceites	mg/L	70,0	160	
DQO	mg/L	500	12100	No cumple
DBO <sub>5</sub> (5 días)	mg/L	250	8600	No cumple

**Fuente:** Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

**Realizado por:** Telenchano René. 2021.

Como se observa en la tabla 14-3, la caracterización inicial al agua del pelambre se tiene todos los parámetros están fuera de la normativa legal lo que implica un grave riesgo al ecosistema debido a que se utiliza gran cantidad de productos químicos para depilar la piel, estos aspectos pueden conllevar a sanciones.

### 3.1.7. Índice de biodegradabilidad

La determinación del índice de biodegradabilidad permite conocer si la materia orgánica presente en el efluente es biodegradable o inerte y a su vez definir el tratamiento adecuado para la depuración, para ello se usa la relación entre DBO<sub>5</sub>/DQO. A continuación, en la siguiente tabla se indican los criterios de biodegradabilidad:

**Tabla 15-3:** Criterios de biodegradabilidad según la relación entre DBO<sub>5</sub>/DQO

DBO <sub>5</sub> / DQO	Carácter	Tratamiento
> 0,8	Muy biodegradable	Emplear tratamientos biológicos.
0,7 – 0,8	Biodegradable	Emplear tratamientos físico-químicos o biológicos.
0,3 – 0,7	Poco biodegradable	Emplear tratamientos físico-químicos, no es recomendable el uso de tratamientos biológicos.
< 0,3	No biodegradable	Tratamiento físico-químico

**Fuente:** (Bedoya et al., 2014: p. 7)

**Realizado por:** Telenchano René, 2021.

A continuación, se muestra el resultado obtenido de la relación entre el DBO<sub>5</sub> y DQO para el agua del proceso de pelambre en la Curtiduría Brito:

**Tabla 16-3:** Resultados de la relación de DBO<sub>5</sub>/DQO

Parámetro	Valor	Unidad
DBO <sub>5</sub>	8600	mg/L
DQO	12100	mg/L



Relación $DBO_5/DQO$	0,71	
----------------------	------	--

Realizado por: Telenchano René, 2021.

De la relación  $DBO_5/DQO$ , se obtuvo un valor de 0,71 por ende se trata de un efluente de naturaleza biodegradable, siendo adecuado los tratamientos físico-químicos o biológicos, en este caso se utiliza los dos, con el fin de reducir en primera instancia la carga contaminante se emplea un sistema de tratamiento biológico como es la aireación que posibilita oxidar sulfuros asegurando la remoción de los contaminantes orgánicos.

### 3.1.8. Pruebas de tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad son ensayos realizados a nivel de laboratorio para determinar las características de tratamiento y las medidas de implementación con el propósito de optimizar los resultados, además permitirá verificar la eficiencia de tratamiento propuesto previo a la ejecución del diseño.

La prueba de jarras permitirá efectuar simulaciones de diferentes procesos de coagulación, floculación empleados para la depuración de aguas residuales, con la finalidad de remover el material orgánico y coloidal presente en los efluentes de pelambre en la Curtiduría “Brito”.

#### 3.1.8.1. Selección del coagulante

Se trabaja con 4 coagulantes para el tratamiento del agua residual estos son: policloruro de aluminio, sulfato de aluminio, cloruro férrico y sulfato férrico, a continuación, se muestra el comportamiento frente a cada coagulante:

**Tabla 17-3:** Dosificación de diferentes coagulantes para agua de pelambre

Tipo de coagulante	pH oxidado con ácido	Volumen (ml)	pH agua tratada	Turbiedad (NTU)
Policloruro de aluminio (2%)	8,03	10	7,05	452,4
Sulfato de aluminio (5%)	7,22	10	6,91	188,5
Cloruro férrico (1%)	6,20	10	6,30	78,4
Sulfato férrico (1%)	6,15	10	10,7	1760,8
Volumen de muestra = 500 mL; Velocidad de agitación = 100 rpm; Tiempo de sedimentación = 1 hora				

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Telenchano René, 2021.



**Figura 3-3:** Selección del coagulante  
Realizado por: Telenchano René. 2021.

Conforme a los resultados arrojados en la tabla 17-3 indica que el coagulante idóneo para tratar este tipo de agua es el cloruro férrico, ya que para 500 ml de agua residual se evidencia cantidades bajas de pH y turbiedad, con el coagulante que dio mejores resultados se realiza un nuevo ensayo para determinar la concentración exacta de coagulante, para evitar un excesivo consumo de reactivos y reducir los costos del tratamiento.

### 3.1.8.2. Determinación de la concentración ideal de $FeCl_3$ para agua de pelambre

Inicialmente en esta etapa se requiere estabilizar el pH, para esto se utiliza Ácido Clorhídrico HCl, debido a que se requiere llegar a un pH neutro que favorezca la sedimentación.

**Tabla 18-3:** Determinación de concentración de  $FeCl_3$  1% para agua de pelambre

Volumen de $FeCl_3$ (ml)	pH agua residual oxidado con ácido	pH agua tratada	Turbiedad (NTU)
2	6,04	6,15	65,3
5	6,02	6,13	48,2
10	6,00	6,10	78,2
15	6,01	6,12	89,5

Volumen de muestra = 500 mL; Velocidad de agitación = 100 rpm; Tiempo de sedimentación = 1 hora

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Realizado por: Telenchano René. 2021.



**Figura 4-3:** Dosis óptima de coagulante  
Realizado por: Telenchano René. 2021.

En la tabla 18-3, se puede evidenciar que un volumen de 5 ml de  $\text{FeCl}_3$  al 1% permite disminuir considerablemente la turbiedad a 48,2 NTU en relación a los otros resultados, este resultado es relativamente bueno y adecuado para el tratamiento.

### 3.1.8.3. Selección del floculante

**Tabla 19-3:** Selección del floculante ideal para el agua de pelambre

Tipo de floculante	pH agua residual oxidado con ácido	Volumen (ml)	pH agua tratada	Turbiedad (NTU)
Aniónico / Polielectrolito (2%)	6,03	1	7,03	42,01
Catiónico	5,89	1	6,22	78,9
No iónico	6,12	1	6,30	65,4
Volumen de muestra = 500 mL; Velocidad de agitación = 100 rpm; Tiempo de sedimentación = 1 hora				

**Fuente:** Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.  
**Realizado por:** Telenchano René. 2021.

El floculante más idóneo para tratar agua de pelambre es el Polielectrolito Aniónico dado que la disminución de la turbiedad es excelente en comparación con los otros floculantes, con el floculante que dio mejores resultados se realizó nuevas pruebas, esto con el fin de reducir el consumo excesivo de insumos.

### 3.1.8.4. Determinación de la concentración ideal de floculante polielectrolito aniónico 2%

**Tabla 20-3:** Determinación de concentración de floculante aniónico 2% para agua de pelambre

Volumen de (ml) Floculante polielectrolito aniónico 2%	pH agua residual oxidado con ácido	pH agua tratada	Turbiedad (NTU)
0,5	6,04	6,10	35,7
1	6,20	6,13	42,5
2	5,99	6,05	67,8
Volumen de muestra = 500 mL; Velocidad de agitación = 100 rpm; Tiempo de sedimentación = 1 hora			

**Fuente:** Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

**Realizado por:** Telenchano René. 2021.

Observando la tabla 20-3, se deduce que la turbiedad disminuye considerablemente a 35,7 NTU con 0,5 ml de floculante polielectrolito aniónico al 2%, en comparación con los otros volúmenes empleados, por ende, se considera que la concentración ideal para el tratamiento es 0,5 ml.



**Figura 1-3:** Prueba de jarras dosis optima de floculante

**Realizado por:** Telenchano René. 2021.

### 3.1.8.5. Resultados finales de las pruebas de jarras

**Tabla 21-3:** Caracterización del agua residual después de las pruebas de tratabilidad

Parámetro	Unidad	Límite máximo permisible	Resultados	Cumple
Temperatura	°C	<40	20	Cumple
Color	Unidades de Pt/Co	-	126	-
pH	-	6-9	7,30	Cumple

Turbiedad	NTU	-	1,48	-
Conductividad	mS/cm	-	2,146	-
Sólidos Suspendidos totales	mg/L	220	12	Cumple
Sólidos sedimentables	mL/L	20	<0,1	Cumple
Sólidos totales	mg/L	1600	2,152	Cumple
Sulfuros (S)	mg/L	1,0	0,98	Cumple
DQO	mg/L	500	494	Cumple
DBO <sub>5</sub> (5 días)	mg/L	250	197,6	Cumple

**Fuente:** Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

**Realizado por:** Telenchano René, 2021.

### 3.1.9. Cálculos de ingeniería

A continuación, se presenta los cálculos de ingeniería para la propuesta de rediseño de la planta de tratamiento de agua residual de la Curtiduría “Brito”, se considera que se procesa 130 pieles de origen bovino mensualmente y se efectúa 1 carga de 33 a 35 pieles por semana es decir se realiza 4 cargas al mes.

#### 3.1.9.1. Cálculo del caudal de diseño

Para determinar el caudal del diseño se usará el caudal de pelambre con un factor de seguridad de 20%, esto con el fin de evitar fallos en el dimensionamiento, y considerar un posible aumento en sus niveles de producción, el caudal se determina mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{pelambre} = 16,76 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_d = Q_{pelambre} + Q_{pelambre} * fs$$

$$Q_d = 16,76 \text{ m}^3/\text{día} + (16,76 * 0,20)\text{m}^3/\text{día}$$

$$Q_d = 20,11 \text{ m}^3/\text{día}$$

Dónde:

$Q_d$ : Caudal de diseño, ( $\text{m}^3/\text{día}$ ).

$Q_{pelambre}$ : Caudal de pelambre real, ( $\text{m}^3/\text{día}$ ).

$fs$ : Factor de seguridad, (20%).

### 3.1.9.2. Diseño del canal de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales

Se propone el diseño de un canal de entrada a la planta de tratamiento, debido a que es importante contar con un canal que recepte y conduzca al efluente directo a la planta, además podemos incorporar un conjunto de rejillas que facilitarían la retención de residuos sólidos gruesos.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO, la estructura de conducción de agua en una sección rectangular deben tener las siguientes dimensiones:

$$\text{Anchura del canal} = 0,50 \text{ m}$$

$$\text{Altura del canal hasta el agua} = 0,40 \text{ m}$$

#### ✓ Área del canal

$$A_c = b * h$$

$$A_c = (0,50 \text{ m})(0,4 \text{ m})$$

$$A_c = 0,20 \text{ m}^2$$

Dónde:

$A_c$ : Área del canal, ( $\text{m}^2$ ).

$b$ : Ancho del canal, (m).

$h$ : Altura del canal hasta el agua, (m).

#### ✓ Radio hidráulico del canal

$$R_h = \frac{b * h}{b + 2h}$$

$$R_h = \frac{(0,50 \text{ m})(0,4 \text{ m})}{0,50 \text{ m} + 2(0,4 \text{ m})}$$

$$R_h = 0,153 \text{ m}$$

Dónde:

$R_h$ : Radio hidráulico, (m).

$b$ : Ancho del canal, (m).

$h$ : Altura del canal hasta el nivel de agua, (m).

#### ✓ Velocidad media de la corriente por el canal

Es importante determinar la velocidad a la cual el agua del pelambre recorrerá a lo largo del canal, para ello se emplea el coeficiente de Manning, considerando una construcción de hormigón de superficie lisa:

**Tabla 22-3:** Coeficiente de rugosidad de Manning

Tipo de material	Coeficiente de Manning
Hormigón de superficie lisa	0,013
Hormigón de superficie rugosa	0,013
Membrana de plástico sumergida	0,027

Fuente: (Estrada, 2013, p. 38); (Sotelo, 2002, pp. 105-107)

$$v_m = \frac{1}{n} * R_h^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$v_m = \frac{1}{0,013 \frac{s}{m^{1/3}}} * (0,153 m)^{2/3} * (0,0002 m/m)^{1/2}$$

$$v_m = 0,311 m/s$$

Dónde:

$v_m$ : Velocidad media de la corriente que circula por el canal, m/s

$n$ : Coeficiente de Manning,  $\frac{s}{m^{1/3}}$

$R_h$ : Radio hidráulico, m

$S$ : Gradiente hidráulico, m/m. (0,0002 m/m)

✓ **Altura máxima del agua**

Tomando en cuenta que el afluyente líquido circulará por un canal abierto, se tiene la siguiente expresión:

$$h = \frac{b}{2}$$

$$b = 2h$$

Haciendo la relación con  $A_c = b * h$  se deduce la siguiente ecuación:

$$A_c = 2h * h$$

$$A_c = 2h^2$$

$$h^2 = \frac{A_c}{2}$$

$$h_{m\acute{a}x} = \sqrt{\frac{A_c}{2}}$$

$$h_{m\acute{a}x} = \sqrt{\frac{0,20 \text{ m}^2}{2}}$$

$$h_{m\acute{a}x} = 0,32 \text{ m}$$

Dónde:

$h_{m\acute{a}x}$ : Altura máxima de agua, m

$A_c$ : Área del canal,  $m^2$

#### ✓ **Altura total del canal**

A fin de evitar el rebose de agua se considera un factor de seguridad del 20%

$$H_c = h + h_s$$

$$H_c = (0,40 + 0,20)m$$

$$H_c = 0,60 \text{ m}$$

Dónde:

$H_c$ : Altura total del canal, m

$h$ : Altura del canal hasta el nivel del agua, m

$h_s$ : Altura de seguridad, m

#### ✓ **Dimensionamiento de rejillas**

El sistema de cribado consiste en un conjunto de rejillas de abertura determinada y uniforme cuya función es retener sólidos de gran tamaño presentes en el agua residual para evitar la obstrucción de bombas, válvulas es decir posibles daños en sistemas subsiguientes, para plantas de tratamiento pequeñas se sugiere comúnmente el uso de rejillas del tipo de limpieza manual.

Para el rediseño es indispensable colocar rejillas, debido a que el efluente líquido viene cargado de residuos sólidos como carnazas, recortes de cuero, sangre, pelo, etc., que quedaran retenidos en esta etapa, a continuación, en la siguiente tabla se muestra las consideraciones de diseño:



**Tabla 23-3:** Consideraciones de diseño para rejillas de limpieza manual

Parámetro	Limpieza manual	Unidad
Forma de la barra	Circular	
Espesor de la barra (e)	5-15	mm
Profundidad (h)	2,5 -7,5	mm
Separación entre barras (s)	15-50	mm
Angulo de inclinación ( $\theta$ )	45-60	Grados
Velocidad a través de las barras	0,3-0,6	m/s
Velocidad media	0,3-0,6	m/s

Fuente: (Eddy y Metcalf, 1995)

Realizado por: Telenchano René. 2021.

✓ **Longitud de las barras**

$$L_b = \frac{h_{m\acute{a}x}}{\text{Sen}\theta}$$

$$L_b = \frac{0,32 \text{ m}}{\text{Sen } 60}$$

$$L_b = 0,37 \text{ m}$$

Dónde:

$L_b$ : Longitud de las barras, m

$h_{m\acute{a}x}$ : Altura máxima de agua, m

$\theta$ : Ángulo de inclinación, 60 grados.

✓ **Número de barras para rejillas finas**

$$N_b = \frac{b}{e + s}$$

$$N_b = \frac{0,50 \text{ m}}{(0,015 + 0,05)\text{m}}$$

$$N_b = 7,7 \approx 8$$

Dónde:

$N_b$ : Número de barras

$b$ : Ancho del canal, m

$s$ : Separación entre barras, m

$e$ : Espesor máximo de las barras, m

✓ **Nivel máximo de agua**

$$n_{m\acute{a}x} = \frac{Q_d}{v_m * b}$$

$$n_{m\acute{a}x} = \frac{0,000232 \text{ m}^3/\text{s}}{0,311 \text{ m/s} * 0,50 \text{ m}}$$

$$n_{m\acute{a}x} = 0,0015 \text{ m}$$

Dónde:

$n_{m\acute{a}x}$ : Nivel máximo de agua, m

$Q_d$ : Caudal de diseño,  $\text{m}^3/\text{s}$   $20,11 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ s}} = 0,000232 \text{ m}^3/\text{s}$

$v_m$ : Velocidad media de la corriente por el canal, m/s

$b$ : Ancho del canal, m

✓ **Longitud sumergida de las barras**

$$L_s = \frac{n_{m\acute{a}x}}{\text{sen}\theta}$$

$$L_s = \frac{0,0015 \text{ m}}{\text{sen } 60}$$

$$L_s = 0,0017 \text{ m}$$

Dónde:

$L_s$ : Longitud sumergida de las barras, m

$n_{m\acute{a}x}$ : Nivel máximo de agua, m

$\theta$ : Ángulo de inclinación, 60 grados








✓ **Pérdida de carga a través de las rejillas**

Se considera el uso de rejillas circulares por lo tanto el coeficiente de perdida será catalogado según la siguiente tabla:

**Tabla 24-3:** Coeficiente de perdida de rejillas

Forma	A	B	C	D	E	F	G
$\beta$	2,42	1,79	1,83	1,035	1,67	0,76	0,92

Fuente: Normas RASS, 2000.

Factor de forma de barras para rejillas $\beta$						
2.42	1.79	1.83	1.035	1.67	0.76	0.92
						

**Figura 5-3:** Valores del coeficiente  $\beta$  para rejillas  
Fuente: (RASS, 2000)

$$h_c = 1,79 * \left( \frac{0,50 \text{ m}}{0,05 \text{ m}} \right)^{4/3} * \frac{(0,311 \text{ m/s})^2}{2(9,8 \text{ m/s}^2)} * (\text{Sen } 60)$$

$$h_c = 0,16 \text{ m}$$

Dónde:

$h_c$ : Pérdida de carga a través de las rejillas, m

$\beta$ : Coeficiente de pérdida de rejillas.

$b$ : Ancho del canal, m

$s$ : Separación entre barras, m

$v_m$ : Velocidad media de la corriente por el canal, m/s

$g$ : Gravedad, 9,8 m/s<sup>2</sup>

### 3.1.9.3. Dimensionamiento del tanque de aireación

Para el rediseño se implementará un equipo de aireación difusa, es decir se colocará en la parte inferior del tanque conductos con orificios que inyecten aire bajo presión lo que generará burbujas en el agua, con el objetivo de incorporar oxígeno al agua residual del pelambre además se añadirá sulfato de manganeso al 5%, con el fin de oxidar sulfuros y facilitar su tratabilidad.

El sistema de aireación se incorporará en antiguo tanque del sistema de filtrado ya existente en la curtiduría, para esto se considera las dimensiones suscritas en la tabla 9-3.

#### ✓ Volumen del tanque de aireación

$$V_{ta} = H_{ta} * L_{ta} * b_{ta}$$

$$V_{ta} = (1,5 \text{ m})(2,0 \text{ m})(1,1 \text{ m})$$

$$V_{ta} = 3,3 \text{ m}^3$$

Dónde:

$V_{ta}$ : Volumen del tanque de aireación,  $m^3$

$H_{ta}$ : Altura del tanque de aireación, m

$L_{ta}$ : Longitud del tanque de aireación, m

$b_{ta}$ : Ancho del tanque de aireación, m

#### ✓ Cálculo de la concentración del aire para el agua de pelambre

Para determinar la cantidad de oxígeno a suministrar con el fin de ayudar a disminuir la concentración de contaminantes presentes en el agua residual, se empleará el parámetro de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), según la siguiente ecuación:

$$Q_{aire} = DBO_5 * Q_d$$

$$Q_{aire} = 8600 \frac{mg \text{ DBO}_5}{L} * \frac{1 \text{ kg DBO}_5}{10^6 \text{ mg DBO}_5} * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{20,11 \text{ m}^3}{\text{día}} * \frac{154 \text{ m}^3 \text{ aire}}{1 \text{ kg DBO}_5} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_{aire} = 18,49 \text{ m}^3/\text{min}$$

Dónde:

$Q_{aire}$ : Caudal de aire necesario para degradar el DBO5,  $m^3/\text{min}$

$DBO_5$ : Concentración de DBO5 de la caracterización inicial,  $18,49 \text{ m}^3/\text{min}$

$Q_d$ : Caudal de diseño,  $m^3/\text{día}$

#### ✓ Cálculos del diseño del compresor

Se empleará un compresor para suministrar presión y adicionar aire mediante un sistema de tubería con perforaciones de alrededor de 0,5 mm. Mientras el tamaño del orificio sea menor, será mayor la eficiencia del sistema de aireación, seguidamente se muestra los datos para el diseño del compresor:

**Tabla 25-3:** Características físico-químicas del agua residual

Temperatura (°C)	Densidad ( $kg/m^3$ )	Viscosidad dinámica ( $N \cdot s/m^2$ )
20	998,2	$1,102 * 10^{-3}$

Realizador por: Telenchano René, 2021.

✓ **Presión hidrostática del agua**

$$P_{ha} = \rho * g * H_{ta}$$

$$P_{ha} = 998,2 \frac{kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2} * 1,5 m$$

$$P_{ha} = 14673,5 Pa * \frac{1 atm}{101325 Pa} * \frac{14,7 Psi}{1 atm}$$

$$P_{ha} = 2,13 Psi$$

Dónde:

$P_{ha}$ : Presión hidrostática del agua, psi

$\rho$ : Densidad del agua,  $Kg/m^3$

$g$ : Gravedad,  $m/s^2$

$H_{ta}$ : Altura del tanque de aireación, m

✓ **Presión absoluta**

$$P_a = P_{ha} + P_{atm}$$

$$P_a = (2,13 + 14,85) Psi$$

$$P_a = 16,98 Psi$$

Dónde:

$P_a$ : Presión absoluta, psi

$P_{ha}$ : Presión hidrostática del agua, psi

$P_{atm}$ : Presión atmosférica, 14,85 psi presión atmosférica de Ambato

✓ **Variación térmica del aire de compresor**

$$\Delta T_{ad} = \frac{T_a}{\eta} \left[ \left( \frac{P_a}{P_{atm}} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

$$\Delta T_{ad} = \frac{273 + 20 \text{ } ^\circ C}{0,75} \left[ \left( \frac{16,98}{14,85} \right)^{0.283} - 1 \right]$$

$$\Delta T_{ad} = 15,10 \text{ } ^\circ C$$

Dónde:

$T_a$ : Temperatura ambiente, 20 °C

$P_a$ : Presión absoluta, psi

$P_{atm}$ : Presión atmosférica, psi

$\eta$ : Eficiencia compresor, 75%

✓ **Temperatura de salida de aire**

$$\begin{aligned}T_S &= T_a + \Delta T_{ad} \\T_S &= 20\text{ °C} + 15,10\text{ °C} \\T_S &= 35,10\text{ °C}\end{aligned}$$

Dónde:

$T_S$ : Temperatura de salida del aire, °C

$T_a$ : Temperatura ambiente, 20 °C

$\Delta T_{ad}$ : Variación térmica del compresor, °C

✓ **Potencia del compresor**

$$\begin{aligned}P_c &= \frac{0,22 Q_{aire}}{\eta} \left[ \left( \frac{P_a}{P_{atm}} \right)^{0.283} - 1 \right] \\P_c &= \frac{0,22 (652.88 \frac{ft^3}{min})}{0,75} \left[ \left( \frac{16,98}{14,85} \right)^{0.283} - 1 \right] \\P_c &= 7,4\text{ Hp} \cong 7\text{ Hp}\end{aligned}$$

Dónde:

$Q_{aire}$ : Caudal de aire de compresión,  $18,49 \frac{m^3}{min} * \frac{35,31ft^3}{m^3} = 652.88 \frac{ft^3}{min}$

$P_a$ : Presión absoluta, psi

$P_{atm}$ : Presión atmosférica, psi

$\eta$ : Eficiencia, 75%

✓ **Sistema de tuberías**

Para la selección de la tubería se considera la presencia de presiones bajas por lo que el material elegido es tubería de PVC, y para la elección del diámetro de tubería se toma como referencia el caudal del aire a suministrar al sistema.

**Tabla 26-3:** Relación diámetro/caudal

Caudal ( $\frac{m^3}{min}$ )	Diámetro (m)
3,75	0,100
11,05	0,150
32,2	0,225
69,7	0,300

Fuente: (Romero, 2012)

Realizado por: Telenchano René, 2021.

Se interpola para un caudal de aire de  $18,49 \frac{m^3}{min}$

$$\frac{32,2 - 11,05}{18,49 - 11,05} = \frac{0,225 - 0,150}{x - 0,150}$$

$$x = 0,18$$

✓ **Numero de difusores**

Se seleccionó difusores de banda ancha y burbuja gruesa, en donde se un flujo de aire por difusor de

$67 \frac{m^3}{h}$

$$N = \frac{\text{caudal de aire necesario}}{\text{caudal de aire por difusor}}$$

$$N = \frac{18,49 \frac{m^3}{min} * \frac{60 min}{1 h}}{67 \frac{m^3}{h}}$$

$$N = \frac{18,49 \frac{m^3}{min} * \frac{60 min}{1 h}}{67 \frac{m^3}{h}}$$

$$N = 17 \text{ difusores}$$

✓ **Dosificación del sulfato de manganeso (MnSO<sub>4</sub>) al 5%**

A nivel de laboratorio se suministraba 1 gramo de MnSO<sub>4</sub> en 1000 ml de agua residual.

$$D_{MnSO_4} = V_d * C_1$$

$$D_{MnSO_4} = 20110 L * 1000 \frac{mg}{1 L} * \frac{1 Kg}{1 \times 10^6 mg}$$

$$D_{MnSO_4} = 20,11 \frac{Kg MnSO_4}{carga}$$

Dónde:

$D_{MnSO_4}$ : Dosis óptima de sulfato de manganeso, kg/carga

$V_d$ : Volumen de diseño, L

$C_1$ : Concentración de dosis óptima de  $MnSO_4$ , 1000 ppm

Debido a que se procesa 130 pieles al mes se realiza 4 cargas por lote, por lo tanto, la cantidad de  $MnSO_4$  es de:

$$D_{MnSO_4} = 4 * 20,11 \text{ Kg } MnSO_4$$
$$D_{MnSO_4} = 80,44 \text{ Kg de } MnSO_4 /mes$$

#### 3.1.9.4. Dimensionamiento del tanque de coagulación y floculación

Para el rediseño del tanque de coagulación y floculación se dará uso al tanque del sistema de dosificación ya existente en la curtiduría, sus dimensiones podemos hallarla en la tabla 10-3.

##### ✓ Volumen del tanque de coagulación y floculación

$$V_{CF} = H_{CF} * L_{CF} * b_{CF}$$
$$V_{CF} = (1,5 \text{ m})(2,0 \text{ m})(1,4\text{m})$$
$$V_{CF} = 4,2\text{m}^3$$

Dónde:

$V_{CF}$ : Volumen del tanque de coagulación y floculación,  $m^3$

$H_{CF}$ : Altura del tanque de coagulación y floculación, m

$L_{CF}$ : Longitud del tanque de coagulación y floculación, m

$b_{CF}$ : Ancho del tanque de coagulación y floculación, m

##### ✓ Diseño del sistema de agitación / Longitud de la paleta

Se propone un diseño con turbina de 6 paletas planas dado a su amplio rango de utilidad para fluidos viscosos.

$$L = \frac{D_{CM}}{4}$$
$$L = \frac{1,5 \text{ m}}{4}$$



$$L = 0,38 \text{ m}$$

Dónde:

L: Longitud de la paleta del impulsor, m

$D_{CM}$ : Diámetro de la cámara de mezcla, m

✓ **Alto de la paleta**

$$W = \frac{D_{CM}}{4}$$

$$W = \frac{1,5 \text{ m}}{4}$$

$$W = 0,38 \text{ m}$$

Dónde:

W: Alto de la paleta, m

$D_{CM}$ : Diámetro de la cámara de mezcla, m

✓ **Potencia**

**Tabla 27-3:** Parámetros de diseño para mezcladores de turbina

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

Fuente: HPE/OPS/CEPIS/, 1992

$$P = G^2 * \mu * V_{CF}$$

$$P = (500s^{-1})^2 * 1,102 * 10^{-3} \frac{N \cdot s}{m^2} * 4,2m^3$$

$$P = 1157,1 \text{ W}$$

$$P = 1,55 \text{ Hp} \cong 2 \text{ Hp}$$

Dónde:

P: Potencia del motor, Hp

G: Gradiente de velocidad,  $s^{-1}$

$\mu$ : Viscosidad dinámica del agua a 20°C,  $N \cdot s/m^2$

$V_{CF}$ : Volumen del tanque de coagulación y floculación,  $m^3$

✓ **Diámetro de turbina**

$$D_T = \frac{D_{CM}}{2}$$

$$D_T = \frac{1,5 \text{ m}}{2}$$

$$D_T = 0,75 \text{ m}$$

Dónde:

$D_T$ : Diámetro de turbina, m

$D_{CM}$ : Diámetro de la cámara de mezcla, (m).

#### ✓ Velocidad de rotación

Se tiene que para una turbina de 6 placas planas el número de potencia  $K = 6,3$ .

$$P = K * n^3 * D_T^5 * \rho$$

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

$$n = \sqrt[3]{\frac{1157,1 \text{ W}}{6,3 * (0,75 \text{ m})^5 * 998,2 \text{ Kg/m}^3}}$$

$$n = 0,92 \text{ rev/s} = 55 \text{ rpm}$$

#### ✓ Dosificación del Cloruro Férrico $\text{FeCl}_3$

$$C_{\text{FeCl}_3} * V_{\text{FeCl}_3} = C_2 * V_2$$

$$C_2 = \frac{C_{\text{FeCl}_3} * V_{\text{FeCl}_3}}{V_2}$$

$$C_2 = \frac{0,01 \frac{\text{g}}{\text{mL}} * 5 \text{ mL}}{500 \text{ mL}}$$

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

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

Dónde:

$C_{FeCl_3}$ : Concentración de  $FeCl_3$ , 1%

$C_2$ : Concentración de  $FeCl_3$  en la dosificación óptima, g/L

$V_{FeCl_3}$ : Volumen de la dosificación, L

$V_2$ : Volumen de la dosificación óptima de la solución, L

$$D_{FeCl_3} = V_d * C_2$$
$$D_{FeCl_3} = 20110 L * 0,1 \frac{g}{L} * \frac{1 Kg}{1000 g}$$
$$D_{FeCl_3} = 2,01 \frac{Kg FeCl_3}{carga}$$

Dónde:

$D_{FeCl_3}$ : Dosis óptima de cloruro férrico, Kg/carga

$V_d$ : Volumen de diseño, L

$C_2$ : Concentración de  $FeCl_3$  en la dosis óptima, g/L

Debido a que se procesa 130 pieles al mes se realiza 4 cargas por lote, por lo tanto, la cantidad de  $FeCl_3$  es de:

$$D_{FeCl_3} = 4 * 2,01 Kg FeCl_3$$
$$D_{FeCl_3} = 8,04 Kg FeCl_3 /mes$$

#### ✓ Dosificación del floculante aniónico

$$C_F * V_F = C_3 * V_3$$
$$C_3 = \frac{C_F * V_F}{V_3}$$
$$C_3 = \frac{0,02 \frac{g}{mL} * 0,5 mL}{500 mL}$$
$$C_3 = 2 * 10^{-5} \frac{g}{mL} * \frac{1000 mL}{1 L}$$
$$C_3 = 0,02 \frac{g}{L}$$

Dónde:

$C_F$ : Concentración de floculante aniónico, 2%

$C_3$ : Concentración de floculante aniónico en la dosificación óptima, g/L

$V_F$ : Volumen de la dosificación, L

$V_3$ : Volumen de la dosificación óptima de la solución, L

$$D_F = V_d * C_3$$

$$D_F = 20110 \text{ L} * 0,02 \frac{\text{g}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}}$$

$$D_F = 0,40 \frac{\text{Kg floculante}}{\text{carga}}$$

Dónde:

$D_F$ : Dosis óptima de floculante aniónico, Kg/carga

$V_d$ : Volumen de diseño, L

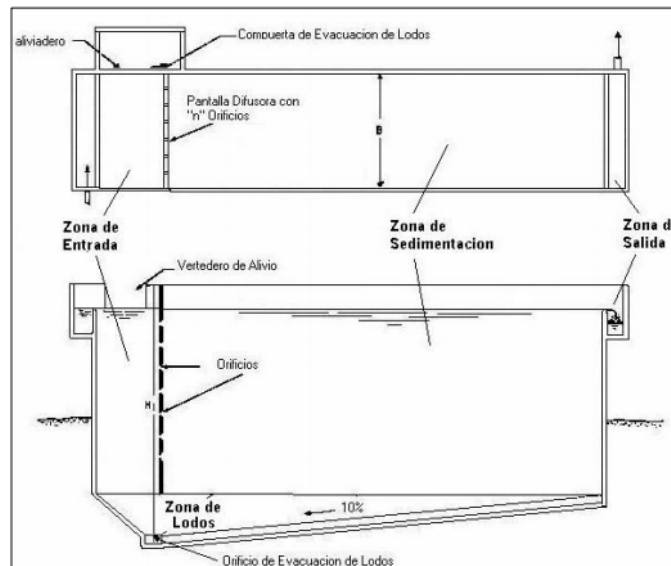
$C_3$ : Concentración de floculante aniónico en la dosis óptima, g/L

Debido a que se procesa 130 pieles al mes se realiza 4 cargas por lote, por lo tanto, la cantidad de floculante aniónico es de:

$$D_F = 4 * 0,40 \text{ Kg floculante}$$

$$D_F = 1,6 \text{ Kg floculante /mes}$$

### 3.1.9.5. Dimensionamiento del sedimentador rectangular



**Figura 6-3:** Sedimentador rectangular

Fuente: OPS, 2005.

**Tabla 28-3:** Consideraciones de diseño para sedimentadores rectangulares

Parámetro	Valor	Unidad
-----------	-------	--------

Distancia desde la pared de entrada	0,7-1,0	m
Distancia de la pared inferior al sedimentador	0,8	m
Los orificios más altos a partir de la superficie	1/5 – 1/6	m
Los orificios más bajos a partir del fondo	1/4 - 1/5	m
Los orificios deben ser aboquillados en el sentido del flujo	15	°
Velocidad inicial paso entre orificios	≤ 0,15	m/s

Fuente: CEPIS, 2012.

Realizado por: Telenchano René, 2021.

### ✓ Diseño de pantalla difusora / Área total de orificios

$$A_o = \frac{Q_d}{V_o}$$

$$A_o = \frac{2,33 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{0,01 \text{ m/s}}$$

$$A_o = 0,02 \text{ m}^2$$

Dónde:

$A_o$ : Área superficial de la unidad,  $m^2$

$Q_d$ : Caudal de diseño,  $20,11 \frac{m^3}{\text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ s}} = 2,33 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

$V_o$ : Velocidad inicial de paso entre orificios, m/s

### ✓ Área de cada orificio

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

$$a_o = \frac{\pi * (0,075 \text{ m})^2}{4}$$

$$a_o = 0,0044 \text{ m}^2$$

Dónde:

$a_o$ : Área de cada orificio,  $m^2$

$D$ : Diámetro del orificio, 0,075 m

### ✓ Número de orificios

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

$$n_o = \frac{0,02 \text{ m}^2}{0,0044 \text{ m}^2}$$

$$n_o = 5$$

Dónde:

$n_o$ : Número de orificios

$A_o$ : Área superficial de la unidad,  $m^2$

$a_o$ : Área de cada orificio,  $m^2$

✓ **Zona de sedimentación/ Longitud del sedimentador**

$$\frac{L}{B} = 3,45$$

Se asume un ancho del sedimentador  $B = 1,2 \text{ m}$

$$L = 3,45B$$

$$L = 3,45 * 1,2 \text{ m}$$

$$L = 4,14 \text{ m}$$

✓ **Altura del sedimentador**

$$\frac{L}{H} = 5,05$$

$$H = \frac{L}{5,05}$$

$$H = \frac{4,14 \text{ m}}{5,05}$$

$$H = 0,82 \text{ m}$$

✓ **Velocidad de sedimentación**

$$V_s = \frac{Q_d}{L * B}$$

$$V_s = \frac{2,33 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{4,14 \text{ m} * 1,2 \text{ m}}$$

$$V_s = 4,7 * 10^{-5} \text{ m/s}$$

Dónde:

$V_s$ : Velocidad de sedimentación, m/s

$Q_d$ : Caudal de diseño,  $20,11 \frac{m^3}{dia} * \frac{1 \text{ dia}}{86400 \text{ s}} = 2,33 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

L: Longitud del sedimentador, m

B: Ancho del sedimentador, m

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

$$A_s = \frac{Q_d}{V_s}$$
$$A_s = \frac{2,33 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}{4,7 * 10^{-5} m/s}$$
$$A_s = 4,96 m^2$$

Dónde:

$A_s$ : Área superficial en la zona de sedimentación,  $m^2$

$Q_d$ : Caudal de diseño,  $20,11 \frac{m^3}{día} * \frac{1 día}{86400 s} = 2,33 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

$V_s$ : Velocidad de sedimentación, m/s

✓ **Volumen del sedimentador**

$$V = L * B * H$$
$$V = (4,14 m) * (1,2 m) * (0,82 m)$$
$$V = 4,07 m^3$$

Dónde:

V: Volumen del sedimentador,  $m^3$

L: Longitud del sedimentador, m

B: Ancho del sedimentador, m

H: Altura del sedimentador, m

✓ **Periodo de retención**

$$T_o = \frac{V}{Q_d}$$
$$T_o = \frac{4,07 m^3}{2,33 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}}$$
$$T_o = 17467,8 s * \frac{1 h}{3600 s}$$
$$T_o = 4,85 h$$

Dónde:

$T_o$ : Periodo de retención, h

$Q_d$ : Caudal de diseño,  $20,11 \frac{m^3}{día} * \frac{1 día}{86400 s} = 2,33 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$

V: Volumen del sedimentador,  $m^3$

✓ **Zona de recolección de lodos / Altura máxima**

Los lodos serán recolectados en la disposición final del sedimentador, está cuenta con una pendiente de 10% en el fondo, por lo que se tiene como altura máxima:

$$H_{max} = H + (0,10H)$$

$$H_{max} = 0,82 m + (0,10 * 0,82 m)$$

$$H_{max} = 0,9 m$$

Dónde:

$H_{max}$ : Altura máxima del sedimentador, m

H: Altura del sedimentador, m

### 3.1.9.6. Dimensionamiento del sistema de filtrado

Se propone un filtro granular de 5 medios filtrantes, para el dimensionamiento de este se considera los siguientes parámetros:



**Figura 7-3:** Filtro utilizado

Realizador por: Telenchano René, 2021.

**Tabla 29-3:** Consideraciones de diseño del filtro

Parámetro	Valor	Valor típico
-----------	-------	--------------



Tasas de filtración (m/día)	2 – 12	9
Altura del agua sobre el lecho (m)	1 – 1,5	1,25
Altura del drenaje (m)	0,2 – 0,7	0,55

Fuente: Romero, 1999.

Realizado por: Telenchano René, 2021.

### ✓ Caudal del filtrado

Se determina el caudal de filtrado con una pérdida del 5% en relación al caudal de diseño.

$$Q_f = Q_d * 0,95$$

$$Q_f = 20,11 \frac{m^3}{dia} * 0,95$$

$$Q_f = 19,10 \frac{m^3}{dia}$$

Donde:

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

$Q_d$ : Caudal de diseño,  $\frac{m^3}{dia}$

### ✓ Número de filtros

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

$$n = 0,044 * \sqrt{19,10 \frac{m^3}{dia}}$$

$$n = 0,2 \cong 1$$

Donde:

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

$n$ : número de filtros

### ✓ Área del filtro

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

$$A_f = \frac{19,10 \frac{m^3}{\text{día}}}{9 \frac{m}{\text{día}}}$$

$$A_f = 2,12 m^2$$

Dónde:

$A_f$ : Área del filtro,  $m^2$

$Q_f$ : Caudal de filtrado,  $\frac{m^3}{\text{día}}$

$T_f$ : Tasa de filtración,  $\frac{m}{\text{día}}$

✓ **Coefficiente de costo mínimo**

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

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

$$K_c = 1$$

Dónde:

$K_c$ : Coeficiente de costo mínimo

$n$ : Número de filtros

✓ **Ancho del filtro**

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

$$B_f = \sqrt{\frac{2,12 m^2}{1}}$$

$$B_f = 1,46 m$$

Dónde:

$B_f$ : Ancho del filtro, m

$A_f$ : Área del filtro,  $m^2$

$K_c$ : Coeficiente de costo mínimo

✓ **Largo del filtro**

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

$$L_f = \sqrt{2,12 m^2 * 1}$$

$$L_f = 1,46 \text{ m}$$

Dónde:

$L_f$ : Largo del filtro, m

$A_f$ : Área del filtro,  $m^2$

$K_c$ : Coeficiente de costo mínimo

✓ **Altura del lecho filtrante**

El lecho filtrante está formado por varias capas: grava fina, zeolita, carbón activado, arena de mar y arena de río.

$$H_f = e_{g2} + e_z + e_{ca} + e_{a1} + e_{a2}$$

$$H_f = 10 \text{ cm} + 6 \text{ cm} + 10 \text{ cm} + 12 \text{ cm} + 15 \text{ cm}$$

$$H_f = 53 \text{ cm}$$

$$H_f = 0,53 \text{ m}$$

Dónde:

$H_f$ : Altura del lecho filtrante, m

$e_g$ : Espesor de grava fina, cm

$e_z$ : Espesor zeolita, cm

$e_{ca}$ : Espesor carbón activado, cm

$e_{a1}$ : Espesor arena de mar, cm

$e_{a2}$ : Espesor arena de río, cm

✓ **Altura del filtro**

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

$$Z_f = 1,10(0,53 \text{ m} + 0,55 \text{ m} + 1,25 \text{ m} + 0,12 \text{ m})$$

$$Z_f = 2,7 \text{ m}$$

Dónde:

$Z_f$ : Altura del filtro, m

$f_s$ : Factor de seguridad, 10%

$H_f$ : Altura del lecho filtrante, m

$F_C$ : Altura de drenaje, 0,55 m

$C_a$ : Altura de agua sobre el lecho, 1,25 m

$C_S$ : Altura de la capa se soporte de grava, 0,12 m

✓ **Volumen del filtro**

$$V_f = Z_f * L_f * B_f$$
$$V_f = 2,7m * 1,46m * 1,46m$$
$$V_f = 5,62m^3$$

Dónde:

$V_f$ : Volumen del filtro, m

$Z_f$ : Altura del filtro, m

$L_f$ : Largo del filtro, m

$B_f$ : Ancho del filtro, m

✓ **Sistema de drenaje / Área del orificio**

Se considera 4 mm como diámetro del orificio de drenaje para determinar el área del orificio.

$$A_o = \frac{\pi * D_o^2}{4}$$
$$A_o = \frac{\pi * (0,004m)^2}{4}$$
$$A_o = 1,26 * 10^{-5}m^2$$

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

#### 4.1. Resultados del dimensionamiento del rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría “Brito”

**Tabla 1-4:** Resultados de cálculo del caudal

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Caudal calculado o real	$Q_c$	16,76	$m^3/día$
Caudal de diseño	$Q_d$	20,11	$m^3/día$

Realizado por: Telenchano René, 2021.

**Tabla 2-4:** Resultados de dosificación

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Dosificación del $MnSO_4$	$D_{MnSO_4}$	80,44	$Kg/mes$
Dosificación del $FeCl_3$	$D_{FeCl_3}$	8,04	$Kg/mes$
Dosificación del floculante aniónico	$D_F$	1,6	$Kg/mes$

Realizado por: Telenchano René, 2021.

**Tabla 3-4:** Dimensiones del canal de entrada

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Anchura del fondo	$b$	0,50	$m$
Altura del agua	$h$	0,40	$m$
Área del canal	$A_c$	0,20	$m^2$
Radio hidráulico	$R_h$	0,153	$m$
Pendiente	$S$	0,02	%
Velocidad media de la corriente por el canal	$v_m$	0,311	$m/s$
Altura máxima del agua	$h_{máx}$	0,32	$m$
Altura total del canal	$H_c$	0,60	$m$

Realizado por: Telenchano René, 2021.

**Tabla 4-4:** Dimensiones del sistema de rejillas de limpieza manual

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Longitud de las barras	$L_b$	0,37	$m$
Angulo de inclinación	$\theta$	60	grado
Espesor de la barra	$e$	0,015	$m$
Número de barras	$N_b$	8	$m$

Nivel máximo de agua	$n_{m\acute{a}x}$	0,0015	$m$
Longitud sumergida de las barras	$L_s$	0,0017	$m$
Pérdida de carga a través de las rejillas	$h_c$	0,16	$m$

Realizado por: Telenchano René, 2021.

**Tabla 5-4:** Dimensiones del tanque de aireación

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Longitud del tanque de aireación	$L_{ta}$	2,0	$m$
Ancho del tanque de aireación	$b_{ta}$	1,1	$m$
Altura del tanque de aireación	$H_{ta}$	1,5	$m$
Volumen del tanque de aireación	$V_{ta}$	3,3	$m^3$
<b>Sistema de aireación</b>			
Caudal de aire	$Q_{aire}$	18,49	$m^3/min$
Presión hidrostática del agua	$P_{ha}$	2,13	$Psi$
Presión absoluta	$P_a$	16,98	$psi$
Variación térmica del aire de compresor	$\Delta T_{ad}$	15,10	$^{\circ}C$
Temperatura de salida de aire	$T_s$	35,10	$^{\circ}C$
Potencia del compresor	$P_c$	7,0	$Hp$
Número de difusores	$N$	17	

Realizado por: Telenchano René, 2021.

**Tabla 6-4:** Dimensiones del tanque de coagulación y floculación

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Volumen del tanque de coagulación y floculación	$V_{CF}$	4,2	$m^3$
Altura del tanque de coagulación y floculación	$H_{CF}$	1,5	$m$
Longitud del tanque de coagulación y floculación	$L_{CF}$	2,0	$m$
Ancho del tanque de coagulación y floculación	$b_{CF}$	1,4	$m$
<b>Sistema de agitación</b>			
Longitud de la paleta	$L$	0,38	$m$
Alto de la paleta	$W$	0,38	$m$
Gradiente de velocidad	$G$	500	$s^{-1}$
Diámetro de turbina	$D_T$	0,75	$m$
Potencia	$P$	2	$Hp$
Velocidad de rotación	$n$	55	$rpm$

Realizado por: Telenchano René, 2021.

**Tabla 7-4:** Dimensiones del sedimentador rectangular

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
<b>Pantalla difusora</b>			

Área total de orificios	$A_o$	0,02	$m^2$
Área de cada orificio	$a_o$	0,0044	$m^2$
Número de orificios	$n_o$	5	
<b>Zona de sedimentación</b>			
Longitud del sedimentador	$L$	4,14	$m$
Ancho del sedimentador	$B$	1,2	$m$
Altura del sedimentador	$H$	0,82	$m$
Volumen del sedimentador	$V$	4,07	$m^3$
Velocidad de sedimentación	$V_s$	$4,7 * 10^{-5}$	$m/s$
Área superficial	$A_s$	4,96	$m^2$
Periodo de retención	$T_o$	4,85	$h$
<b>Zona de recolección de lodos</b>			
Pendiente		10	%
Altura máxima	$H_{max}$	0,9	$m$

Realizado por: Telenchano René, 2021.

**Tabla 8-4:** Dimensiones del sistema de filtrado

Parámetros	Simbología	Valor	Unidad
Caudal de filtrado	$Q_f$	19,10	$m^3/día$
Número de filtros	$n$	1	
Área del filtro	$A_f$	2,12	$m^2$
Coefficiente de costo mínimo	$K_c$	1	
Ancho del filtro	$B_f$	1,46	$m$
Largo del filtro	$L_f$	1,46	$m$
Altura del lecho filtrante	$H_f$	0,53	$m$
Altura del filtro	$Z_f$	2,7	$m$
Volumen del filtro	$V_f$	5,62	$m^3$
Diámetro del orificio de drenaje	$D_o$	0,004	$m$
Área del orificio	$A_o$	$1,26 * 10^{-5}$	$m^2$

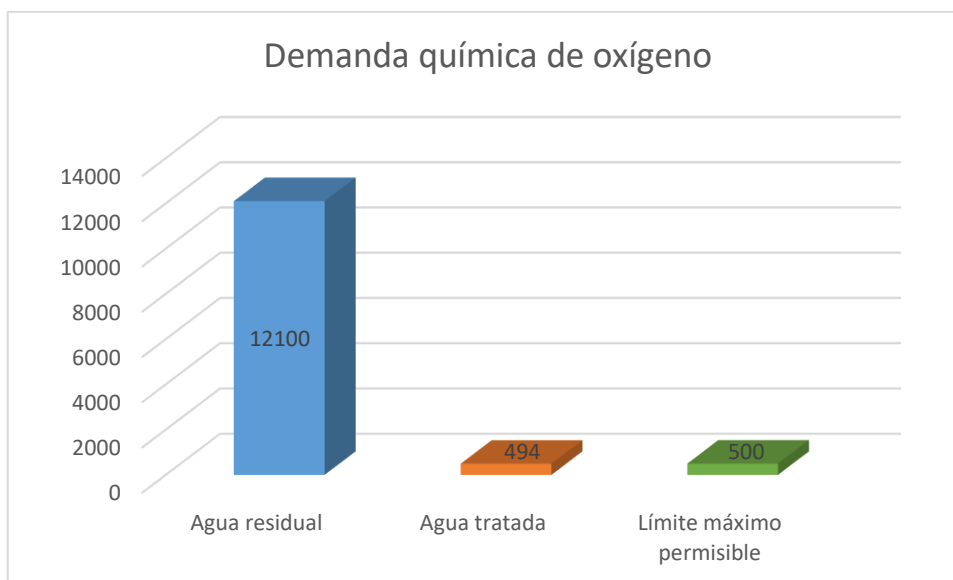
Realizado por: Telenchano René, 2021.

## 4.2. Resultados de la tratabilidad del agua de pelambre de la curtiduría Brito

Una vez realizadas las caracterizaciones del agua residual de pelambre tanto a la entrada como a la salida del proceso de tratamiento (pruebas de tratabilidad), se procede a definir el porcentaje de remoción de los distintos parámetros evaluados como fueron la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, potencial de hidrógeno, conductividad, turbidez, sólidos suspendidos totales, sulfuros, etc., los cuales evidentemente en una primera caracterización no cumplían con los rangos límites de descarga que determina la normativa. Esto con el fin de analizar y verificar la

eficacia de los tratamientos aplicando una estadística descriptiva a los diferentes parámetros evaluados.

#### 4.2.1. Análisis de la remoción de la Demanda Química de Oxígeno



**Gráfico 1-4:** Comparativa de la Demanda Química de Oxígeno  
**Realizado por:** Telenchano René, 2021.

La demanda química de oxígeno del agua residual tratada frente a la del agua de pelambre inicial se evidencia en la tabla 9-4 y gráfica 1-4, en las cuales, se compara ambos valores con el límite máximo permisible establecido por el Acuerdo Ministerial 097-A, es así que, el proceso de tratabilidad deja un claro porcentaje de remoción existente del 95,92% de eficiencia, dando como resultado un agua de cumplimiento óptimo para la descarga en cuanto al parámetro analizado, el cual, alcanza a ser 6 mg/L menor al límite máximo permisible.

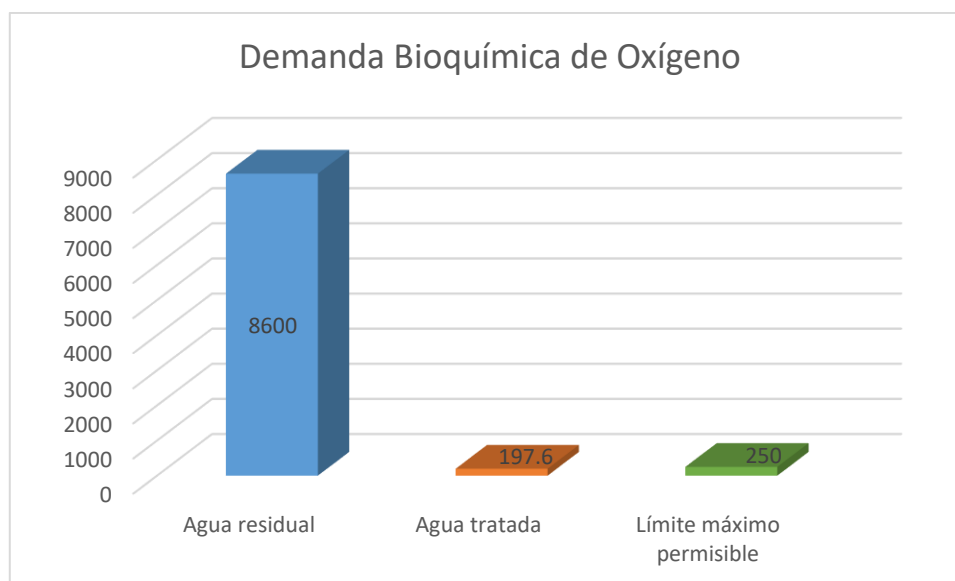
**Tabla 9-4:** Porcentaje de remoción Demanda Química de Oxígeno

Variable	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	Porcentaje de remoción
Agua residual	12100	95,92 %
Agua tratada	494	
Límite máximo permisible	500	

**Realizado por:** Telenchano René, 2021.



#### 4.2.2. Análisis de la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno



**Gráfico 2-4:** Comparativa de la Demanda Bioquímica de Oxígeno  
**Realizado por:** Telenchano René, 2021.

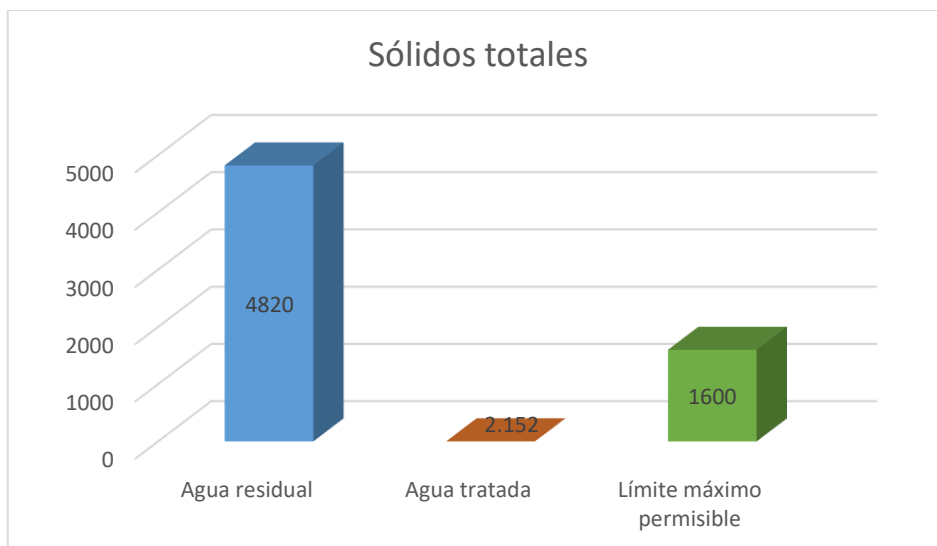
La demanda bioquímica de oxígeno del agua residual tratada frente a la del agua de pelambre inicial se evidencia en la tabla 10-4 y gráfica 2-4, en las cuales, se compara ambos valores con el límite máximo permisible establecido por el Acuerdo Ministerial 097-A, es así que, el proceso de tratabilidad deja un claro porcentaje de remoción existente del 97,7 % de eficiencia, dando como resultado un agua de cumplimiento óptimo para la descarga en cuanto al parámetro analizado, el cual, alcanza a ser 52,4 mg/L menor al límite máximo permisible.

**Tabla 10-4:** Porcentaje de remoción Demanda Bioquímica de Oxígeno

Variable	Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 (mg/L)	Porcentaje de remoción
Agua residual	8600	97,7 %
Agua tratada	197,6	
Límite máximo permisible	250	

**Realizado por:** Telenchano René, 2021.

#### 4.2.3. Análisis de la remoción de los sólidos totales



**Gráfico 3-4:** Comparativa de sólidos totales  
**Realizado por:** Telenchano René, 2021.

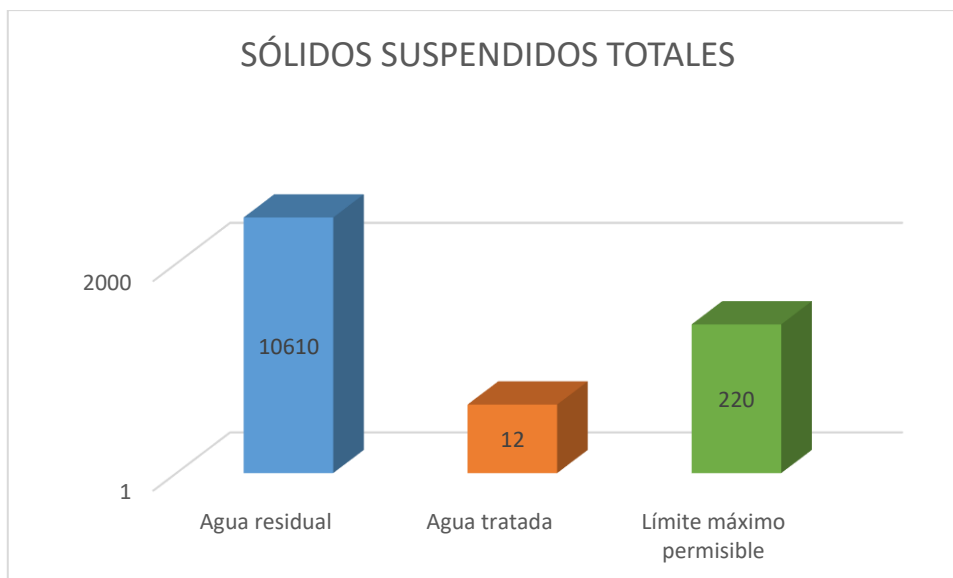
La cantidad de sólidos totales en el agua residual tratada frente a la del agua de pelambre inicial se evidencia en la tabla 11-4 y gráfica 3-4, en las cuales, se compara ambos valores con el límite máximo permisible establecido por el Acuerdo Ministerial 097-A es así que, el proceso de tratabilidad deja un claro porcentaje de remoción existente del 99,95 % de eficiencia, dando como resultado un agua de cumplimiento óptimo para la descarga en cuanto al parámetro analizado, el cual, alcanza a ser 1597,848 mg/L menor al límite máximo permisible.

**Tabla 11-4:** Porcentaje de remoción sólidos totales

Variable	Sólidos totales ( mg/L)	Porcentaje de remoción
Agua residual	4820	99,95 %
Agua tratada	2,152	
Límite máximo permisible	1600	

*Realizado por:* Telenchano René, 2021.

#### 4.2.4. Análisis de la remoción de los sólidos suspendidos totales



**Gráfico 4-4:** Comparativa sólidos suspendidos totales  
**Realizado por:** Telenchano René, 2021.

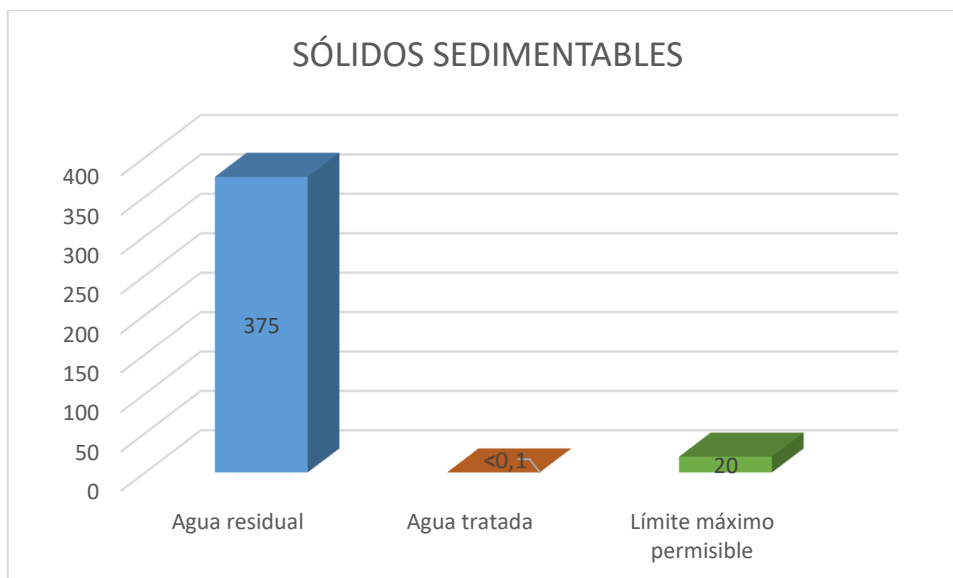
La cantidad de sólidos suspendidos totales en el agua residual tratada frente a la del agua de pelambre inicial se evidencia en la tabla 12-4 y gráfica 4-4, en las cuales, se compara ambos valores con el límite máximo permisible establecido por el Acuerdo Ministerial 097-A, es así que, el proceso de tratabilidad deja un claro porcentaje de remoción existente del 99,87 % de eficiencia, dando como resultado un agua de cumplimiento óptimo para la descarga en cuanto al parámetro analizado, el cual, alcanza a ser 208 mg/L menor al límite máximo permisible.

**Tabla 12-4:** Porcentaje de remoción sólidos suspendidos totales

Variable	Sólidos suspendidos totales ( mg/L)	Porcentaje de remoción
Agua residual	10610	99,87 %
Agua tratada	12	
Límite máximo permisible	220	

*Realizado por:* Telenchano René, 2021.

#### 4.2.5. Análisis de la remoción de los sólidos sedimentables



**Gráfico 5-4:** Comparativa sólidos sedimentables  
**Realizado por:** Telenchano René, 2021

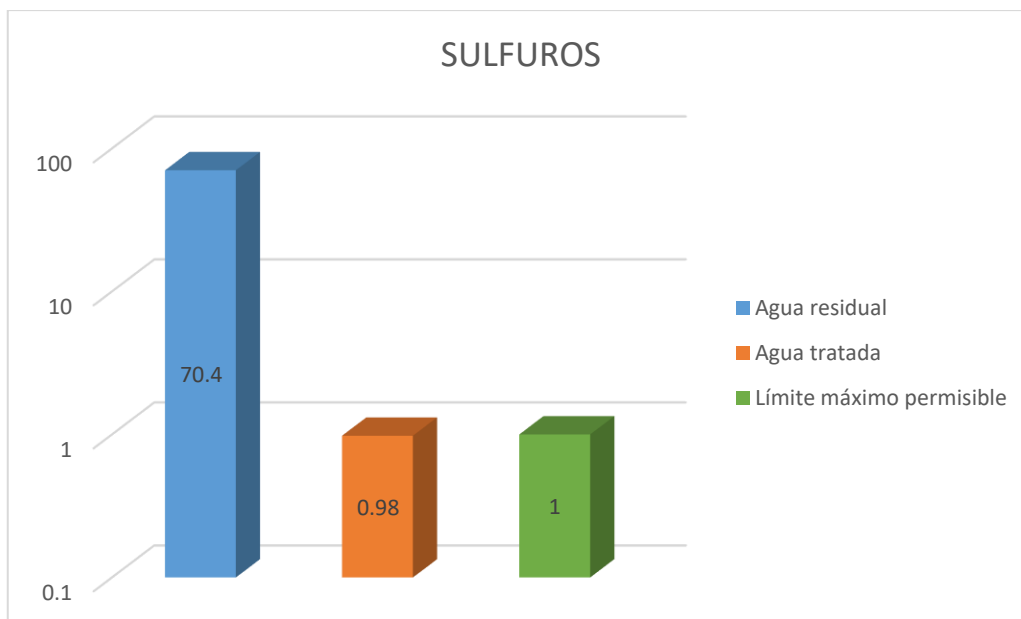
La cantidad de sólidos sedimentables en el agua residual tratada frente al agua de pelambre inicial se evidencia en la tabla 13-4 y gráfica 5-4, en las cuales, se compara ambos valores con el límite máximo permisible establecido por el Acuerdo Ministerial 097-A, es así que, el proceso de tratabilidad deja un claro porcentaje de remoción existente del 100 % de eficiencia, dando como resultado un agua de cumplimiento óptimo para la descarga en cuanto al parámetro analizado, el cual, alcanza a ser 20 mL/L menor al límite máximo permisible.

**Tabla 13-4:** Porcentaje de remoción sólidos sedimentables

Variable	Sólidos Sedimentables ( mL/L)	Porcentaje de remoción
Agua residual	375	100 %
Agua tratada	<0,1	
Límite máximo permisible	20	

**Realizado por:** Telenchano René, 2021.

#### 4.2.6. *Análisis de la remoción de los sulfuros*



**Gráfico 6-4:** Comparativa de sulfuros  
**Realizado por:** Telenchano René, 2021

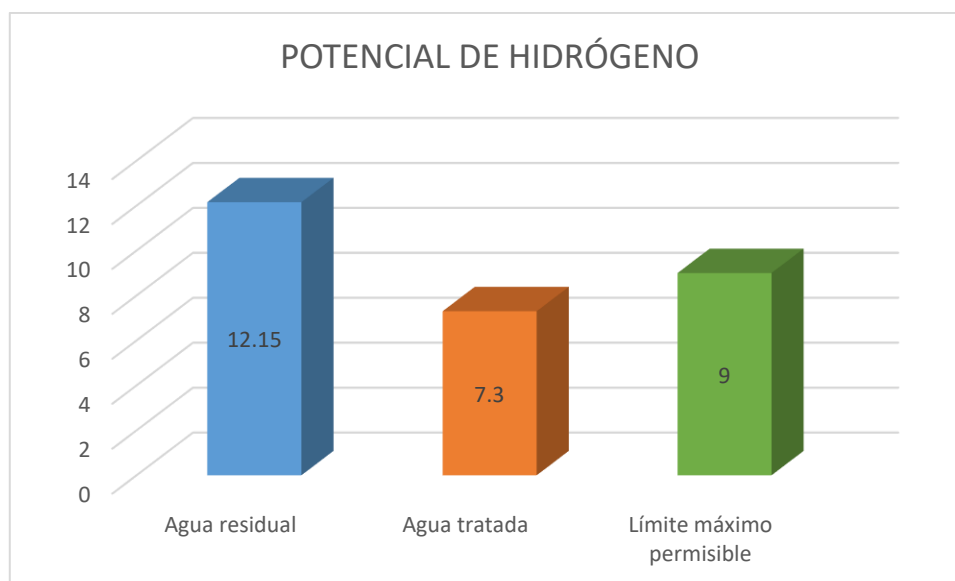
La cantidad de sulfuros en el agua residual tratada frente a la del agua de pelambre inicial se evidencia en la tabla 14-4 y gráfica 6-4, en las cuales, se compara ambos valores con el límite máximo permisible establecido por el Acuerdo Ministerial 097-A, es así que, el proceso de tratabilidad deja un claro porcentaje de remoción existente del 98,6 % de eficiencia, dando como resultado un agua de cumplimiento óptimo para la descarga en cuanto al parámetro analizado, el cual, alcanza a ser 0,02 mg/L menor al límite máximo permisible.

**Tabla 14-4:** Porcentaje de remoción sulfuros

Variable	Sulfuros ( mg/L)	Porcentaje de remoción
Agua residual	70,4	98,6 %
Agua tratada	0,98	
Límite máximo permisible	1	

**Realizado por:** Telenchano René, 2021.

#### 4.2.7. Análisis del cambio de potencial de hidrógeno



**Gráfico 7-4: Comparativo pH**  
Realizado por: Telenchano René, 2021

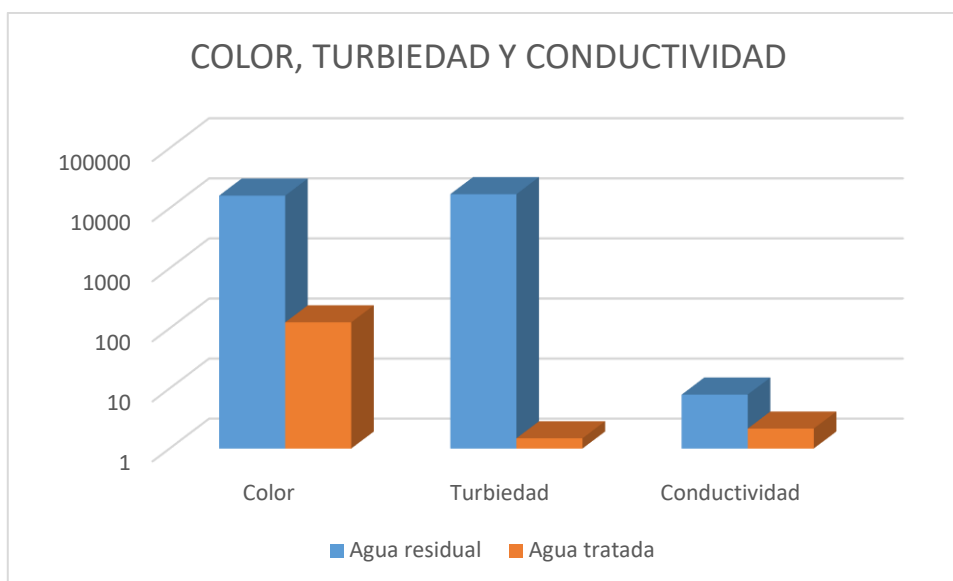
El valor del pH en el agua residual tratada frente a la del agua de pelambre inicial se evidencia en la tabla 15-4 y gráfica 7-4, en las cuales, se compara ambos valores con el límite máximo permisible establecido por el Acuerdo Ministerial 097-A, es así que, el proceso de tratabilidad deja un claro porcentaje de reducción del potencial de hidrógeno existente del 39,92 % de eficiencia, dando como resultado un agua de cumplimiento óptimo para la descarga en cuanto al parámetro analizado, el cual, alcanza a ser 1,7 puntos menor del límite máximo permisible.

**Tabla 15-4: Porcentaje de remoción potencial de hidrogeno**

Variable	Potencial de Hidrógeno (pH)	Porcentaje de remoción
Agua residual	12,15	39,92 %
Agua tratada	7,30	
Límite máximo permisible	6-9	

Realizado por: Telenchano René, 2021.

#### 4.2.8. Análisis de la remoción de color, turbiedad y conductividad



**Gráfico 8-4:** Comparativa color, conductividad y turbiedad  
Realizado por: Telenchano René, 2021

Las variables de color, turbiedad y conductividad no presentan límites máximos permisibles para su descarga establecidos, sin embargo, los procedimientos de tratabilidad consiguen de igual manera disminuir dichos valores con una eficiencia del 99,22 %, 99,99 % y 72,83 % respectivamente; estos resultados se evidencian en la tabla 16-3 y gráfica 8-4, en las cuales, se realiza una comparativa entre el agua residual proveniente del proceso de pelambre y el agua ya tratada con los distintos coagulantes y floculantes utilizados.

**Tabla 16-4:** Porcentaje de remoción color, turbiedad, conductividad

Variable	Color (Unidades de Pt/Co)	Turbiedad NTU	Conductividad mS/cm
Agua residual	16200	17140	7,897
Agua tratada	126	1,48	2,146
Porcentaje de remoción	99,22 %	99,99 %	72,83 %

Realizado por: Telenchano René, 2021.

#### 4.3. Análisis de costos del proyecto

Para el análisis de costos se tendrá en cuenta el uso necesario de químicos por mes para los procesos de floculación, coagulación y aditivos catalizadores, adicionalmente, se establecerán los rubros que representara para la empresa la implementación del nuevo sistema de tratamiento de aguas propuesto;

en las siguientes tablas se muestra el análisis realizado en base a los requerimientos del sistema, en el cual, se evidencia que el costo total que debe ser destinado para la construcción e implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales para la Curtiduría es de \$ 2718,33, este valor corresponde a la construcción de equipos, instalación de motores, accesorios y materiales necesarios para la correcta operación y productos químicos. Dicho valor se modificará conforme al coste de los materiales al momento de construir la planta y será manejado particularmente por el propietario de la microempresa.

**Tabla 17-4:** Análisis costos de productos químicos

<b>Producto Químico</b>	<b>Cantidad de químico a utilizar (Kg/mes)</b>	<b>Precio del químico por Kg (\$)</b>	<b>Precio del químico al mes (\$)</b>
MnSO4	80,44	2,35	189,034
FeCl3	8,04	1,18	9,49
Floculante aniónico	1,6	5	8
<b>Subtotal</b>			206,52

Realizado por: Telenchano René, 2021.

**Tabla 18-4:** Análisis costos de rediseño de PTAR

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (\$)</b>	<b>Costo total (\$)</b>
<b>Canal de entrada</b>				
Excavación	m <sup>3</sup>	0,5	5,50	2,75
Replanteo	m <sup>3</sup>	0,5	96	48
Hormigón superficie lisa	m <sup>3</sup>	1	130,30	130,30
<b>Sistema de rejillas</b>				
Barras de acero con anticorrosivo	u	8	2,50	20
Marco de acero con anticorrosivo	m <sup>2</sup>	0.3	10	3
<b>Tanque de aireación</b>				
Hormigón superficie lisa	m <sup>3</sup>	1,5	130,30	195,45
Compresor 7 HP	U	1	450	450
Malla metálica	m <sup>3</sup>	3,3	5,70	18,81
Difusor	u	17	5	85
<b>Tanque de coagulación y floculación</b>				
Bomba	u	1	120	120
Soporte metálico	u	1	175	175
<b>Sistema de filtros</b>				
Ripio triturado	m <sup>3</sup>	1.5	11	16.5



Arena fina	m <sup>3</sup>	1.5	7	10.50
Grava	m <sup>3</sup>	1.5	5	7.50
<b>Sedimentador</b>				
Tanque sedimentador	<i>u</i>	1	500	500
<b>Accesorios</b>				
Sistema de agitación – 6 paletas	<i>u</i>	1	460	460
Tuberías	<i>m</i>	1	194	194
Válvulas	<i>u</i>	3	25	75
<b>Subtotal</b>				2511.81

Realizado por: Telenchano René, 2021.

#### 4.4. Discusión de resultados

El agua residual generada en el proceso de pelambre en la curtiduría “Brito” una vez caracterizada evidencio una alta carga de contaminantes presente en la misma, incumpliendo de esta manera con varios parámetros establecidos en el Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo I: Normativa de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, Tabla 8: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, en entre los principales tenemos la demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y sulfuros, los cuales superan ampliamente los límites máximos permisibles haciendo de esta agua en un principio inadecuada para su liberación al ambiente; ante esta necesidad se planifico y se desarrolló el rediseño de una planta de tratamiento de aguas, ya que la empresa contaba previamente con una planta antigua en total desuso, para llevar a cabo el proyecto se comenzó tomando muestras salientes de los fulones de pelambre haciendo uso de las normativas NTE INEN 2169:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras y NTE INEN 2176:98. Agua: Calidad del agua, muestreo, técnicas de muestreo, apoyadas adicionalmente por el manual "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", metodologías mediante las cuales se tomaron y conservaron 3 muestras compuestas del agua residual del proceso, las cuales, fueron posteriormente caracterizadas y tratadas con distintos floclantes y coagulantes, obteniéndose los de mayor eficiencia adecuada como fueron cloruro férrico en una concentración de 1% y el floclante aniónico polielectrolito al 2%, adicionalmente, se incluyó un proceso de aireación para el tratamiento de sulfuros por lo cual se necesitó de un catalizador en este caso el sulfato de manganeso en una proporción 20,11 kg por cada 130 pieles tratadas.

Una vez realizadas las pruebas de tratabilidad se procedió a caracterizar el agua residual de pelambre ya procesada obteniéndose de esta manera porcentajes de remoción altos de los contaminantes como fueron: sulfuros (98,6%), sólidos totales (99,95%), demanda bioquímica de oxígeno (97,7%), demanda química de oxígeno (95,92%); esto en comparación con la normativa del Acuerdo Ministerial 097-A, Tabla 8: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, nos da a

entender que todos los parámetros que antes se incumplían ahora son aptos para poder liberar el agua al ambiente, es así que, en cuanto a sulfuros se tiene una diferencia de 0,02 puntos menor al límite máximo permisible, la demanda química de oxígeno DQO presenta un resultado de 6 puntos menor al límite máximo permisible, la demanda bioquímica de oxígeno DBO 52,4 puntos menor y los sólidos totales 4817,85 puntos menos. Se presenta una mejora indudable de la calidad del agua no solo en los parámetros ya mencionados, sino también, en otros de igual importancia como son el color (99,22%), turbiedad (99,99%), conductividad (72,83%), sólidos sedimentables (100%), sólidos suspendidos (99,87%), potencial de hidrógeno (39,92%). Finalmente se recalca no solo la eficacia del tratamiento del agua residual que evidentemente es superior al 90% sino que también se prioriza la eficiencia ya que se aprovechan varios recursos de la planta de tratamiento antigua presente en la empresa, siendo los principales la adaptación de dos de los cuatro tanques que formaban parte de dicho sistema.

La curtiduría Brito en la actualidad cuenta con un conjunto de tanques en desuso, debido a que su primer diseño era específico para una curtición con cromo hexavalente, y hoy en día recurrieron a un tipo de curtición vegetal es decir reutilizan el agua de curtición, por lo que es importante realizar un rediseño para el tratamiento de aguas residuales provenientes solo del agua de pelambre, este modelo de rediseño propuesto cuenta con: canal de entrada de sección rectangular, un sistema de rejillas de limpieza manual, un tanque de aireación, tanque de agitación, sedimentador rectangular y por último un tanque de filtrado. La propuesta de rediseño incluirá la readecuación del tanque del sistema de filtrado y tanque del sistema de dosificación ya existentes en la curtiduría con el fin de aprovechar sus propios recursos, mediante un estudio de costos se determina que para la implantación total de la nueva planta la curtiduría tendrá que invertir 2 511,81\$ y tendrá un gasto de químicos mensual de 206,52, considerando que se procesara 130 piles.

## CONCLUSIONES

- ✓ Se realizó la caracterización físico-química del agua residual proveniente del proceso de pelambre, los resultados fueron cotejados con los límites permisibles del Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo I: Normativa de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, Tabla 8: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, dando los siguientes resultados fuera de norma: pH 12,15, DQO 12100 mg/L, DBO5 8600 mg/L, sólidos totales 4820 mg/L, sólidos suspendidos totales 10610 mg/L, sólidos sedimentables 375 mL/L y sulfuros 70,4 mg/L.
- ✓ Se realizó las pruebas de tratabilidad para el efluente contaminado determinando el coagulante y floculante ideal y sus dosis óptimas; Cloruro férrico 8,04 Kg/mes y floculante aniónico 1,6 Kg/mes.
- ✓ Se identificó las principales variables a considerar en el rediseño de la planta de tratamiento de agua residual del proceso de pelambre fueron las dosificaciones de los químicos como el coagulante (cloruro férrico al 1%), floculante (polielectrolito aniónico al 2%), así también el caudal de diseño **20,11 m<sup>3</sup>/día**
- ✓ Se realizó los cálculos de ingeniería con las variables de diseño, para establecer los distintos procesos necesarios para la eliminación de los contaminantes provenientes del agua de pelambre, una vez realizados dichos cálculos se estableció una planta de tratamiento constituida por un canal de entrada de sección rectangular, un sistema de rejillas de limpieza manual, un tanque de aireación, tanque de agitación, sedimentador rectangular y por último un tanque de filtrado.
- ✓ Se validó el rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales mediante la caracterización físico-química de las muestras de agua residual tratada, dicha caracterización nos muestra que existe una eficacia del más de 90% en el proceso total de la planta, contrastando así cada uno de los parámetros que un inicio no cumplían con la normativa establecida en el Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Anexo I: Normativa de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua, Tabla 8: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, dando los siguientes resultados: pH 7,3, DQO 494 mg/L, DBO5 197,6 mg/L, sólidos totales 2,152 mg/L, sólidos suspendidos totales 12 mg/L, sólidos sedimentables <0,1 mL/L, sulfuros 0,98 mg/L.

## RECOMENDACIONES

- ✓ Proporcionar la respectiva información y formación, de ser necesaria, a todo el personal acerca del sistema de tratamiento de agua, de igual manera, socializar con la comunidad y la administración municipal dicha implantación.
- ✓ Mantener controles de monitoreo mediante registros cada 6 meses de los parámetros contaminantes del agua residual antes y después de su procesamiento. Implementar un laboratorio de análisis físico- químicas in situ, que tiene como finalidad monitorear constantemente el agua de cada una de las etapas ya sea residual o tratada y así identificar con más facilidad los parámetros que se encuentra de fuera de la norma establecida, y con ello tomar medidas correctivas que nos ayude a mejorar la calidad de agua de descarga.
- ✓ Establecer un mantenimiento adecuado cada 4 meses de la planta de tratamiento de aguas residuales, asegurando así su efectivo funcionamiento.

## BIBLIOGRAFIA

**ABRAMOVICH, Beatriz; et al.** *Cloruro férrico para la coagulación optimizada y remoción de enteroparásitos en agua.* [En línea] 2009. p3. [Consulta 2020-01-30]. Disponible en:<http://revistas.unlp.edu.ar/index.php/domus/issue/current/>.

**ADZET, J.** *Química Técnica de Tenería.*, 1a ed., Igualada, España., Edit. Romanya-Valls, 2015.

**BACARDIT, A.** *Química Técnica del Cuero.*, 2a ed., Cataluña., España. Edit. Causo, 2004.

**BUENAÑO PICO, Jennifer Jannina.** Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiduría San Isidro de la ciudad de Ambato. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. pp.25-50. [Consulta: 2021-01-12]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13806/1/96T00571.pdf>

**BUSTOS, I.** Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de las Etapas de Ribera y Curtido 1/96T00167.pdf para la Tenería San José. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuel Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2012. pp. 33-36. [Consulta: 2019-05-08]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2025/>

**COTANCE, A.** *Ciencia y Tecnología en la Industria del Cuero.* 1a ed. Igualada, España. Edit. Curtidores Europeos, 2004.

**CORDERO, B.** *Tecnología de la Curtición*, 1ª Edición., Cuenca, Ecuador., Sin editorial., Primer tomo., 2012., pp. 28-29, 30-42.

**EL COMERCIO.** *Radiografía económica de la provincia de Tungurahua.* [En línea] 29 de 03 de 2018. [Consulta: 2020-10-04]. Disponible en: <https://www.elcomercio.com>.

**FAO.** *Estructuras de conducción del agua-Fao.* [En línea] [Consulta: 19 de 08 de 2019.]. Disponible en: [http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO\\_Training/FAO\\_Training/General/x6708.htm](http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6708.htm).

**FONT, J.** *Análisis y ensayos en la industria del cuero.*, 2a ed., Igualada, España., Edit. CETI, 2001.

**GONZÁLEZ, P.** *Plantas de Tratamiento de Aguas.* Madrid: s.n., 2013.

**HACH COMPANY.** *Manual de análisis de agua.* [En línea] 2000. [Consulta: 2020-12-10]. Disponible en: [file:///C:/Users/usuario/Downloads/Water%20Analysis%20Manual-Spanish Manual%20de%20Análisis%20de%20Agua.pdf](file:///C:/Users/usuario/Downloads/Water%20Analysis%20Manual-Spanish%20Manual%20de%20Análisis%20de%20Agua.pdf).

**HIDALGO, L.** *Texto básico de Curtición de pieles.*, 1a ed., Riobamba, Ecuador., Edit. ESPOCH, 2004.

**LOMBEIDA ROJAS, Lenin Vinicio.** Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para una Empresa de Curtiembre [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Central del Ecuador, Quito, Ecuador. 2017. pp.22-38. [Consulta: 2021-01-08]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/9724/1/T-UCE-0008-Q001-2017.pdf>.

**LOZANO, W.** *Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales.* Bogotá-Colombia : s.n., 2012.

**MARÍN, R.** *Procesos Fisicoquímicos en Depuración de Aguas.* Díaz de Santos. España: s.n., 2012.

**METCALF & Eddy.** *Ingeniería de Aguas Residuales, tratamiento, vertido y reutilización.* España : s.n., 1995. Vol. I.

**MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR.** *Registro oficial Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente TULSMA Libro VI, Anexo I, Tabla 8.* Quito: Lexis, 2015, pp. 21-22. [Consulta: 2020-11-06]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/2018/05/TULSMA.pdf>

**MORERA, J. (2007).** *Química Técnica de Curtición.*, 2ª Edición., Igualada, España., Editorial Escuela Superior de Adobería., Editorial CETI.

**MOYA VALLEJO, Juan Pablo.** Diseño de un sistema de tratamiento de agua de descarga de la Curtiembre San Vicente, Provincia de Tungurahua [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp.12-46. [Consulta: 2020-12-17]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/6457/1/96T00345.pdf>.

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

**ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD.** *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores.* Lima: CEPIS. 2005.pp. 17-30. [Consulta: 2021-02-10]. Disponible en:

[https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf)

**RASS**, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. 2000. Tratamiento de Aguas Residuales. Sitio web de “Ministerio de Desarrollo Económico”. [En línea], 2000. [Consulta: 2021-02-24.] Disponible en: [http://cra.gov.co/apc-afiles/37383832666265633962316339623934/7.\\_Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales.pdf](http://cra.gov.co/apc-afiles/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf)

**RIGOLA LAPEÑA, Miguel.** *Tratamiento de Aguas Industriales: Agua de Procesos y Residuales.* Barcelona – España: Editorial Marcombo S.A, 2005.pp. 137-141.

**ROMERO ROJAS, Jairo.** *Purificación del agua.* 2<sup>da</sup> edición. Colombia : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2006. pp. 218-252.

**SANZ,** *Identificación de impactos ambientales en altas concentraciones de sulfuro en el proceso de pelambre.* Bogotá: UNT, 2011. ISBN 154.

**SAINZ, Juan.** *Tecnologías para la Sostenibilidad: Procesos y Operaciones Unitarias en Depuración de Aguas Residuales.* Madrid-España, Fundación EOI Gregorio del Amo. 2005, p. 48.

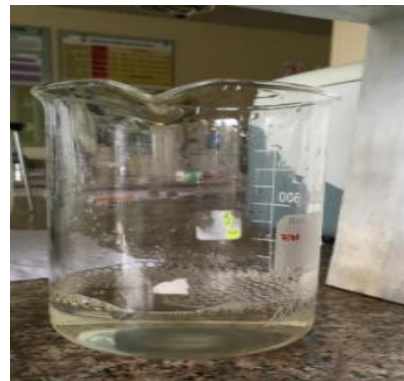
**SEVERICHE, Carlos; et al.** *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas.* [En línea] 2013. [Consulta: 2020-12-13]. Disponible en: <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/1326.pdf>.

**SOLER, J. (2004).** *Diseño de procesos de curtición.*, 2a ed., Igualada, España., Edit. Escuela Superior de Tenerife.

**WEITZENDEL.** *Identificación de impactos ambientales.* Buenos Aires: Adventure Works, 2016. ISBN 145.

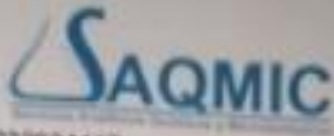
# ANEXOS

## Anexo A: Pruebas de tratabilidad





**Anexo B:** Caracterización inicial del agua de pelambre

  
SAQMIC  
Servicio de Análisis  
Químico y  
Microbiológico

Contáctanos: 0998580374 - 032924417  
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba - Ecuador

---

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**


Fecha: 02 de febrero del 2021  
Análisis solicitado por: Sr. René Telenchano  
Tipo de muestras: Agua Residual Curtiduría Brito, Proceso Pelambre  
Localidad: Parroquia Atahualpa, Cantón Ambato


**Análisis Químico**

Determinaciones	Unidades	*Métodos de análisis	Resultados
pH	-	4500-H-B	12.15
Conductividad	µS/cm	2510-B	7.897
Turbiedad	NTU	2130-B	17.140
Color	Und. Pt/Co	2120-C	16.200
Demanda Química de Oxígeno	g/l	5220-D	12.100
Demanda Biológica de Oxígeno	g/l	5210-B	8.600
Grasas y Aceites	mg/l	5520-B	150
Sólidos Sedimentables	mL/l	2540-F	375
Sólidos Disueltos	mg/l	2540-C	4.820
Sólidos Suspensos Totales	mg/l	2540-D	10.610

Observaciones:

Atentamente:



  
SAQMIC  
Servicio de Análisis  
Químico y  
Microbiológico  
Dra. Gina Álvarez  
Tel: 2 924 332 / Cel: 0998580374

Dra. Gina Álvarez R.  
RESPONSABLE TÉCNICO LABORATORIO  
Nota: El presente informe afecta solo a la muestra analizada.

Anexo C: Aval de la curtiduría "Brito"

**CURTIDURÍA "BRITO"**  
**BRITO ILLESCAS LANDY MARITZA**  
**PRODUCCIÓN DE PIELES**

DIRECCIÓN: BARRIO SAN VICENTE PASAJE S/N Y ALBERTO ROSERO

Tel. 032 856277- 0984829598

Ambato - Ecuador

Ambato, 14 de enero, del 2021

Doctor

Bolivar Flores Mg.

**PRESIDENTE DE LA UNIDAD DE INTEGRACION CURRICULAR DE LA  
CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA**

Presente. -

De mi consideración:

Reciba un cordial saludo, me remito para poner en conocimiento que, "CURTIDURÍA BRITO" apoya a la ejecución del trabajo de integración curricular denominado "REDISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA BRITO DE LA PARROQUIA ATAHUALPA - TUNGURAHUA" que realizará el Sr. Rene Alexis Telenchano Manobanda con C.I. 060517428-3 y código estudiantil 984558, estudiante de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de ingeniería Química.

Declaro conocer y aceptar los términos y condiciones previstas para la ejecución del trabajo de titulación, estando conformes con todas aquellas actividades que se prevean realizar con nuestro apoyo, otorgo de esta manera el aval para la realización del mismo.

Por la favorable atención, anticipo mi agradecimiento.

Atentamente,



Sra. Landy Maritza Brito Illesca

C.I. 010373946-2

**GERENTE PROPIETARIA DE LA CURTIDURÍA BRITO**

**Anexo D: Oficio aclaratorio de reutilización del agua de curtido**

**CURTIDURÍA "BRITO"**  
**BRITO ILLESCAS LANDY MARITZA**  
**PRODUCCIÓN DE PIELS**  
**DIRECCIÓN: BARRIO SAN VICENTE PASAJE S/N Y ALBERTO ROSERO**  
**TelÉ 032 856277- 0984829598**  
**Ambato - Ecuador**

Ambato, 05 de Marzo del 2021

Yo Landy Maritza Brito Illescas, con C.I. 010373946-2 propietaria de la Curtiduría Brito, Acepto que en el area de curtición se realiza una reutilización debido a que se reutiliza el agua del curtido vegetal, respecto a que los productos químicos como el quelcheno y el extracto vegetal de mimosa son de costos muy elevados por ende se hace la reutilización del agua residual del curtido hacia los bombos para la continuidad de la producción del curtido.

Declaro conocer y aceptar los términos y condiciones previstas para la ejecución del trabajo de titulación, estando conformes con todas aquellas actividades que se prevén realizar con nuestro apoyo, y de esta manera acepto que el agua de curtido vegetal se reutiliza en la producción del mismo.

Por la favorable atención, anticipo mi agradecimiento.

Atentamente



Señ. Landy Maritza Brito Illesca  
C.I. 010373946-2  
**GERENTE PROPIETARIA DE LA CURTIDURÍA BRITO**

## Anexo E: Caracterización del agua de pelambre tratada



**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: René Alexis Telenchano Manobanda

Fecha de Análisis: 09/03/2021

Tipo de muestra: Agua residual del proceso de pelambre, Curtiduría "BRITO"

Localidad: Cantón Ambato – Provincia de Chimborazo

### TRABAJO DE TITULACIÓN

Parámetro	Unidad	Método*	Límite máximo permisible**	Resultados
Temperatura	°C	2550-A	<40	20
Color	Unidades de Pt/Co		-	126
pH	-	4500-B	6-9	7,30
Turbiedad	NTU	2130-B	-	1,48
Conductividad	mS/cm	2510-B	-	2,146
Sólidos Suspendidos totales	mg/L	2540-C	220	12
Sólidos sedimentables	mL/L	2540-B	20	< 0.1
Sólidos totales	mg/L	2540-A	1600	2,152
Sulfuros (S)	mg/L	4500-SO4-E	1,0	0,98
DQO	mg/L	5220-C	500	494
DBO <sub>5</sub> (5 días)	mg/L	5210-B	250	197,6

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

\*\*Acuerdo Ministerial 097-A, Libro VI, Tabla 8.

### Atentamente

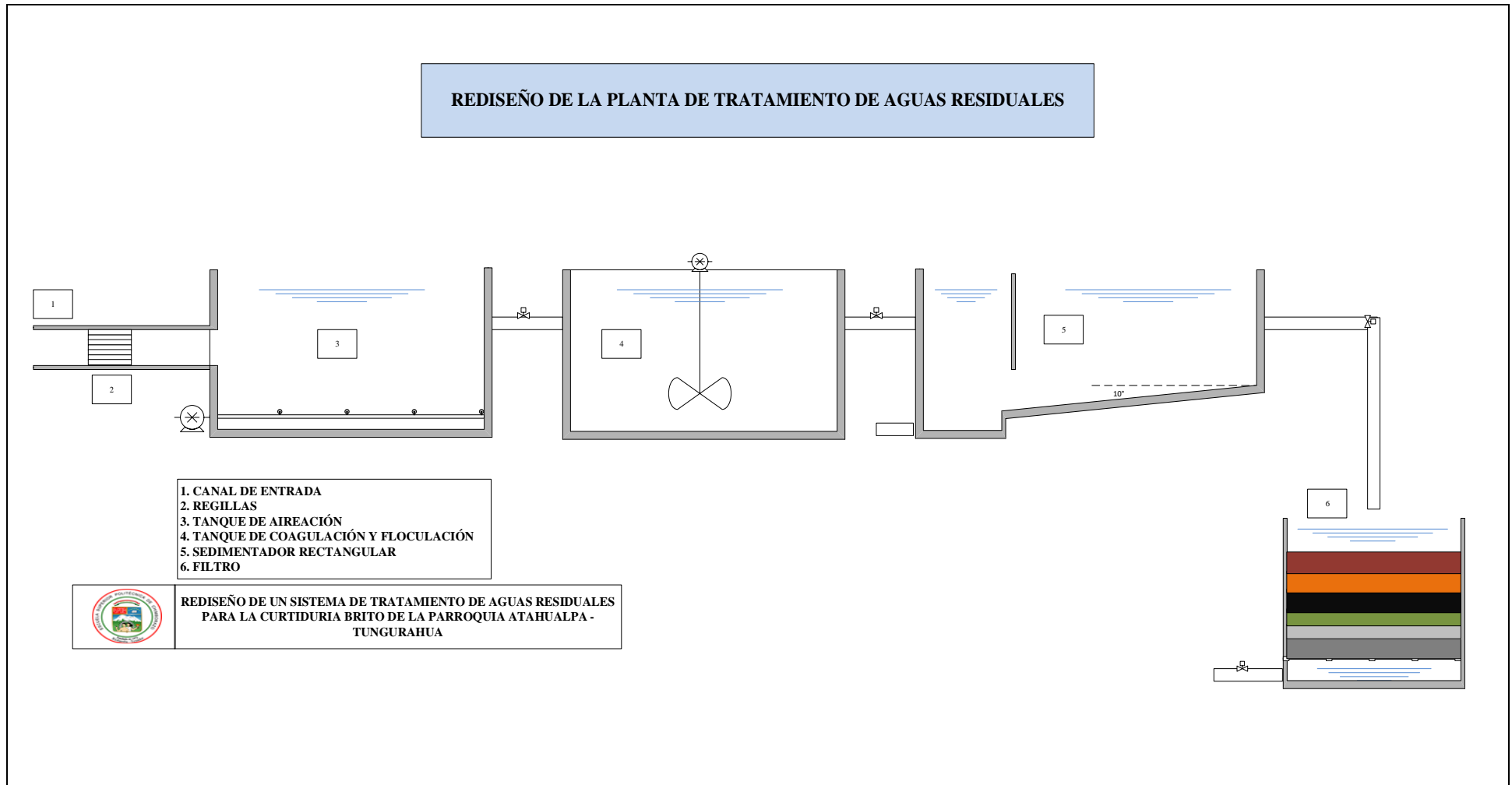
Dra. Gina Álvarez R.

**RESP. LAB. CALIDAD DE AGUA**

Dirección: Panamericana Sur Km 1 ½  
www.espoch.ed.ec

Teléfono: 593 (03)  
Código postal: EC06155

**Anexo F: Propuesta de Rediseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la curtiduría “Brito”**





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL  
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS  
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 10 / 08 / 2021

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> RENÉ ALEXIS TELENCHANO MANOBANDA
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> CIENCIAS
<b>Carrera:</b> INGENIERÍA QUÍMICA
<b>Título a optar:</b> INGENIERO QUÍMICO
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Lcdo. Holger Ramos, MSc.



Firmado electrónicamente por:  
**HOLGER GERMAN  
RAMOS UVIDIA**

1052-DBRA-UPT-2021