



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE
AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE
“MOYOLSA” DE LA CIUDAD DE AMBATO”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: VERÓNICA PAOLA HERRERA PEÑAFIEL

DIRECTORA: ING. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA

Riobamba-Ecuador

2019

©2019, Verónica Paola Herrera Peñafiel

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

Yo, Verónica Paola Herrera Peñafiel, 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 autora 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, 17 de julio del 2019

Verónica Paola Herrera Peñafiel

CI: 171530561-9

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

El tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: proyecto técnico, **“Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la Curtiembre “Moyolsa” de la ciudad de Ambato”** realizado por la señorita: **VERÓNICA PAOLA HERRERA PEÑAFIEL**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, El mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza, Msc. DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	_____ 2019/07/17
Ing. César Arturo Puente Guijarro MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	_____ 2019/07/17

DEDICATORIA

Dedicado al pilar fundamental en mi vida, mi madre Rita quien me ha enseñado el valor de la responsabilidad, mi padre Vinicio el de la perseverancia, mis hermanas Stefy y Dayra el de la amistad y a mi familia el de trabajo en equipo.

Paola H

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme lo que se necesita para alcanzar mis sueños, y no dejarme desfallecer ante las adversidades que se han presentado, guiar siempre mi camino y por cuidarme sobre todo al estar lejos de casa.

A mi familia por haber confiado en mí, en mis capacidades y en los valores transmitidos para afrontar la vida y desenvolverme lejos de ellos sin perder mis objetivos para cumplir mis metas, ni mi esencia como persona. Sin duda alguna lo mejor es regresar a casa y ser recibida siempre con un amor sincero

A Héctor, quien me acompañó y brindó su amor, apoyo y confianza en este camino para alcanzar una de mis metas más importantes que es el ser una profesional, indudablemente antes que mi pareja es mi mejor amigo.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por darme la oportunidad de obtener una profesión y ética para ejercerla ante la sociedad. A los docentes en especial a mi tutora Ing. Mayra Zambrano quien supo guiarme en la elaboración de mi tesis a través de su apoyo técnico y moral, al Ing. César Puente, al Ing. Marco Chuiza por su amistad y enseñanzas compartidas, al Dr. León por su tiempo y asesoría, y en especial a la Dra. Gina Álvarez que aparte de su conocimiento científico me ha brindado su amistad y consejo.

A la curtiembre “Moyolsa”, su gerente propietario y sus trabajadores por abrirme sus puertas y confiar en el trabajo conjunto para obtener soluciones a problemas reales

Sin duda alguna un gracias sincero a mis amigos de Quito, Alan, Diana, Andre y Daniel que a pesar de la distancia están ahí cuando se los necesita y me han brindado su apoyo incondicional, por último les doy las gracias a mi familia formada en Riobamba que a pesar de no estar unidos por sangre, nos une nuestra amistad formada en el transcurso de estos 6 años desde el primer semestre con Kerly y en el transcurso del mismo con Jeff, Jessi, Lisbeth, Cris, Yani, Vale.

Paola H.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I	
1	DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA..... 1
1.1	Identificación del problema 1
1.2	Justificación del proyecto 2
1.3	Línea base del Proyecto 3
1.3.1	Curtiembre “Moyolsa”3
1.3.1.1	<i>Proceso tecnológico de producción del cuero</i> 7
1.3.1.2	<i>Sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) actual de la curtiembre “Moyolsa”</i> 10
1.3.2	Marco conceptual14
1.3.2.1	<i>Curtición de pieles</i> 14
1.3.2.2	<i>Contaminantes generados por curtiembres</i> 18
1.3.2.3	<i>Aguas residuales de curtiembres</i> 20
1.3.2.4	<i>Tratamiento de aguas residuales</i> 20
1.3.2.5	<i>Tipos de tratamiento de aguas residuales</i> 22
1.4	Beneficiarios directos e indirectos..... 27
1.4.1	Beneficiarios directos27
1.4.2	Beneficiarios indirectos27
CAPÍTULO II	
2	OBJETIVOS DEL PROYECTO..... 28
2.1	General..... 28
2.2	Específicos..... 28
CAPITULO III	
3.	ESTUDIO TÉCNICO..... 29
3.1	Localización del proyecto..... 29
3.2	Ingeniería del Proyecto 30
3.2.1	Tipo de estudio30
3.2.2	Métodos y Técnicas30

3.2.2.1	<i>Métodos</i>	30
3.2.2.2	<i>Técnicas</i>	31
3.2.3	Caracterización físico-química inicial del agua residual de pelambre y curtido de la curtiembre “Moyolsa”	42
3.2.4	Índice de Biodegradabilidad	43
3.2.5	Pruebas de tratabilidad para la curtiembre “Moyolsa”	44
3.2.5.1	<i>Oxidación de sulfuros</i>	45
3.2.5.2	<i>Precipitación de cromo</i>	48
3.2.6	Dimensionamiento de unidades para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre “MOYOLSA”.....	57
3.2.8.1	<i>Diseño del tanque aireador</i>	58
3.2.8.2	<i>Diseño del sedimentador</i>	61
3.2.7	Dosificación de químicos	67
3.2.7.1	<i>Dosificación de químicos en el tratamiento de pelambre</i>	68
3.2.7.2	<i>Dosificación de químicos en el tratamiento de curtido</i>	69
3.3	Resultados.....	73
3.3.1	Validación del rediseño	74
3.3.1.1	<i>Caracterización físico-química del agua tratada de pelambre</i>	74
3.3.1.2	<i>Caracterización físico-química del agua tratada de curtido</i>	74
3.3.1.3	<i>Porcentaje de remoción</i>	75
3.3.2	Resultado del dimensionamiento de las unidades añadidas al sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre “Moyolsa”.....	76
3.3.3	Resultado de la dosificación de químicos.....	77
3.3.4	Propuesta para el rediseño	77
3.3.4.1	<i>Información operativa</i>	78
3.3.4.2	<i>Diagrama del proceso</i>	79
3.4	Requerimiento de tecnología, equipos y maquinaria.....	80
3.4.1	<i>Tipos de materiales utilizados para la construcción de diferentes unidades dimensionadas</i>	80
3.4.2	<i>Dispositivos fundamentales</i>	80
3.4.3	<i>Tuberías, accesorios y otros implementos que forman parte de las unidades para el rediseño</i>	80
3.5	Análisis de costo/beneficio del proyecto	81

3.6	Análisis de resultados	83
	CONCLUSIONES.....	85
	RECOMENDACIONES.....	87
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Químicos utilizados por la curtiembre “Moyolsa”.....	5
Tabla 2-1:	Químicos utilizados para pelambre	6
Tabla 3-1:	Químicos utilizados para el curtido.....	6
Tabla 4-1:	Consumo de agua por proceso	7
Tabla 5-1	Sistema de tratamientos de aguas residuales actual	11
Tabla 6-1:	Resultados de análisis de agua descargada al alcantarillado.....	14
Tabla 7-1:	Principales productos químicos para un proceso convencional de curtido	15
Tabla 8-1:	Etapas del proceso convencional de curtición del cuero.....	16
Tabla 9-1:	Contaminantes principales en el agua residual de curtiembre	18
Tabla 10-1:	Tipos de tratamiento primario.....	23
Tabla 1-3:	Técnicas de muestreo según la norma INEN 2176	32
Tabla 2-3:	Manejo y conservación de muestras según la Norma INEN 2169.....	32
Tabla 3-3:	Métodos No.5210-B. Determinación del DBO ₅	34
Tabla 4-3:	Método No.5220-D. Determinación del DQO	35
Tabla 5-3:	Método No.2540-F. Determinación de sólidos sedimentables.....	36
Tabla 6-3:	Método No.2540-B. Determinación de Sólidos Totales	36
Tabla 7-3:	Método No.4500-S-2-E. Sulfuros (S ²⁻)	37
Tabla 8-3:	Método No.4500-H ⁺ - B. Determinación del Potencial de hidrogeno (pH)	38
Tabla 9-3:	Método No.2550. Determinación de la temperatura	38
Tabla 10-3:	Método No.2130-B. Determinación de la turbidez	39
Tabla 11-3:	Método No.4500-SO ₄ -E. Determinación de Sulfatos.....	39
Tabla 12-3:	Método No. 3500 Cr-B y No. 3111 B. Determinación del cromo total	40
Tabla 13-3:	Métodos No. 3500 Cr-D. Determinación de cromo hexavalente	41
Tabla 14-3:	Caracterización inicial del efluente de la operación de pelambre	42
Tabla 15-3:	Caracterización inicial del efluente de la operación de Curtido.....	43
Tabla 16-3:	Índice de biodegradabilidad de agua residual de pelambre y curtido	43
Tabla 17-3:	Equipo, material, sustancias y reactivos necesarios para la oxidación de sulfuros.....	46
Tabla 18-3:	% Remoción de sulfuros aireados sin difusor a 10, 100, 500, 1000 y 1500ppm	46
Tabla 19-3:	% Remoción de sulfuros aireados sin difusor a 400, 600, 800 y 1000ppm	47
Tabla 20-3:	% Remoción de sulfuros aireados sin difusor a 500, 600 y 700ppm	47
Tabla 21-3:	% Remoción de sulfuros aireados con difusor a 500, 600 y 700ppm	47
Tabla 22-3:	Equipo, material, sustancias y reactivos necesarios para la prueba de jarras del efluente de curtido.....	50

Tabla 23-3:	Elección del coagulante.....	51
Tabla 24-3:	Elección del pH óptimo.....	51
Tabla 25-3:	Elección de la concentración del coagulante en un rango amplio.....	52
Tabla 26-3:	Elección de la concentración del coagulante en un rango corto.....	53
Tabla 27-3:	Elección rpm de coagulación óptima	54
Tabla 28-3:	Elección del tipo de floculante	54
Tabla 29-3:	Elección de la concentración del floculante a 20RPM.....	55
Tabla 30-3:	Elección de la concentración del floculante a 40RPM.....	55
Tabla 31-3:	Tiempo de sedimentación	56
Tabla 32-3:	Proporciones geométricas para un sistema de agitación “normal”	64
Tabla 33-3.	Propiedades físicas del agua.....	66
Tabla 34-3:	Valores de K_T Y K_L	66
Tabla 35-3:	Caracterización final del agua tratada del efluente de pelambre	74
Tabla 36-3:	Caracterización final del agua ya tratada del efluente de la operación de curtido	75
Tabla 37-3:	% Remoción del agua tratada de pelambre	75
Tabla 38-3:	% Remoción del agua tratada de curtido.....	76
Tabla 39-3:	Dimensiones del tanque aireador	76
Tabla 40-3:	Dimensionamiento del tanque sedimentador	77
Tabla 41-3:	Dimensionamiento del sistema de agitación	77
Tabla 42-3:	Dosificación de químicos	77
Tabla 43-3:	Materiales utilizados para la construcción de diferentes unidades dimensionadas.....	80
Tabla 44-3:	Dispositivos fundamentales para el funcionamiento de las unidades propuestas	80
Tabla 45-3:	Tuberías y accesorios.....	81
Tabla 46-3:	Cotización general para la implementación del rediseño del sistema de tratamiento de aguas.....	82
Tabla 47-3:	Costos de químicos	82

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Plano de disposición de ambientes de Curtiduría Moyolsa.....	4
Figura 2-1:	Proceso de producción del cuero en la curtiembre “Moyolsa”	8
Figura 3-1:	Balance de masa para pelambre	9
Figura 4-1:	Balance de masa de curtido.....	9
Figura 5-1:	Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR).....	11
Figura 6-1:	Esquema típico de un tratamiento fisicoquímico	25
Figura 1-3:	Localización geográfica de la empresa “Curtiduría Moyolsa”.....	29
Figura 2-3:	Imagen frontal de la empresa “Curtiduría Moyolsa”	30
Figura 3-3:	Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) propuesto para la curtiembre “Moyolsa”	78
Figura 4-3:	Diagrama del proceso de rediseño	79

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Comportamiento de la concentración de sulfuros con el tiempo de aireación	48
Gráfico 2-3:	Comportamiento de la turbidez con diferentes valores de pH	52
Gráfico 3-3:	Comportamiento de la turbidez con la concentración óptima de PAC	53
Gráfico 1-3:	Comportamiento de la turbidez con la concentración del floculante	55
Gráfico 2-3:	comportamiento de la altura de sedimentación con el tiempo	57

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A** Tabla 8. Límite máximo permisible de descarga al sistema de alcantarillado
- Anexo B** Resultado de Análisis físico-químico de laboratorio al efluente final del sistema de tratamiento de agua residual actual.
- Anexo C** Caracterización inicial del agua de pelambre
- Anexo D** Caracterización inicial del agua de curtido
- Anexo E** Caracterización final del agua de pelambre
- Anexo F** Caracterización final del agua de curtido
- Anexo G** Efluentes de curtido
- Anexo H** Tratabilidad del agua de pelambre
- Anexo I** Tratabilidad del agua de curtido
- Anexo J** Tratabilidad del agua de curtido
- Anexo K** Tratabilidad del agua de curtido
- Anexo L** Distribución de la planta
- Anexo M** Tanque aireador
- Anexo N** Tanque sedimentador
- Anexo O** Deflector y paletas
- Anexo P** Sedimentador con paletas y deflectores

RESUMEN

El presente trabajo de titulación estableció como objetivo rediseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales de la curtiembre “Moyolsa”, para esto se definió específicamente a efluentes de pelambre y curtido que contienen sulfuro y cromo respectivamente, su caracterización mostró parámetros de Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), Demanda química de oxígeno (DQO), Sólidos totales, Sólidos sedimentables, sulfuros y sulfatos para pelambre, cromo trivalente y hexavalente para curtido que superan el límite máximo permisible, así se calculó el índice de biodegradabilidad de pelambre que fue de 0,417 y para curtido de 0,166, definiendo un tratamiento biológico y/o físico-químico y físico-químico respectivamente, por lo que se realizó una aireación para pelambre con el fin de oxidar sulfuros, obteniendo una concentración de 600 ppm de sulfato de manganeso por un tiempo de 6 horas mientras que en el agua de curtido se hizo coagulación y floculación para precipitar el cromo obteniendo concentraciones óptimas de coagulante de 15ppm a 100rpm por un minuto y de floculante de 0,5ppm a 20 rpm por 15 minutos seguido de su reposo por 3 horas. Como resultado, la caracterización final del agua tratada obtuvo un porcentaje de remoción de 88,57% de S⁻², 90,79% de Cr⁶⁺ y 98,34% de Cr³⁺, y aunque no hayan entrado en norma ambiental vigente se verificó su eficiencia al conseguir disminución de cromos y sulfuros además de la reducción de otros contaminantes considerablemente. Por tanto, se dimensionó 2 unidades, un sedimentador para tratar específicamente aguas que contengan cromo (pH ácido) y un aireador para oxidar aguas con sulfuros que se incorporan al tratamiento de aguas actual para optimizar el sistema. Se recomienda recircular el agua para el lavado de pieles y la capacitación del manejo operativo para tratamiento eficiente del rediseño propuesto de efluentes de la curtiembre.

Palabras claves: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA, PROCESOS INDUSTRIALES, CURTIEMBRE, CROMO HEXAVALENTE, SULFURO, AIREACIÓN, COAGULACIÓN, FLOCULACIÓN, SEDIMENTACIÓN

ABSTRACT

The present degree work set as objective to redesign a system of treatment of residual waters of the tannery "Moyolsa"; for this, it was defined specifically to effluents of unhairing and tanning that contain sulfur and chromium respectively, its characterization showed parameters of biochemical oxygen demand (BOD₅), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Solids, Sedimentary Solids, Sulphides and Sulfates for unhairing, Trivalent Chromium and Hexavalent for Tanning that exceed the maximum permissible limits, thus the unhairing biodegradability index was calculated in 0.417 and for tanning 0.166, defining a biological and/or physical-chemical and physical-chemical treatment respectively, therefore an aeration was performed for the unhairing in order to oxidize sulfides, obtaining a concentration of 600 ppm of manganese sulphate for a period of 6 hours while in the tanning water, coagulation and flocculation was done to precipitate the Chromium, obtaining optimal coagulant concentrations of 15 ppm at 100 rpm for one minute and flocculant of 0.5 ppm at 20 rpm for 15 minutes followed by its resting for 3 hours. As a result, the final characterization of the treated water obtained a percentage of removal of 88.57% of S⁻², 90.79% of Cr⁶⁺ and 98.34% of Cr³⁺; and although they have not entered into current environmental norm, their efficiency was verified by achieving a reduction in chromos and sulfides, in addition pollutants are considerably reduced. Therefore, 2 units were sized, a settler to specifically treat waters containing chromium (acidic pH) and an aerator to oxidize waters with sulfides that are incorporated into the current water treatment to optimize the system. It is recommended the water recirculation for skin wash and the training of operational management for efficient treatment of the proposed redesign of tannery effluents.

Keywords: ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY, INDUSTRIAL PROCESSES, TANNERY, HEXAVALENT CHROMIUM, SULFUR, AERATION, COAGULATION, FLOCCULATION, SEDIMENTATION.

CAPÍTULO I

1 DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

En el Ecuador según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) la industria de la manufactura es una de las principales actividades económicas con gran aporte a fuentes de empleo. Dentro de esta actividad económica una división muy importante es la fabricación de cueros y productos conexos que hace referencia a la industria de curtiembre. (Inec, 2016, p. 22)

La industria de la curtiembre con aproximadamente 70 años en Ecuador procesa cerca de 350 mil pieles al año; se afirma que la mayoría de curtiembres se ubican en la provincia de Tungurahua realizando esta actividad de una manera artesanal, este dato es congruente con lo indicado por la Cámara de Calzado de Tungurahua, según la cual existen alrededor de 50 empresas y 1500 locales artesanales dedicados a dicha actividad. (Lema, 2017, pp.17-21)

Según el INEC en el año 2017 alrededor del 40% de los Gobiernos autónomos descentralizados (GAD) provinciales consideró que la principal afectación ambiental en su jurisdicción fue por contaminación de agua; en el caso de la provincia de Tungurahua, se enlista a las curtiembres como principal fuente de contaminación, ya que, por etapas propias del proceso y químicos que utilizan se producen descargas de efluentes con altas concentraciones de materia orgánica, sólidos totales, en condiciones de acidez o alcalinidad y elementos tóxicos como el sulfuro y el cromo, además de sus altos valores DQO, DBO, que ponen en riesgo la integridad del ambiente y la salud de las personas. (Cerón, 2011, p.2)

La industria de curtiembre en su mayoría se realiza por procesos artesanales, esto conlleva al uso de tecnologías poco eficientes en aprovechamiento de agua, energía y sustancias químicas, que genera una serie de problemas ambientales, entre ellas, características tóxicas de sus aguas residuales que se descargan a los sistemas de alcantarillado o ríos sin tratamiento previo.

De acuerdo a lo mencionado, se genera un problema ambiental, pero a la vez una oportunidad de cambio y mejora en procesos, en el que, se puede aportar conocimientos de ingeniería y aplicar medidas técnicas, con el fin de disminuir el impacto negativo que se da en el ambiente y cumplir con las exigencias de los gobiernos provinciales.

1.2 Justificación del proyecto

El estudio realizado por Proyectos Medioambientales Bautista López (PROMABAL) menciona que la curtiembre “Moyolsa” dedicada a la obtención de cuero para calzado y guante, procesa mensualmente una cantidad promedio de 500 pieles (saladas o frescas) de res, entre sus operaciones se mencionan el remojo, pelambre, descarte, dividido, curtido, re curtido y acabado, las cuales, son una mejora de técnicas empíricas empleadas en su proceso de producción. Sin embargo esto no puede evitar la contaminación de efluentes en la curtiembre. (PROMABAL, 2015, p.2)

La empresa por la actividad que realiza genera una cantidad considerable de aguas residuales que presentan un impacto negativo a nivel ambiental por la presencia de materia orgánica y sustancias químicas propias del proceso. A pesar de que dicha empresa cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, de acuerdo con los últimos resultados de análisis de efluentes solicitados por el Ministerio de Ambiente (MAE) las aguas residuales mencionadas no cumplen con lo descrito en la Tabla N°8: Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público, Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA): Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua según el Acuerdo Ministerial N° 097 publicado en Registro Oficial Edición Especial 387 de 04-nov.-2015 (ver anexo1), es por ello, que entre el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) de Tungurahua y el MAE exigen el cumplimiento de dichas regulaciones y evitar futuras sanciones. (Ministerio del Ambiente, 2015, pp 19-20)

Se debe resaltar que el sistema actual de tratamiento de aguas residuales no realiza un tratamiento preliminar a efluentes provenientes de la etapa de curtido y pelambre, lo cual hace que dichas aguas y sus contaminantes propios (cromo y sulfuros) se junte con efluentes de otras operaciones del proceso, incrementando la concentración de sus contaminantes. Adicionalmente se ha evidenciado que no existe un control para la operación del actual diseño como la dosis de químicos, monitoreo de cada etapa, eficiencia, etc.

Las descargas más contaminantes de una curtiembre se dan en las operaciones de pelambre y curtido por la alta concentración de sulfuro y cromo generados respectivamente. Es muy importantes separar estas corrientes y darles un tratamiento acorde a sus características fisicoquímicas para evitar posibles riesgos de salud como: la formación del mortal sulfuro de hidrógeno (H_2S) y el altamente cancerígeno cromo hexavalente (Cr^{6+}). Adicionalmente el tratamiento de cromo y sulfuro ayuda en la disminución de otros parámetros como: la demanda

química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos totales y potencial de hidrógeno (pH). (Buljan y Kral, 2011, pp 9-12)

Por lo indicado anteriormente, se evidencia la necesidad de un rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales a través del estudio de los efluentes de pelambre y curtido con el fin de obtener descargas de agua con menor carga contaminante; para esto es necesario la caracterización de dichos efluentes, tratabilidad de parámetros fuera de norma, determinación de variables y cálculos de ingeniería con el propósito de establecer la mejor opción para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la curtiembre “Moyolsa”.

1.3 Línea base del Proyecto

1.3.1 Curtiembre “Moyolsa”

Desde hace más de 25 años, Wilson Moyolema propietario de la empresa “Moyolsa” se ha dedicado a la fabricación de calzado industrial y artículos en cuero natural. La empresa a través de su calidad, competitividad, tecnología y servicio busca procedimientos ecológicos para ser una curtiembre reconocida a nivel nacional por su alta calidad en artículos de cuero con el uso de producción más limpia.

La empresa realiza sus procesos de producción en dos instalaciones; en el parque industrial segunda etapa se realizan los procesos húmedos (ribera, curtido y teñido) mientras que en el pasaje Veracruz y Av. Rodrigo Pachano se realizan procesos secos (secado, almacenamiento de producto terminado, disposición final y oficinas). (PROMABAL, 2015, p.9)

El presente proyecto se realizó en las instalaciones del parque industrial, en la Av. Real Audiencia, parroquia Pishilata, cantón Ambato, parroquia Tungurahua. La zona cuenta con servicio de recolección de basura, luz eléctrica, servicio de transporte público y alcantarillado en el cual se descargan efluentes del sistema actual de tratamiento de aguas.

La curtiembre posee 2000m² disponibles, de ellos se utiliza alrededor de 1200m² distribuidos para el área de recepción y despacho, oficina, bodegas, baños, zona de maquinaria, zona de químicos y para la fase húmeda de producción de dicho cuero (área de fulones, tratamiento de aguas residuales, tanques de remojo, divididora, descarnadora) como se muestra en la siguiente ilustración:

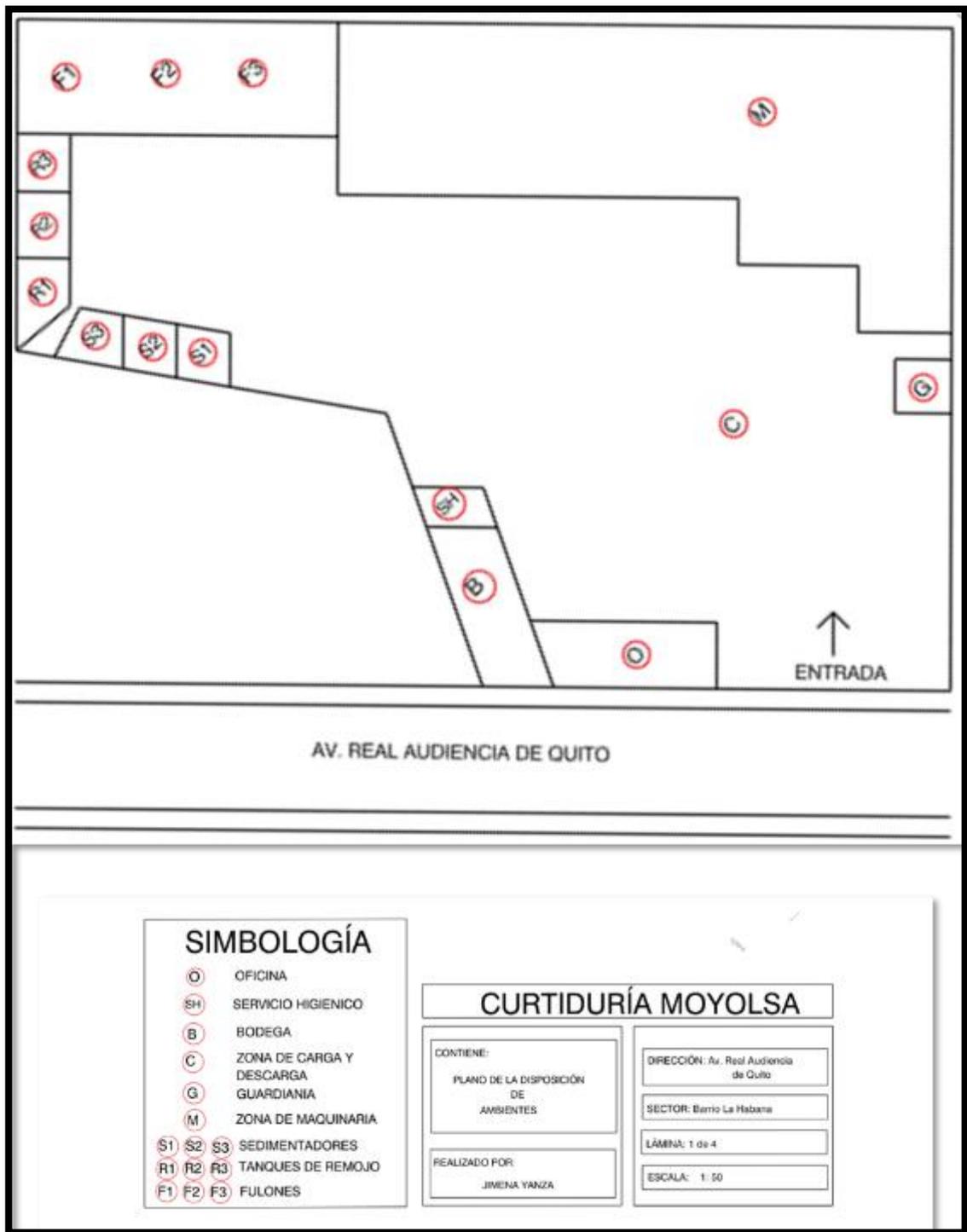


Figura 1-1: Plano de disposición de ambientes de Curtiduría Moyolsa

Fuente: (Yanza, 2017, p.20)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

Mensualmente la curtiembre procesa alrededor de 600 pieles, por facilidad se explica que a cada piel Moyolsa la corta por la mitad del lomo obteniendo dos bandas con un peso promedio de 12 kg cada una, entonces al mes se transforman 1200 bandas en cuero, de ellas se utiliza 1000 para fabricar guantes y 200 para calzado, su consumo de químicos y agua se detallan a continuación:

Tabla 1-1: Químicos utilizados por la curtiembre “Moyolsa”

Proceso	Químicos utilizados	Cantidad (kg/semana)	Cantidad (kg/mes)
Pelambre	Cal	50	1200
	Humectante	10	60
	Sulfuro de sodio	30	180
	Anderamin ST	10	60
	Anderamin PX	4	24
	Alox WO	2	12
Desencalado	Sulfato de amonio	20	120
	Bisulfito de sodio	10	60
	Desencalante	5	30
Piquelado	Formiato de sodio	8	48
	Acido fórmico	15	90
	Cloruro de sodio	50	1200
	Purga (enzima)	7	42
Curtido	Cromo	50	300
	Basitam (basificante)	10	60
Teñido cuero guantes	Dióxido de zinc	3	15
	Grasa sulfurada	40	200
Teñido y engrase Cuero calzado	Cromo	5	5
	Recurtiente sintético	3	3
	Recurtiente vegetal	3	3
	Grasa sintética sulfitada	50	50
	Acrílico resina	5	5
	Anilina	2	2
	Acido fórmico	4	4
Acabado	Pigmento	10	40
	Ligante	10	40
	Recinas	10	40
	Laca al agua	15	60
	Mastacto	18	72

Fuente. (PROMABAL, 2015, PP:58-59)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

La tesis se enfoca en tratamientos para efluentes de pelambre y curtido, razón por la que en adelante se hace una descripción más detallada en información que sea útil para el nuevo diseño.

El efluente de las operaciones de pelambre y curtido se puede calcular mediante las entradas de la operación en cuestión, así, es necesario saber que la cantidad de químicos utilizados en operaciones secuenciales del proceso de producción del cuero se basan en el peso promedio de las pieles que se van a procesar. Para el caso de 100 pieles (200 bandas con un peso promedio de

12 kg c/u) se tiene 2400kg para curtir, este peso es el 100% y sirve al cálculo de la cantidad en que se adicionan los químicos como se indica en la siguiente tabla:

Tabla 2-1: Químicos utilizados para pelambre

Químicos	cantidad		Tiempo de mezcla	Observación
	%	kg		
Agua	150	3600	1 hora	
Enzima	0,4	9,6		
Katán	0,3	4,8		
Sulfuro de sodio	0,4	9,6		
cal	1	24	1 hora	
Sulfuro de sodio	0,4	9,6	30 minutos	Si el pelo no se ha retirado aun, agregar sulfuro de sodio
enzima	0,3	4,8		
Sulfuro de sodio	0,2	4,8		

Fuente. Moyolsa, 2018

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

Tabla 3-1: Químicos utilizados para el curtido

Químicos	Cantidad		Tiempo de mezcla	observación
	%	kg		
Agua	80	1920	20 min.	Agua hasta tapar pieles
Sal	7	168		
Ácido fórmico	2	48	2 horas	
Cromo	5	120	1 hora	
Basificante	0,6	14,4	8 horas	

Fuente. Moyolsa, 2018

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Las operaciones de la curtiembre Moyolsa se hacen bajo un sistema por lotes, los bombos tienen una capacidad para 100 y 200 bandas máximo y como se describió antes se trabaja bajo una producción mensual determinada, con respecto al año 2018 su consumo de agua promedio mensual fue de 200m³, a continuación se tiene su consumo diario y por mes de los procesos de pelambre y curtido basado en las 600 pieles promedio procesadas.

Tabla 4-1: Consumo de agua por proceso

	Producción diaria	Producción mensual
# pieles	100	600
# bandas	200	1200
Peso de banda promedio	12kg	12kg
Peso a curtir	2400kg	14400kg
	Consumo de agua	
	Día (m³)	Mes (m³)
Proceso pelambre	3,6	21,6
Proceso curtido	1,92	11,52

Fuente. Moyolsa, 2018

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

1.3.1.1 Proceso tecnológico de producción del cuero

Moyolsa como materia prima considera a la piel fresca o salada de ganado vacuno serrano proveniente del camal, a continuación se observa un diagrama de flujo en el que se muestran las operaciones del proceso de producción del cuero por las que pasan las 600 pieles promedio a ser procesadas mensualmente. Estos procesos se hacen por lotes y máximo 2 veces a la semana.

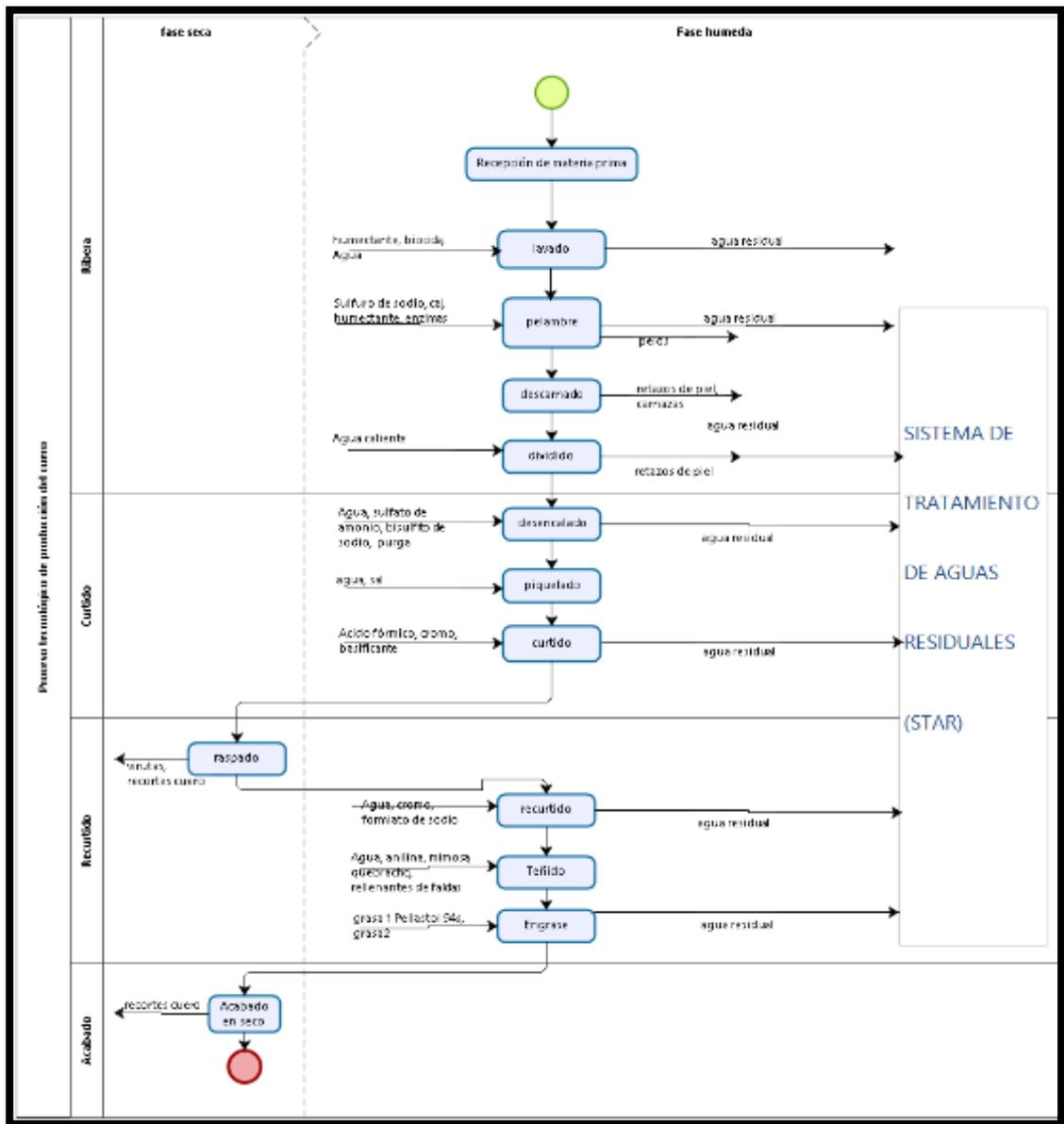


Figura 2-1: Proceso de producción del cuero en la curtiembre “Moyolsa”

Fuente: Curtiduría Moyolsa, 2018

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

El balance de masa en las operaciones de pelambre y curtido se describen a continuación:

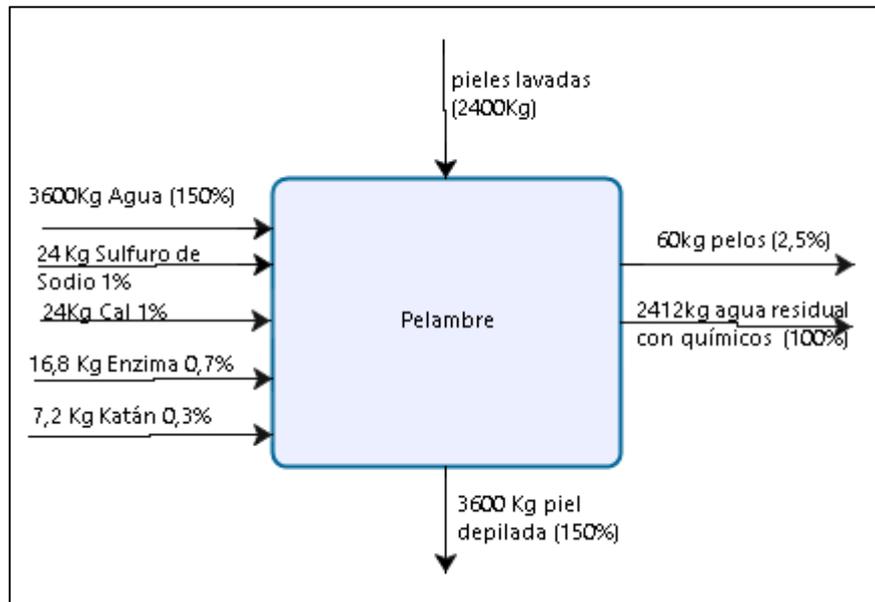


Figura 3-1: Balance de masa para pelambre

Fuente: Curtiduría Moyolsa, 2018

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

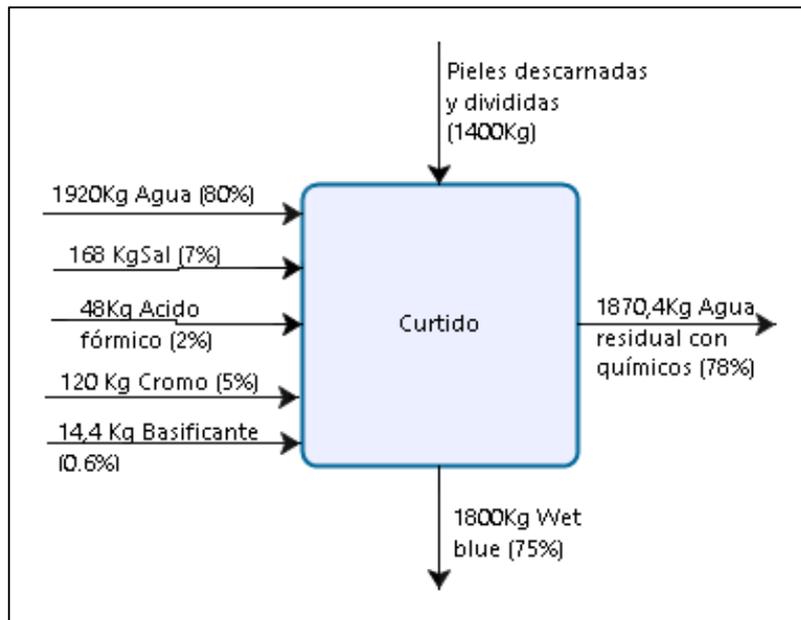


Figura 4-1: Balance de masa de curtido

Fuente: Curtiduría Moyolsa, 2018

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

Nota: los porcentajes se realizaron en base al peso inicial y máximo de pieles a curtir. (2400kg)

El impacto negativo generado por estos procesos se evidencia en el aire, suelo y agua, debido a esto Moyolsa realiza lo siguiente para solventarlo:

Los residuos sólidos generados en las distintas operaciones se dividen en materia orgánica (proteínas y grasas), suciedad y productos químicos de proceso. La mayoría de estos son recuperados para elaborar otros productos y los que no, son enviados al relleno sanitario de Pillaro con una frecuencia de 2 veces por semana. (PROMABAL, 2015, p. 62)

Sin embargo, para el caso de contaminación de agua, la curtiembre Moyolsa cuenta con un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (STAR) en la que se descargan efluentes generados por operaciones de: lavado, pelambre, dividido, desencalado, curtido, recurtido, teñido y engrase antes de ser descargadas al sistema de alcantarillado, sin embargo, al realizar el control de los parámetros al efluente final del tratamiento correspondientes con la normativa ambiental estos no la cumplen.

1.3.1.2 Sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) actual de la curtiembre “Moyolsa”

Para la recolección de los efluentes de las distintas operaciones ejecutadas en los bombos es necesario indicar que el piso sobre el que se descargan dichos efluentes es encementado e inclinado con el fin de conducirlos a un canal de 30cm de ancho y 20cm de profundidad que servirá para finalmente llevarlos al Sistema de tratamiento de aguas residuales que dispone “Moyolsa”

Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales:

- Rejilla (R1).- separa los sólidos mayores a 0,5 mm para dejar pasar al fluido al canal de recolección.
- Canal de recolección.- Transporte de todos los fluidos hacia el tanque 1 del STAR
- Tanque 1(T1).- Se encarga de la recolección *de todos los efluentes de la curtiembre*, además de ser un tanque de sedimentación y desengrase para eliminar sólidos y grasas que han pasado por la rejilla formando así un fluido uniforme en caudal, regula el pH por la mezcla de los dos tipos de efluentes, básicos y ácidos. El retiro de grasas es de forma manual, están fabricados en hormigón armado con 6m³ de capacidad y de forma rectangular.
- Tanque 2 (T2).- Tanque de sedimentación y desengrase de hormigón armado con 6m³ de capacidad y forma rectangular.
- Tanque 3 (T3).- Homogeniza el fluido, fabricado en hormigón armado posee una capacidad de 3m³ y forma rectangular.

- Tanque 4 (T4).- El efluente recolectado está listo para pasar por esta estación de bombeo para su tratamiento químico, de igual manera su material es de hormigón armado con 3m³ de capacidad y forma rectangular.
- Tanque 5.(T5)- Tanque de tratamiento químico, está hecho en PVC con 2m³ de capacidad
- Tanque 6.(T6)- Tanque de neutralización.- Hecho en PVC con 2m³ de capacidad
- Tubería de descarga.- se encarga de descargar el fluido ya tratado al sistema de alcantarillado.(PROMABAL, 2015, p.161)

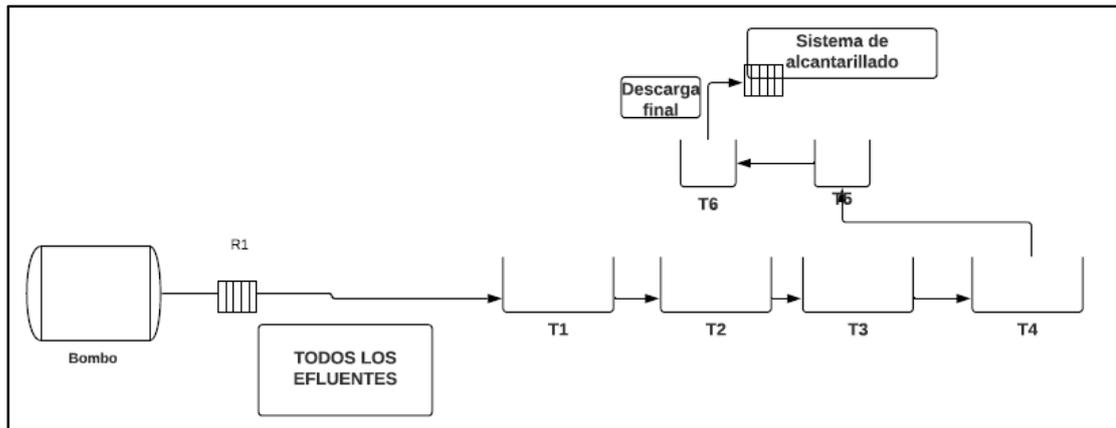


Figura 5-1: Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR)

Fuente. (PROMABAL, 2015, p.161)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

Situación actual del sistema de tratamiento de aguas residuales

Para la elaboración del diagnóstico se visitó la curtiembre “Moyolsa” los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2018; se encontró un sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) similar al descrito anteriormente, sin embargo se evidencia lo siguiente:

Tabla 5-1 Sistema de tratamientos de aguas residuales actual

Observaciones	Evidencia
En este sistema de tratamiento de aguas residuales ingresan todos los efluentes de las diferentes operaciones de lavado, pelambre, desencalado, rendido, piquel, curtido, post-curtido y engrase	

<p>Las rejillas se encuentran desgastadas, no se cumple la retención de sólidos mayores a 0,5mm</p>	
<p>Trampa de grasas</p> <p>No existen registros periódicos de retiro de grasas</p>	
<p>Sedimentador y desengrase 2</p> <p>No existe monitoreo de pH</p>	
<p>Tanque 3 y 4 de homogenización y bombeo</p>	

<p>Tanque 5 de tratamiento químico</p> <p>Se pudo observar que el tiempo de retención en el floculador fue de segundos después de añadir el floculante (cal p-24 y sulfato de aluminio Al_2O_3 15%) antes de pasar al otro tanque</p>	
<p>Tanque de neutralización</p> <p>No se evidenció ningún monitoreo de pH antes de su descarga final.</p>	

Fuente. Curtiduría Moyolsa, 2018

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

Se solicitó la siguiente información:

- dosis de químicos de tratamiento
- frecuencia de mantenimiento y limpieza
- control de químicos
- tiempos de residencia
- caudales de ingresos
- manual de operación
- información técnica detallada

Sin embargo, hasta antes de la elaboración del documento, estos requerimientos no han sido entregados, por lo que se puede de esta manera constatar que no existe dicha información y al no existir la información los trabajadores no conocen cuáles son sus actividades correspondientes a este proceso.

Cabe recalcar que el tratamiento para los efluentes se realiza en un solo STAR, pero al realizar el control de los parámetros en laboratorio no se cumple con lo establecido en la normativa ambiental vigente.

Análisis de resultados de descarga al alcantarillado

Los resultados de análisis del laboratorio acreditado “Lacquanálisis S.A.” realizados el 9 de octubre del 2018 a la descarga final del STAR y expuestos en la siguiente **Tabla 6-1** evidencian que los parámetros cromo hexavalente, DBO5, DQO, Fenoles, pH, Sólidos totales, Sulfatos, Sulfuros, Detergentes no cumplen con los límites permisibles en la normativa ambiental.

Tabla 6-1: Resultados de análisis de agua descargada al alcantarillado

Parámetro	Unidad	Método	Resultado	Valor límite máximo permisible
Aceites y grasas	mg/l	PRO TEC 053 / APHA 5520 B	20,10	70
Caudal de descarga	L/s	Según condiciones del sistema	0,41	-
Cromo hexavalente	mg/l	PRO TEC 041/ HACH 8023	0,924	0,5
DBO5	mg/l	PRO TEC 066/ HACH 8043	4551,70	250
DQO	mg/l	PRO TEC 014/ APHA 5220 D	9969	500
Fenoles	mg/l	PRO TEC 055/ HACH 8047	38,427	0,2
pH	UpH	PRO TEC 011 / APHA 4500 H+ B	10,71	6-9
Sólidos totales	mg/l	PRO TEC 017/ APHA 2540 B	12144	1600
Sulfatos	mg/l	PRO TEC 026/ HACH 8051	1457,50	400
Sulfuros	mg/l	PRO TEC 042/ HACH 8131	124,860	1
Detergentes	mg/l	PRO TEC 054/ HACH 8028	3,733	2

Fuente: Curtiduría Moyolsa

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

1.3.2 Marco conceptual

1.3.2.1 Curtición de pieles

El proceso de curtido de pieles ha variado con el tiempo, en un principio su objetivo solo era transformar la piel del ganado a un material libre de putrefacción llamado cuero que pueda usarse para múltiples productos. Hoy en día, tras los impactos negativos generados al aire, suelo y agua por este proceso se ha desarrollado nuevas tecnologías para optimizar procesos sin dejar de lado la calidad del producto.

Cada curtiembre tiene una formulación determinada y según el curtidor puede utilizar químicos diferentes para dar cierta característica adicional al cuero como mayor resistencia, color, flexibilidad, etc. Se observó en la **Tabla 1-1** que Moyolsa ocupa 30 químicos para su proceso, sin embargo la industria de la curtiembre puede llegar a ocupar hasta 300 químicos diferentes, una de las razones es porque cada industria química patenta su producto y algunas no especifican su composición, esto hace que su proceso tecnológico de producción del cuero varíe de curtiembre a curtiembre aun cuando se procese la misma materia prima en condiciones similares y para obtener un mismo producto. (Black et al., 2013, p.42)

Químicos utilizados

Los químicos usualmente utilizados son los inorgánicos como: sulfuro de sodio, Hidróxido de calcio, ácidos, carbonatos, sulfitos, sulfatos ocupando del 20 al 50% en peso de la piel, por el contrario los orgánicos como sales y ácidos orgánicos ocupan un porcentaje entre el 3 y 40%. Como se mencionó anteriormente debido a las patentes de la industria química no existe información puntual de composición de los productos químicos a utilizar y por ende dificulta determinar el impacto ambiental de cada uno de ellos. (Black et al., 2013, p.42).

Tabla 7-1: Principales productos químicos para un proceso convencional de curtido

Consumo de químicos	% aproximado
Productos químicos inorgánicos estándar (sin sal de curado, ácidos, bases, sulfuros, productos químicos que contienen amonio)	40
Productos químicos orgánicos estándar (ácidos, sales y bases)	7
Químicos para curtido (cromo, agente curtidor alternativo)	23
Agentes de tinte y auxiliares	4
Agentes engrasantes	8
Productos químicos de acabado (pigmentos, químicos especiales, aglutinantes y agentes de reticulación)	10
Disolventes orgánicos	5
Surfactantes	1
Biocida	0.2
Enzimas	1
Otros (agentes secuestrante, humectante, complejante)	1
Total	100

Fuente. (Black et al., 2013, p. 42)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019..

Se observa una gama de químicos usados, alguno de ellos pueden requerir un tratamiento especial en el efluente generado. Es necesario considerar que apenas el 15% de químicos son retenidos en el cuero y el 85% se eliminan en el agua, causa que comprueba la contaminación al recurso hídrico.

Operaciones principales del proceso de curtido

Una breve descripción de las operaciones del proceso de curtición de piel para obtener cuero se puede resumir en la siguiente tabla, señalando sus etapas principales.

Tabla 8-1: Etapas del proceso convencional de curtición del cuero

Etapas	Descripción
Recepción de materia prima (piel de res)	La piel fresca es contada y clasificada según requiera la empresa, se corta bordes de las patas colas, cuello, ubres y el lomo dividiéndolo en dos. (Black et al., 2013, p.15) Constituye un aporte a la carga orgánica de DBO, DQO, SS. Como residuo sólido se produce trozos de piel (cola, ubres) (Buljan y Kral, 2011, p.2)
Lavado	La operación se realiza en un bombo o fulón, su objetivo es proporcionar a la piel, humedad que pudiere haber perdido antes y elimina la suciedad, sangre y excrementos de la misma. El consumo de agua varía entre 200 y 400% respecto al peso de la piel. Se puede agregar biocida para reducir la putrefacción de la piel, humectantes y agentes emulsificantes para minimizar el daño de las bacterias a la piel.((CPTS), 2003, p.23) Constituye un aporte a la carga orgánica de DBO, DQO, SD Como residuo sólido se produce grasa. (Buljan y Kral, 2011, p.2)
Pelambre	La operación se realiza en un bombo o fulón, su objetivo es retirar el pelo, raíces y epidermis de la piel, posteriormente la encala (preparar la piel hinchándola para su posterior eliminación de carne y grasa). Ocupa agua entre un 100 y 300% (Black et al., 2013, p.16) El pelambre con destrucción de pelo o convencional utiliza sulfuro de sodio y cal como reforzante del sulfuro y para el hinchamiento. Por el contrario el pelambre sin destrucción de pelo usa un álcali previo al sulfuro y cal ((CPTS), 2003, p.24) Constituye un aporte a la carga orgánica de DBO, DQO, SS, Sulfuros, N orgánico, N amoniacal. Como residuo sólido se produce pelo Como emisión al aire existe H ₂ S (Buljan y Kral, 2011, p.2)
Descarnado	Con el uso de una maquina descarnadora separa la carne y grasa de la piel.((CPTS), 2003, p.25) Como residuo sólido se produce carnes, grasas, hilachas de piel
Dividido	En una maquina divididora, según el grosor seleccionado las pieles son divididas en dos: la una se llama flor (parte externa) y la otra carnaza(parte interna) ((CPTS), 2003, p.26) agua residual Como residuo sólido se produce hilachas de piel,
Desencalado	La operación se realiza en un bombo o fulón, su objetivo es retirar el exceso de cal contenidas en las pieles divididas. (Black et al., 2013, p.17)

	<p>Esta operación usa sales de amonio para neutralizar y detener el hinchamiento de la piel. Remueve el sulfuro remanente mediante agua y reactivos químicos como bisulfito de sodio. ((CPTS), 2003, p.26)</p> <p>Constituye un aporte a la carga orgánica de DBO, DQO, ST.</p> <p>Como emisión al aire se produce NH₃ (Buljan y Kral, 2011, p.2)</p>
Piquelado	<p>La operación se realiza en un bombo o fulón, su objetivo es ajustar el pH entre 2.8 y 3.5 y detener tendencia al hinchamiento ácido a través de una sal común. ((CPTS), 2003, p.27)</p>
Curtido	<p>La operación se realiza en un bombo o fulón, su objetivo es convertir a las pieles en un material resistente y ya no susceptible a la putrefacción, desde este momento la piel se convierte en cuero. (Black et al., 2013, p.20)</p> <p>A pesar de existir diferentes tipos de agentes curtientes, por falta de investigación, 80 y 90% de curtición de cuero se lo realiza con sales de cromo.</p> <p>Se ocupa entre el 5 y 8 % de sales de cromo (sulfato básico de cromo trivalente), para la óptima fijación del cromo se usa un basificante para alcanzar un pH =4, para optimizar la velocidad de reacción del cromo se usa ácido fórmico u otros agentes enmascarantes que evitan la precipitación del cromo. ((CPTS), 2003, pp.28-29)</p> <p>Constituye un aporte a la carga orgánica de DBO, DQO, SS, TDS, Acidez, Sales, Cromo, Taninos vegetales y sintéticos</p> <p>Como residuo sólido se produce retazos de cuero. (Buljan y Kral, 2011, p.2)</p>
Raspado	<p>Se realiza a través de una máquina raspadora para ajustar el espesor final del cuero. ((CPTS), 2003, p.31)</p> <p>Como residuo sólido se produce virutas que contiene cromo (Buljan y Kral, 2011, p.2)</p>
Recurtido	<p>La operación se realiza en un bombo o fulón, su objetivo es dar propiedades físicas más uniformes al cuero como dureza, soporte, cuerpo, etc. (Black et al., 2013, p.22)</p> <p>Primero se realiza una neutralización adicionando sales como el formiato de sodio o bicarbonato de sodio. Para el recurtido se añade sales de cromo en una menor cantidad que en la operación de curtido (0,5- 0,8%). ((CPTS), 2003, p.31)</p> <p>Constituye un aporte a la carga orgánica de DBO, DQO, TDS, Cromo, taninos sintéticos y vegetales. (Buljan y Kral, 2011, p.2)</p>
Teñido	<p>La operación se realiza en un bombo o fulón, su objetivo es producir una coloración uniforme en los cueros. (Black et al., 2013, p.22)</p> <p>Se utiliza agentes químicos como anilinas</p> <p>Constituye un aporte a la carga orgánica de DBO, DQO, TDS, Cromo, tintes. (Buljan y Kral, 2011, p.2)</p>
Engrase	<p>La operación se realiza en un bombo o fulón, su objetivo es reestablecer el contenido de grasa perdido antes dándole mayor suavidad al cuero</p> <p>Se emplea engrasantes sintéticos y naturales (Black et al., 2013, p.22)</p> <p>Constituye un aporte a la carga orgánica de DBO, DQO, TDS, Cromo, tintes, grasas. (Buljan y Kral, 2011, p.2)</p>
Acabado en seco	<p>Mejora la apariencia del cuero además de dar características de rendimiento como: color, brillo, resistencia, extensibilidad, rotura, solidez, resistencia al agua, etc. (Black et al., 2013, p.23-24)</p>

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

Nota: los porcentajes mencionados son con relación al peso de la piel a curtir

1.3.2.2 Contaminantes generados por curtiembres

Debido a la diferente materia prima, proceso, químicos, consumo de agua, producto obtenido, no está fuera de lugar decir que las cargas contaminantes también varían y su interpretación debe ser con cautela. (Buljan y Kral, 2011, p.7)

La mayoría de operaciones del proceso de curtido son en medio húmedo, por ende, la principal generación de contaminantes se halla en el agua residual; los parámetros comúnmente monitoreados son: químicos tóxicos como el sulfuro y cromo, materia orgánica (DBO o DQO), inorgánica (DQO), sólidos sedimentables, sólidos totales y pH. (Black et al., 2013, p.60)

Tabla 9-1: Contaminantes principales en el agua residual de curtiembre

Parámetro	Concepto	Importancia de control
Cromo trivalente	El cromo químicamente en el agua se encuentra en estados de oxidación III y VI En la curtición de pieles se utiliza sulfato básico de cromo (III) Cr(OH)SO ₄ como materia prima de curtiente.	Evitar la formación de cromo hexavalente y reducir la contaminación de metales pesados en el agua.((CPTS), 2003, p.142)
Cromo hexavalente	Es el cromo generado por el uso industrial	El cromo (VI) se absorbe con facilidad a través del tracto gastrointestinal. Es un compuesto tóxico que tras su ingestión provoca daños al hígado, reproductivos y cáncer (Mencías y Mayero, 2000, PP: 630-632)
Demanda bioquímica de oxígeno 5 (DBO ₅)	Expresada en mg/L, se refiere a la cantidad de oxígeno en miligramos, necesarios para oxidar por 5 días a temperatura de 20°C, la materia orgánica biodegradables contenida en 1 litro de muestra, mediante microorganismos del medio. En una curtiembre su principal fuente es la operación de encalado con un 70% de aporte seguida del lavado y pos-curtido.	El DBO ₅ es primordial para determinar la calidad del agua; un valor alto de este parámetro indica baja capacidad de auto purificarse el cuerpo de agua y el requerimiento de un tratamiento (APHA, AWWA y WPCF, 1992, p.89)
Demanda química de oxígeno (DQO)	Expresada en mg/L, se refiere a la cantidad de oxígeno equivalente al contenido de materia oxidable biodegradable y no biodegradable, contenido en 1 litro de muestra, que puede ser oxidada por un reactivo químico fuertemente oxidante. ((CPTS), 2003, p.142)	El DQO al igual que el DBO ₅ , indica el grado de contaminación presente en el agua. Un valor elevado muestra una calidad de agua pobre

	En una curtiembre su principal fuente es la operación de encalado con un 50% de aporte seguida del lavado y poscurtido. Un valor elevado muestra una calidad de agua pobre	
Sólidos sedimentables, SD	Expresado en ml/l, se refiere al material desprendido de la suspensión en un período determinado (APHA, AWWA y WPCF, 1992) Las operaciones de lavado y pelambre desprenden principalmente estos sólidos	Estos sólidos muestran la cantidad de sólidos que podrían ser eliminados al ejecutarse un tratamiento primario del agua (Chacón, 2016, p.35)
Sólidos totales	Expresada en mg/L, se refiere a los residuos que quedan en un recipiente tras la evaporación de la muestra seguido por su secado en la estufa a temperatura definida. Estos sólidos incluyen a sólidos totales suspendidos y disueltos (APHA, AWWA y WPCF, 1992) La operación principal de aporte de SS (50%) es la de lavado y pelambre.	Las aguas con abundante concentración de estos sólidos inducen una reacción fisiológica desfavorable tras su consumo (APHA, AWWA y WPCF, 1992)
Sulfuros (S ²⁻)	Análiticamente existen 3 categorías de sulfuros en el agua y aguas residuales que dependen del pH en el que se encuentren; en pH bajo domina el H ₂ S, en pH medio el ion HS ⁻ , y los iones S ²⁻ dominan a un pH alto. Los S ²⁻ expresados en mg/L, se refiere al ion altamente tóxico proveniente de la disociación del sulfuro de sodio (fuertemente básico) que se da en la operación de pelambre, por su carácter reductor en medio acuoso produce una fuerte disminución del oxígeno disuelto, en condiciones ácidas forma ácido sulfhídrico (gas venenoso) ((CPTS), 2003, p.143)	La reducción del oxígeno disuelto afecta la vida acuática. El sulfuro de hidrógeno escapado al aire por las aguas residuales que contienen sulfuros produce olores molestos, además de que su toxicidad ha producido la muerte de trabajadores en alcantarillas. (APHA, AWWA y WPCF, 1992, p.683)
Potencial de hidrógeno pH	Se utiliza como indicativo de la naturaleza ácida o básica de una solución, teniendo: <ul style="list-style-type: none"> • PH= 7 medio neutro • PH<7 medio ácido • PH>7 medio alcalino o básico ((CPTS), 2003, p.147) Es una de las pruebas más usadas en análisis químico del agua; todas las fases de tratamiento dependen del valor de pH, debido a que indica su calidad. (APHA, AWWA y WPCF, 1992, p.574)	Es importante indicar la calidad del agua para conocer su compatibilidad con la vida de especies acuáticas ya que su pH debe estar entre 6 a 9 como punto referencial para ser descargada. Además, el agua con pH bajo indica la presencia de metales, mientras que con pH alto muestra elevada concentración de minerales disueltos

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

1.3.2.3 *Aguas residuales de curtiembres*

Acorde con la Norma de Calidad Ambiental y de Descargas de Efluentes: Recurso Agua (Anexo 1, libro VI, TULSMA) se deberá descargar el agua en sistemas de alcantarillados de acuerdo a los límites permisibles mencionados en la tabla 8 (Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público), Acuerdo Ministerial N° 097 publicado en Registro Oficial Edición Especial 387 de 04-nov.-2015 (ver anexo1). (Ministerio del Ambiente, 2015, pp. 19-20)

Descargar agua residual de curtiembres a un sistema de alcantarillado sin tratamiento previo, genera un aumento de lodos para plantas de tratamiento urbanas y dificulta su tratamiento por los diferentes químicos incorporados.(Black et al., 2013, p.11)

En curtiembres se puede categorizar a las aguas residuales en tres grupos:

- Los efluentes básicos son aquellos que se generan de las operaciones de pelambre, se caracterizan por ser de pH básico usualmente mayor a 11. Su importancia para categorizarla es por su contaminante principal que es el sulfuro.
- Los efluentes ácidos son generados por la etapa de curtido, se caracteriza por ser un fluido de pH ácido menor a 4. Su importancia para su separación es por su alto contenido de cromo.
- Los efluentes generales vienen de las etapas de lavado, remojo y engrasado los cuales contienen contaminantes generales de aguas residuales. (Buljan y Kral, 2011, p.9)

Tratar estas aguas por separado a más de evitar el mal olor, elimina posibles riesgos de seguridad por la formación de sulfuro de hidrógeno y el desplazamiento de lodos con alto contenido de cromo. En los países en desarrollo, existen plantas de tratamiento de efluentes comunes que prestan el servicio a curtiembres, sin embargo estas curtiembres también poseen unidades de tratamiento previo para eliminar partículas grandes, arena, grasa y significativamente reducir el contenido de sulfuros y cromo antes de que el efluente final sea descargado a la planta de tratamiento de efluentes común.(Buljan y Kral, 2011, p.11)

1.3.2.4 *Tratamiento de aguas residuales*

El agua residual se caracteriza por tener una composición variada, puede provenir del uso doméstico, industrial, agrícola u otro, sea público o privado y que por ello haya sufrido degradación en su calidad original; el agua residual industrial es específicamente agua de desecho generada en las operaciones o procesos industriales. (Ministerio del Ambiente, 2017, p.263)

Medición de caudal

La curtiduría “Moyolsa” en sus estudios del diseño actual del proyecto cuenta con un caudal definido previamente de entrada de los procesos de pelambre y de curtido con un caudal de 1,81 l/s y 1,75 l/s respectivamente.(PROMABAL, 2015, p.63), sin embargo como se trata de un sistema por lotes que ingresan a un tanque homogenizador, el caudal no se utilizará para el dimensionamiento de equipos, más bien se lo hizo en función de la salida del agua residual hecha por el balance de masa indicado en la *Figura 3-1* y en la *Figura 4-1*, tomando como base de cálculo a los efluentes de estas operaciones debido a que muestran mayor concentración de contaminantes de cromo y sulfuro

Muestreo de aguas residuales

El muestreo se refiere “al proceso de tomar al azar una cantidad representativa de un volumen de agua para su análisis determinado” (Instituto ecuatoriano de normalización (INEN), 2013b). La muestra simple da características del agua residual tomada en ese momento; se la utiliza en casos en que el caudal de agua residual y su composición es relativamente constante, su volumen mínimo es de un litro.(Ramalho, 1990, p.78)

Caracterización de aguas residuales

Antes de implementar un tratamiento a cualquier tipo de agua es menester realizar una caracterización del efluente a tratar, de esta manera se tendrá un conocimiento de los parámetros fuera de norma ambiental vigente en los que se quiere enfocar. Así, después de ejecutar el tratamiento elegido se podrá realizar una verificación de % remoción de contaminantes y ver la eficacia del método de tratamiento.

El agua residual posee una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos, decir que se puede realizar un análisis completo de estas aguas no es real, sin embargo existen métodos empíricos para evaluar la concentración de contaminantes como DBO, DQO, Sólidos totales, etc. (Ramalho, 1990, pp: 27-28)

Dependiendo del tipo de agua residual se evalúan los parámetros fisicoquímicos necesarios; en el agua de pelambre se evaluará parámetros de sulfuros, sulfatos, DBO, DQO, pH, sólidos totales y sólidos suspendidos mientras que al efluente de curtido se evaluará cromo total, cromo hexavalente, DBO, DQO, pH, sólidos totales y sólidos suspendidos.

Índice de biodegradabilidad

$$I_B = \frac{DBO_5}{DQO}$$

Ecuación 1

La relación entre el DBO₅ y DQO aprueba la posibilidad o no de ejecutar un determinado tratamiento a las aguas residuales.

- DBO₅/DQO < 0,2: las aguas se consideran de naturaleza inorgánica, poco biodegradables, requiere tratamientos físico – químicos.
- DBO₅/DQO (0,5-0,2): las aguas se consideran de naturaleza biodegradables, el valor permite cuestionar la selección de un tratamiento biológico o fisicoquímico.
- DBO₅/DQO > 0,5: las aguas se consideran de naturaleza orgánica, muy biodegradables, requiere un tratamiento biológico. (Metcalf, 1995, p.40)

1.3.2.5 Tipos de tratamiento de aguas residuales

Eliminar contaminantes es el objetivo principal de los diferentes tratamientos ejecutados en aguas residuales, ajustándolas a especificaciones ambientales vigentes. Los factores para tratarla son: caudal, composición, concentraciones, calidad requerida del efluente, abundancia del agua, posibilidad de reutilización o vertido a una depuradora municipal, etc. (Rigola, 1999, p.137)

En algunos casos solo se requiere una neutralización para los cauces receptores, en otros en el que no hay toxicidad se necesitara un proceso primario y secundario, si existiera un contaminante remanente o la necesidad de llevar la calidad del agua a una de mayor calidad genérica se necesitara de un tratamiento terciario. Sin embargo existen efluentes con compuestos tóxicos que necesitan un pretratamiento específico antes de ser llevada a uno convencional o plantas de tratamiento colectivo.(Rigola, 1999, p.138)

Tratamientos primarios

Implica una disminución de sólidos en suspensión, grasas y arenas o a su vez el acondicionamiento (neutralización y homogenización) de las aguas residuales para su descarga al siguiente tratamiento o a otros receptores. (Ramalho, 1990, p.91)

Los tipos fundamentales de tratamiento primario se detallan a continuación:

Tabla 10-1: Tipos de tratamiento primario

Tipos	Descripción
Cribado o desbrozo	<p>Reduce sólidos en suspensión de diferentes tamaños, la abertura de las rejillas depende del objetivo de las mismas. Los productos atrapados se incineran o van al vertedero.</p> <p>Las rejillas finas (5mm o menos) se fabrican de malla metálica de acero, o en base a placas de acero perforado. Se puede llegar a eliminar entre un 5 y 25% de sólidos en suspensión.</p> <p>El uso de estas cribas generalmente no es usado por el problema de atascamiento.</p> <p>Las cribas gruesas (4 - 8cm) evita que los sólidos grandes dañen las bombas y equipos</p>
Sedimentación	<p>Separa los sólidos en suspensión de las aguas, está basado en la diferencia de pesos específicos entre partículas sólidas y el líquido donde se encuentran.</p> <p>Algunos casos, la sedimentación es el único tratamiento al que se someten las aguas residuales. Puede llevarse a cabo en una o varias etapas o en varios de los puntos del proceso de tratamiento.</p> <p>Dependiendo de la naturaleza de los sólidos en suspensión se tiene sedimentación de tipo:</p> <p>Discreta. - las propiedades físicas (tamaño, forma, peso específico) de las partículas no cambian en el proceso.</p> <p>Con floculación. - la densidad y velocidad en sedimentar de las partículas varían mientras se sedimentan</p> <p>Por zonas. - las partículas forman una masa total que sedimenta presentando una interfase distinta con la fase líquida.</p>
Flotación	<p>Separa sólidos de baja densidad o partículas líquidas de fase líquida, se da introduciendo un gas (aire) en la fase líquida, en forma de burbujas, así tras un proceso de presurización (2 y 4 atm) en presencia de suficiente aire consigue la saturación en aire del agua, luego el líquido saturado de aire se despresuriza (1 atm) formando pequeñas burbujas de aire que se desprenden de la solución.</p>
Neutralización	<p>Se ejecuta en los siguientes casos:</p> <p>Antes de la descarga de aguas residuales en un medio receptor, ya que el pH cercano a 7 es compatible con la vida acuática</p> <p>Antes de la descarga al alcantarillado debido a facilidad en posteriores tratamientos municipales.</p> <p>Antes del tratamiento químico o biológico por requerimiento técnicos de los mismos</p>
Homogenización	<p>Para la neutralización, la homogenización significa mezclar aguas residuales ácidas y alcalinas. Sin embargo existe otros objetivos para homogenizar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Disminuir las variaciones de corrientes consiguiendo un caudal relativamente constante de las aguas residuales que llegue a la planta de tratamiento. • Reducir DBO del efluente a los sistemas de tratamiento

Fuente: (Ramalho, 2003, PP:91-197)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

Tratamientos secundarios

Conocidos también como tratamientos biológicos tienen como objetivo la destrucción de las moléculas orgánicas disueltas gracias a la actividad metabólica de los microorganismos presentes. Se tiene procesos secundarios aerobios y anaerobios. (González, 2013, p.46)

Tratamiento terciario

Conocido también como tratamiento avanzado, consiste en obtener una calidad del agua mayor a la conseguida por los anteriores tratamientos a través de la ejecución de una serie de operaciones. Los tipos de tratamiento terciario son: separación de sólidos en suspensión, adsorción en carbón activo, intercambio iónico, osmosis inversa, electrodiálisis, oxidación química, eliminación de nutrientes. (Ramalho, 1990, p.585)

Tratamientos específicos

Están dirigidos para efluentes ricos en metales pesados, pesticidas y otras sustancias que traspasarían con facilidad tratamientos primarios e inhibirían el secundario. Su aplicación se encamina para efluentes de poco volumen, ricos en materiales no degradables, debido a que es más rentable eliminar un contaminante específico en poco volumen y concentrado que de uno voluminoso y diluido. Las operaciones en dicho proceso se refieren a: precipitaciones, adsorciones en carbón activo, oxidaciones químicas, intercambio iónico, ósmosis inversa y electrodiálisis. (Rigola, 1999, p.138)

Tratamiento específico en efluentes de curtiembres

Este tratamiento se ejecuta separando los efluentes; las aguas provenientes de pelambre pasarán por una oxidación de sulfuros mientras que los efluentes de curtido se destinarán procesos de precipitación de cromo. Ambas ya tratadas pueden pasar a un tratamiento convencional que consta de una homogenización con los demás efluentes, seguido de una coagulación y floculación consiguiendo la remoción de sólidos totales, DQO y DBO.

Este tratamiento específico consta de tratamientos mecánicos y fisicoquímicos; su monitoreo y control es necesario debido a la fluctuación en volumen y composición para un eficiente proceso, dicho tratamiento se lo puede realizar en la misma planta según su capacidad disponible para después enviarla a plantas de tratamiento colectivas, las técnicas aplicadas son las siguientes:

Tratamiento mecánico

A través del cribado se elimina material grueso (piezas de piel y fibras de cuero) para no bloquear tuberías ni bombas, estos tratamientos aplican para instalaciones nuevas y existentes. Hasta un 40% de sólidos brutos suspendidos pueden ser eliminados con un apropiado diseño de cribado. (Centro de promoción de tecnologías sostenibles (CPTS), 2003)

Tratamiento físico-químico

En este tratamiento se considera la oxidación de sulfuros y precipitación del cromo, todo esto con el fin de que posteriormente puedan unirse con los demás efluentes y seguir un tratamiento de aguas convencional como se muestra en la siguiente ilustración:

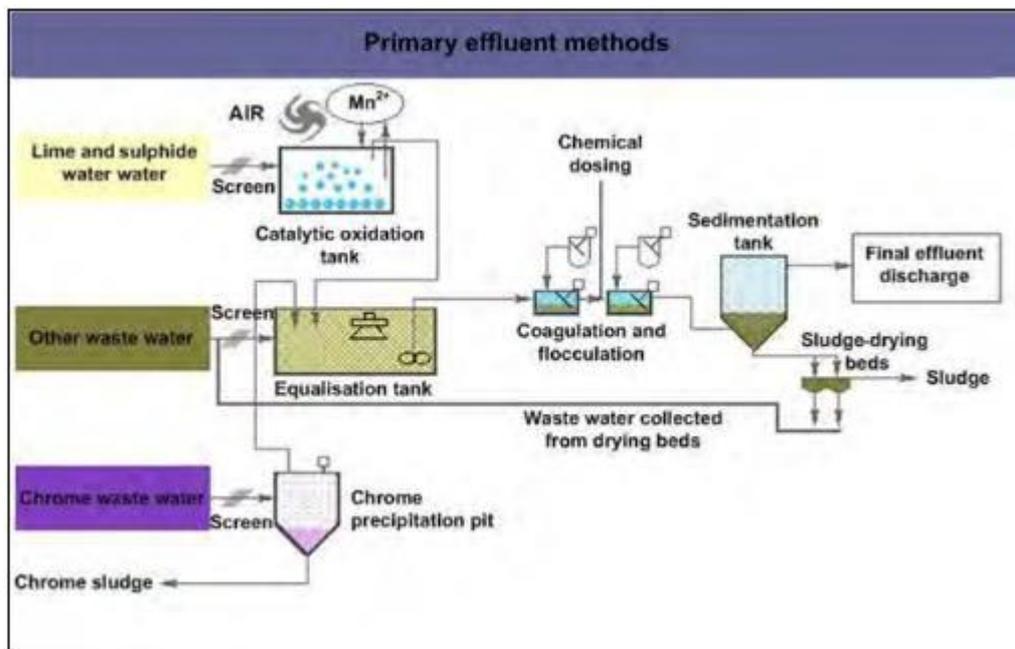


Figura 6-1: Esquema típico de un tratamiento físicoquímico

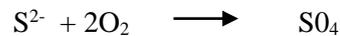
Fuente: (Black et al., 2013, p.181)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

Oxidación de sulfuros

En aguas básicas que corresponden a las de la operación de pelambre se requiere oxidar sulfuros antes de que se mezclen con otros efluentes (particularmente con las ácidas) debido a que una mezcla con estas aguas podría bajar su pH a menos de 9.5 formando un gas de sulfuro de hidrógeno tóxico y según su nivel de exposición podría causar la muerte. (Black et al., 2013, P.177)

El procedimiento consiste en que después de haber sido tamizado por una malla de 0,5 mm el efluente de pelambre se somete a aireación con el fin de oxidar sulfuros como se muestra en la siguiente reacción:



Estos sistemas de aireación usan el oxígeno del aire como agente oxidante, para ello es necesario disponer de una concentración apropiada y permanente en solución, por lo que para incrementar la velocidad de disolución de oxígeno se recomienda aumentar la superficie y tiempo de contacto de las burbujas de aire, cuyo tamaño debe ser lo más chico posible, esto se logra con inyectores de aire, discos de aireación y difusores tipo Venturi. ((CPTS), 2003, p.131)

El tamaño de recipiente debe ser el doble del agua a tratar, el tiempo de aireación se optimiza al usar como catalizador sulfato de manganeso (MnSO_4) en concentraciones que fluctúan entre 500 y 1000 ppm, sin embargo su concentración óptima se la debe conseguir a través de pruebas experimentales, según bibliografía el catalizador debe añadirse lentamente en el agua residual mientras esta se esté agitando para lograr la dispersión del químico, a estas condiciones el tiempo de aireación es de 6 horas.

Precipitación del cromo

Las aguas acidas correspondientes a las de la operación de curtido requieren ser separadas para la precipitación del cromo (III) en forma de lodos, técnica que puede servir para su reciclaje y posterior reproceso. ((CPTS), 2003, p.134)

Esta precipitación se logra aumentando el pH del efluente a más de 8 usando un álcali como el hidróxido de calcio y añadiendo si fuera necesario auxiliares de coagulación para desestabilizar partículas coloidales en suspensión favoreciendo su aglomeración y auxiliares de floculación que se encargan de aumentar el peso y tamaño de la masa coagulada, todo esto con la finalidad de lograr la precipitación del cromo y otros metales como hidróxidos insolubles tras la sedimentación. (Black et al., 2013, p.182)

La mezcla rápida dispersa uniformemente el coagulante a través del flujo de agua mientras que la mezcla lenta ayuda a la floculación. (Romero, 2006)

El tratamiento disminuye la concentración de sustancias tóxicas como el cromo y sulfuros en las aguas residuales además de la reducción de DBO, DQO y sólidos totales. Así, los efluentes están

listos para combinarse con los otros generados en el proceso y dar un tratamiento de homogenización, coagulación, floculación y flotación, o tratamientos secundarios y terciarios si se requiriera en la propia planta o en una colectiva. (Black et al., 2013, PP:177-183)

A continuación se describen tratamientos que pueden darse una vez que se unan las aguas ácidas y básicas a todos los efluentes correspondientes a tratamiento primario.

Homogenización. - su objetivo es lidiar con la variación de composición y lograr el equilibrio. Estos tanques deben poder contener el menos un día el efluente, ejecutar una adecuada agitación para evitar la sedimentación de los sólidos en suspensión

Coagulación y floculación. - su objetivo es la remoción considerable de DQO, DBO y sólidos suspendidos; esto se logra después de establecer el pH óptimo de trabajo para agentes de coagulación y floculación seguido de un tiempo adecuado de sedimentación.

Flotación. - su funcionamiento es inverso al de la sedimentación ya que usa burbujas de aire o de gas finas para elevar a la superficie los sólidos suspendidos como una manta donde ya pueden eliminarse con un dispositivo de raspado. (Black et al., 2013, pp:182-183)

1.4 Beneficiarios directos e indirectos

1.4.1 Beneficiarios directos

En la curtiembre Moyolsa se verá beneficiado directamente el gerente propietario, ya que gracias al rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales a más de disminuir la carga contaminante y evitar sanciones económicas con el ministerio del ambiente y GAD provincial, optimizará recursos.

1.4.2 Beneficiarios indirectos

- Los operarios que trabajan en la curtiduría Moyolsa serán beneficiados indirectamente con el rediseño de este sistema, debido a que su implementación mejorará el ambiente de trabajo.
- Este rediseño de tratamiento de aguas residuales beneficiará indirectamente a personas que viven cerca de la curtiembre Moyolsa, ya que se mejora la calidad ambiental.

CAPÍTULO II

2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 General

- Rediseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre “MOYOLSA” de la ciudad de Ambato.

2.2 Específicos

- Realizar la caracterización físico-química de los efluentes generados por las operaciones de curtido y pelambre de la curtiembre “MOYOLSA” según la norma ambiental vigente.
- Ejecutar pruebas de tratabilidad a efluentes cuyos parámetros estén fuera de norma ambiental vigente.
- Validar el rediseño a través de la caracterización físico-química del agua tratada según la norma ambiental vigente.
- Determinar las variables de proceso y efectuar cálculos de ingeniería para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de la curtiembre “MOYOLSA”.

CAPÍTULO III

3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Localización del proyecto

La propuesta del rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre Moyolsa se desarrolló en la misma curtiembre, misma que se encuentra en la provincia de Tungurahua, cantón Ambato, parroquia Picaihua, sector La Habana, Av. Real Audiencia de Quito s/n a 100m de la calle praxiteles. Su temperatura fluctúa entre los 12 y 18°C a 2649msnm, con latitud de -1,27995 y longitud de -78,59936 (PROMABAL, 2015)

En este lugar se tomará muestras del agua residual de curtido y pelambre para su correspondiente estudio, se registró sus caudales y espacio disponible para la propuesta tecnológica a implementar en la curtiembre.

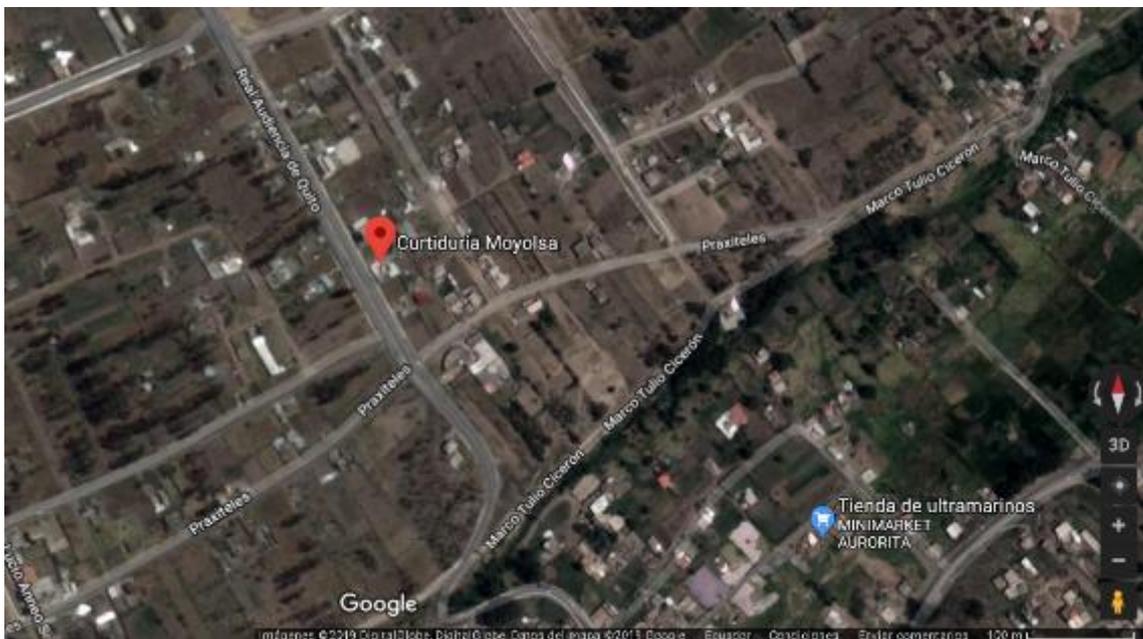


Figura 1-3: Localización geográfica de la empresa “Curtiduría Moyolsa”

Fuente: Google Maps

Realizado por: Herrera Verónica, 2019



Figura 2-3: Imagen frontal de la empresa “Curtiduría Moyolsa”

Fuente: Google Maps

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

3.2 Ingeniería del Proyecto

3.2.1 *Tipo de estudio*

El rediseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre “Moyolsa” de la ciudad de Ambato corresponde a un ESTUDIO DE TIPO TÉCNICO debido al uso de métodos y técnicas para conseguir un tratamiento de aguas viable, eficiente y amable con el ambiente.

3.2.2 *Métodos y Técnicas*

3.2.2.1 *Métodos*

La metodología estructura la lógica de una disciplina a la vez que utiliza métodos como diversos caminos para lograrlo. Estos métodos son la parte intelectual del problema que constituyen un orden y proceso para la construcción de leyes, teorías y modelos; para este rediseño se utilizará tres métodos detallados a continuación:

Método inductivo

El método inductivo parte de aspectos particulares con el fin de obtener una ley general, en el presente proyecto se evidencia el uso del método ya que para obtener un rediseño final se utiliza resultados obtenidos en los diferentes tratamientos que se le dio al agua a nivel de laboratorio.

Método deductivo

A diferencia del método anterior, el método deductivo parte de lo general a lo específico. Este método se refleja en este proyecto al usar conceptos de tratamiento general para disminuir contaminantes específicos (cromo y sulfuros) del agua y además a encontrar soluciones técnicas para posteriormente rediseñar la planta de tratamiento de aguas residuales.

Método experimental

El método experimental verifica a través de un experimento controlado la veracidad de una ley. En este caso, la obtención de resultados de laboratorio se dio por técnicas y métodos ya establecidos con el fin de acoplarlas para el tratamiento dado, mismos que serán considerados en el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.

(Baena, 2014, pp:45-48)

3.2.2.2 *Técnicas*

En la parte experimental para realizar el levantamiento de información a través de la caracterización de las aguas tanto residuales como ya tratadas de pelambre y curtido se hace el uso de la aplicación de técnicas que no son más que el conjunto de procedimientos dirigidos por un protocolo con el fin de llegar a un resultado específico.

Las técnicas se han realizado in situ y en laboratorio, las cuales están basadas en Normas Técnicas Ecuatorianas del Instituto Ecuatoriano de Normalización (NTE INEN 2176:2013. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo y NTE INEN 2169:2013. Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras) y en procedimientos registrados en el libro de Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales avalados por American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Pollution Control Federation (WPCF) descritas más adelante.

Técnicas in-situ

Son técnicas realizadas en el propio lugar u origen de la muestra, su uso desde el principio dará al presente proyecto veracidad en los datos reportados.

Muestreo

El muestreo se realizó mediante el seguimiento a la Norma INEN 2176 la que describe de forma general la manera adecuada para la toma de muestras como se menciona en la **Tabla 11-3**, para este caso se trata de una muestra puntual recogida de forma manual debido a que el flujo de agua no es uniforme; el volumen tomado fue de 2 litros suficiente para los análisis a realizar.

Tabla 11-3: Técnicas de muestreo según la norma INEN 2176

Norma	Método de referencia	Materiales	Técnica
Servicio ecuatoriano de normalización INEN	INEN 2176 agua. Calidad del agua. Muestreo. técnicas de muestreo	Recipiente o botella que proteja la composición de la muestra, el material del recipiente debe ser preferiblemente de vidrio y estar libre de sustancias tóxicas	Enjuagar el recipiente antes de conservar una muestra. Sumergir la botella dentro del cuerpo de agua hasta llenarlo Rotular mínimo con los siguientes datos: <ul style="list-style-type: none"> • Punto de muestreo • Fecha de recolección • Hora de recolección • Datos recogidos en el campo

Fuente: (Instituto ecuatoriano de normalización (INEN), 2013b)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

Manejo y conservación de muestras

El procedimiento para la conservación de la muestra detallada en la **Tabla 12-3** es importante para obtener resultados exactos en su caracterización; Esta técnica es más específica debido a que su análisis debe hacerse en un laboratorio y es fundamental su cuidado antes y durante su transporte.

Tabla 12-3: Manejo y conservación de muestras según la Norma INEN 2169

Norma	Método de referencia	Materiales	Técnica
Servicio ecuatoriano de normalización INEN	INEN 2169 Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras	<ul style="list-style-type: none"> • Recipientes de vidrio ámbar u opacos. • Empaques para proteger los recipientes de una contaminación. • Cajas térmicas (2 - 5°C) 	Lavar con agua y detergente el recipiente nuevo de vidrio con el fin de eliminar polvo y residuos de empaque seguido del enjuague con agua destilada. Para analizar parámetros físicos y químicos se debe llenar los recipientes completamente.

			<p>Tapar los recipientes de manera que evite el aire sobre la muestra</p> <p>Rotular de manera clara y permanente.</p> <p>Transportarlos en cajas térmicas (2 – 5°C) a laboratorio y evitar su contacto con la luz</p> <p>La muestra debe guardarse a temperatura inferior a la que fue tomada.</p>
--	--	--	---

Fuente: (Instituto ecuatoriano de normalización (INEN), 2013a)

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

Técnicas de laboratorio

Los parámetros de DBO₅, DQO, SD, Sólidos Totales, S⁻², pH son determinados mediante la técnica descrita en la **Tabla 13-3**, **Tabla 14-3**, **Tabla 15-3**, **Tabla 16-3**, **Tabla 17-3** y **Tabla 18-3** respectivamente para la caracterización del agua residual y tratada correspondiente al efluente de curtido y pelambre, las cuales se realizaron en el Laboratorio de Calidad del Agua, Facultad de Ciencias de la ESPOCH. El análisis de cromo total y hexavalente se realizaron en el laboratorio de servicios ambientales de la UNACH (Universidad Nacional de Chimborazo), el cual cuenta con acreditación del SAE (Servicio de Acreditación Ecuatoriano) No OAE LE C 12-006, en la **Tabla 22-3** y **Tabla 23-3** respectivamente se hace una descripción general de los métodos empleados.

La turbidez responde a materias en suspensión contenidas en la muestra que origina la dispersión y absorción de la luz en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra, su técnica descrita en la **Tabla 20-3** ayuda en este proyecto como monitoreo de calidad del agua en la prueba de jarras, debido a que da una idea de la eficiencia de un tratamiento al igual que el perímetro de temperatura descrita en la **Tabla 19-3**. La determinación de sulfatos descrita en la **Tabla 21-3** se realizó para verificar la oxidación de sulfuros, ya que al disminuir sulfuros, la concentración de sulfatos aumenta.

Todas las técnicas utilizadas están basadas en los *Métodos Estandarizados* como se detallan a continuación:

Tabla 13-3: Métodos No.5210-B. Determinación del DBO₅

Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días) Método de referencia: Métodos normalizados No.5210-B. Prueba de ROB de 5 días				
Fundamento	Reactivos	Instrumental	Cálculo	Técnica
Se trata en llenar con la muestra el frasco hermético de tamaño específico hasta rebosar e incubarlo a temperatura establecida durante 5 días con el fin de medir el oxígeno utilizado para la degradación bioquímica y oxidación de materia orgánica.	<ul style="list-style-type: none"> • Solución de tampón fosfatos • Solución de sulfato de magnesio: • Solución de cloruro de calcio • Solución de cloruro férrico • Soluciones acida y básica 1N • Solución de sulfito sódico • Inhibidor • de nitrificación • Solución de glucosa-ácido glutámico • Solución de cloruro de amonio 	<ul style="list-style-type: none"> • Botellas de incubación • Incubador de aire o baño de agua 	<p>Cuando el agua de dilución no está sembrada:</p> $DBO_5 \frac{mg}{l} = \frac{D_1 - D_2}{P}$ <p>Cuando el agua de dilución está sembrada:</p> $ROB_5, \frac{mg}{l} = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)f}{P}$	<ul style="list-style-type: none"> • Preparación de agua para dilución • Control del agua de dilución: • Control de glucosa-ácido glutámico • Siembra • Pretratamiento de la muestra • Técnica de dilución • Determinación del OD inicial • Blanco del agua de dilución • Incubación • Determinación del OD final

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, pp:712-719)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

Tabla 14-3: Método No.5220-D. Determinación del DQO

Demanda Química de Oxígeno. Método de referencia: Métodos normalizados No.5220-D. Requerimiento de oxígeno químico. Reflujo cerrado, método colorimétrico				
Fundamento	Reactivos	Instrumental	Cálculo	Técnica
Se somete a reflujo una muestra en una solución ácida fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio (K ₂ Cr ₂ O ₇), debido a que la oxidación de la mayor parte de la materia orgánica es por una mezcla a ebullición de los ácidos crómico y sulfúrico. Los vasos de reacción colorimétrica son ampollas de cristal selladas o tubos de cultivo tapados. El consumo de oxígeno se mide a 600 nm con un espectrofotómetro frente los estándares.	<ul style="list-style-type: none"> • Solución de digestión • Reactivo ácido sulfúrico • Ácido sulfámico • Ftalato de hidrógeno de potasio patrón 	<ul style="list-style-type: none"> • Vasos de digestión • Bloque de calentamiento • Horno o calentador de bloque • Sellador de la ampolla 	$ROQ \text{ en } \frac{mgO_2}{l} = \frac{mgO_2 \text{ en el volumen final} * 1000}{ml \text{ de muestra}}$	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento de las muestras • Determinación de la reducción de dicromato: • Preparación de la curva de calibración.

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, p. 727)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

Tabla 15-3: Método No.2540-F. Determinación de sólidos sedimentables

Sólidos Sedimentables. Método de referencia: Métodos normalizados No.2540-F				
Fundamento	Reactivos	Instrumental	Cálculo	Técnica
Expresado en ml/l, se refiere al material desprendido de la suspensión en un período determinado	-	cono de Imhoff	$\frac{mg \text{ sól. sedimentables}}{l}$ $= \frac{mg \text{ sól. totales en suspensión}}{l}$ $- \frac{mg \text{ sól. no sedimentables}}{l}$	Llénese el cono de Imhoff hasta la marca con una muestra bien mezclada. Déjese sedimentar durante 45 minutos, removiendo suavemente las paredes del cono con una varilla; reposo 15 minutos más y regístrese el volumen de sólidos sedimentables del cono como ml/l.

Fuente:(APHA, AWWA y WPCF, 1992, p.248)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

Tabla 16-3: Método No.2540-B. Determinación de Sólidos Totales

Sólidos totales. Método de referencia: Métodos normalizados No.2540-B. Sólidos totales secados a 103-105°C			
Fundamento	Instrumental	Cálculo	Técnica
Se evapora una muestra correctamente mezclada en una placa pesada y secada a peso constante en un horno a 103-105 °C. El aumento de peso sobre el de la placa vacía representa los sólidos totales.	<ul style="list-style-type: none"> Placas de evaporación (100 ml) de material de porcelana, platino, vaso alto de sílice Horno de mufla para operar a 550 ± 50 °C. Baño de vapor. Desecador Balanza de análisis Horno de secado, para operaciones a 103-105 °C. 	$\frac{mg \text{ de sol. total}}{l}$ $= \frac{(A - B) * 1000}{ml \text{ de muestra}}$ <p>Dónde: A= Peso de residuo seco + placa, mg B= Peso de la placa, mg</p>	<ul style="list-style-type: none"> Preparación de la placa de evaporación Análisis de la muestra: Elíjase un volumen de muestra que dé un residuo entre 2,5 y 200 mg. Evapórese en un baño de vapor hasta que se seque en el horno al menos durante una a 103-105 °C, enfriar la placa en desecador para equilibrar la temperatura y pesar. Repítase el ciclo de secado, enfriado, desecación y pesado hasta obtener un peso constante, o hasta que la pérdida de peso sea menor del 4 por 100 del peso previo o menor de 0,5 mg

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, pp:242-243)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Tabla 17-3: Método No.4500-S-2-E. Sulfuros (S²⁻)

Sulfuros S²⁻. Método de referencia: Métodos normalizados No.4500-S-2-E. Método yodométrico				
Fundamento	Reactivos	Instrumental	Cálculo	Técnica
El yodo reacciona con el sulfuro en solución acida, oxidándolo a azufre. Una titulación basada en esta reacción es un método preciso para determinar sulfuros a concentraciones superiores a 1 mg/l, si no hay interferencias y se evita la pérdida de H ₂ S.	<ul style="list-style-type: none"> • Ácido clorhídrico, HCl 6N. • Solución patrón de yodo, 0,0250N: Disuélvase de 20 a 25 g KI en un poco de agua y añádanse 3,2 g de yodo. Después de la disolución del yodo, Dilúyase a 1.000 ml • y estandarícese frente a • Na₂S₂O₃ 0,0250N, utilizando solución de almidón como indicador. • Solución patrón de tiosulfato sódico, 0,0250N • Solución de almidón 	<ul style="list-style-type: none"> • Bureta • Probeta • Erlenmeyer • Gotero • Pipeta • Pera de succión 	<p>Un mililitro de solución de yodo de 0,025N reacciona con 0,4 mg S²⁻:</p> $\frac{mg S^{2-}}{l} = \frac{((A * B) - (C * D)) * 16000}{ml \text{ de muestra}}$ <p>Donde: A= ml solución de yodo B= normalidad de la solución de yodo C= ml solución Na₂S₂O₃ D= normalidad de la solución Na₂S₂O₃.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Con bureta añadir a un matraz de 500 ml, una cantidad de solución del yodo estimada como un exceso sobre la cantidad de sulfuro presente. Añádanse 2 ml de HCl 6N. • Llévase con la pipeta 200 ml de muestra en el matraz, des- cargando la pipeta bajo la superficie de la solución. Si desaparece el color del yodo, añádase más yodo para mantener el color. • Titúlese por retroceso con solución de Na₂S₂O₃., añadiendo unas gotas de solución de almidón al acercarse al punto final, y continuando hasta desaparición del color azul.

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, p.690)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Tabla 18-3: Método No.4500-H⁺ - B. Determinación del Potencial de hidrogeno (pH)

Potencial de hidrogeno (pH). Método de referencia: Métodos normalizados No.4500-H⁺ - B. Método electrométrico				
Fundamento	Reactivos	Instrumental	Cálculo	Técnica
La determinación electrométrica mide la actividad de los iones de hidrógeno por mediciones potenciométricas usando un electrodo patrón y otro de referencia.	<ul style="list-style-type: none"> • Preparación general: calibración del sistema con soluciones de pH conocido o soluciones tampón • Solución de tartrato ácido de potasio • Solución saturada de hidróxido de calcio • Soluciones auxiliares 	<ul style="list-style-type: none"> • Medidor de pH • Electrodo de referencia • Electrodo de vidrio • Vasos de precipitados • Agitador • Cámara de flujo 	Lectura directa	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrado del aparato • Análisis de la muestra: Establezca equilibrio entre electrodos y muestra agitándola para asegurar homogeneidad

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, pp: 575-)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Tabla 19-3: Método No.2550. Determinación de la temperatura

Temperatura. Método de referencia: Métodos normalizados No.2550-. Métodos de laboratorio y de campo				
Fundamento	Reactivos	Instrumental	Cálculo	Técnica
Se basa en la dilatación térmica del metal, en el termómetro de Celsius consta una escala, marcado cada 0,1°C sobre el tubo capilar y una capacidad térmica mínima que permita un equilibrio rápido.	-	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Termómetro Celsius de mercurio 	Lectura directa	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sumergir el bulbo del termómetro en la muestra ▪ Esperar estabilización

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, p.250)

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

Tabla 20-3: Método No.2130-B. Determinación de la turbidez

Turbidez. Método de referencia: Métodos normalizados No.2130-B				
Fundamento	Reactivos	Instrumental	Cálculo	Técnica
Se basa en la comparación entre la intensidad de luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbidez.	<ul style="list-style-type: none"> • Agua libre de turbidez • Suspensión de turbidez de reserva • Suspensión de turbidez estándar • Estándares alternativos • Estándares diluidos de turbidez 	<ul style="list-style-type: none"> • Turbidímetro • Tubos de muestra 	Unidades nefelométricas de turbidez (UNT) $UNT = \frac{A * (B + C)}{C}$ Donde: A = UNT encontradas en muestra diluida B = volumen (ml) de agua de dilución C = volumen (ml) de la muestra tomada para dilución.	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrado de Turbidímetro • Medida de turbideces menores de 40 UNT • Medida de turbideces superiores a 40 UNT • Calíbrense soluciones de monitorización continua de turbidez

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, pp: 176-178)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Tabla 21-3: Método No.4500-SO4-E. Determinación de Sulfatos

Sulfatos. Método de referencia: Métodos normalizados No.4500-SO4-E. método turbidimétrico				
Fundamento	Reactivos	Instrumental	Cálculo	Técnica
El ion sulfato (SO_4^{2-}) precipita en un medio de ácido acético con cloruro de bario ($BaCl_2$) de modo que forma cristales de sulfato de bario ($BaSO_4$) de tamaño uniforme. Se mide la absorbancia luminosa de la suspensión de $BaSO_4$ con un fotómetro y se determina la concentración de SO_4^{2-} por comparación de la lectura con una curva patrón.	<ul style="list-style-type: none"> • Solución tampón A, B • Cloruro de bario, $BaCl_2$ • Solución patrón de sulfato 	<ul style="list-style-type: none"> • Agitador magnético • Fotómetro: nefelómetro, espectrofotómetro, fotómetro de filtro • Cronómetro o reloj eléctrico. • Cuchara de medida, con capacidad de 0,2 a 0,3 ml 	$mg SO_4^{2-}/l = \frac{mg SO_4^{2-} * 1000}{ml de muestra}$	<ul style="list-style-type: none"> • Formación de turbidez con sulfato de bario • Medida de la turbidez del sulfato de bario • Preparación de la curva de calibración • Corrección para el color y turbidez de la muestra

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, pp: 697-702)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Tabla 22-3: Método No. 3500 Cr-B y No. 3111 B. Determinación del cromo total

Cromo total Método de referencia: Métodos Normalizados: No. 3500 Cr-B. Método de absorción atómica para cromo total y No. 3111 B. Método directo de llama de aire-acetileno para la determinación de cromo				
Fundamento	Reactivos	Instrumental	Cálculo	Técnica
<p>La espectrometría de absorción atómica dirige un rayo luminoso a través de una llama a un monocromador y sobre un detector que mide la cantidad de luz absorbida por el elemento atomizado en la llama. Como cada metal tiene su propia longitud de onda de absorción, se utiliza como fuente luminosa una lámpara compuesta de dicho elemento; esto proporciona un método relativamente libre de interferencias espectrales.</p> <p>La cantidad de energía absorbida en la llama a una longitud de onda característica es proporcional a la concentración del elemento en la muestra.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aire • Acetileno • Agua libre de metales • Solución de calcio • Ácido clorhídrico • Solución de lantano • Peróxido de hidrógeno • Ácido nítrico • Agua regia • Solución patrón de metales: Disuélvase 0,1923 g de CrO₃ en agua. Cuando la solución es completa, acidúlese con 10 ml de HNO₃ conc. y dilúyase con agua hasta 1.000 ml; 1,00 ml = 100 µg Cr. 	<ul style="list-style-type: none"> • El espectrómetro de absorción atómica • Mechero • Lectura de salida • Lámparas • Válvulas reductoras de presión • Tubo de ventilación 	<p>Calcúlese la concentración de cada metal en miligramos por litro (mg/l) utilizando la curva de calibración apropiada</p> <p>Si el equipo lo permite se hará la lectura directa de concentración. Si se ha diluido la muestra, multiplíquese por el apropiado factor de dilución.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Preparación de la muestra • Funcionamiento del instrumento • Estandarización • Análisis de las muestras

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, pp: 292-303)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Tabla 23-3: Métodos No. 3500 Cr-D. Determinación de cromo hexavalente

Cromo hexavalente. Método de referencia: Métodos Normalizados: No. 3500 Cr-D. Método colorimétrico				
Fundamento	Reactivos	Instrumental	Cálculo	Técnica
Este procedimiento mide únicamente el cromo hexavalente (Cr ⁶⁺). Todo el cromo es oxidado con permanganato potásico a la forma hexavalente. El Cr ⁶⁺ se determina colorimétricamente por una reacción con difenilcarbazida en solución acida, produciendo un color rojo-violeta.	<ul style="list-style-type: none"> • Solución de cromo de reserva • Solución de cromo patrón • Ácido nítrico, HNO₃ conc. • Ácido sulfúrico, H₂SO₄ 1 + 1. • Solución de indicador naranja de metilo. • Peróxido de hidrógeno, H₂O₂, al 30 por 100. • Agua redestilada • Hidróxido amónico, NH₄PH conc. • Solución de permanganato potásico • Solución de azida sódica • Solución de fenilcarbazida • Cloroformo, CHCl₃: • Solución de cupferrón • Ácido fosfórico, H₃PO₄ conc. • Ácido sulfúrico H₂SO₄ 0,2N 	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de colorimetría como: espectrofotómetro o fotómetro de filtro • Embudos de separación 	$\frac{mgCr}{l} = \frac{ug Cr (en 102ml del vol. final)}{A * B} * 100$ <p>A = ml de muestra original B = ml de porción de 100 ml de muestra digerida.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Preparación de la curva de calibración • Tratamiento de la muestra. • Eliminación de molibdeno, vanadio, • hierro y cobre con cupferrón • Oxidación de cromo trivalente • Desarrollo del color y medida

Fuente: (APHA, AWWA y WPCF, 1992, pp: 380-383)

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

3.2.3 Caracterización físico-química inicial del agua residual de pelambre y curtido de la curtiembre “Moyolsa”

Una vez conseguida la muestra puntual del efluente de pelambre y curtido, se la traslada al laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH y al de Servicios Ambientales de la UNACH para realizar los análisis físico-químicos respectivos.

La **Tabla 24-3** y **Tabla 25-3** muestra la caracterización inicial de pelambre y curtido respectivamente, las cuales se basaron en técnicas de laboratorio antes detalladas con el fin de obtener el punto de partida acerca de que tan contaminados o que tan lejos se encuentran dichos efluentes para alcanzar los límites máximos permisibles de la norma ambiental vigente (tabla No 8: Límites de Descarga al Sistema de Alcantarillado Público, Anexo 1 del Libro VI del TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua según el Acuerdo Ministerial N° 097 publicado en Registro Oficial Edición Especial 387 de 04-nov.-2015)

Tabla 24-3: Caracterización inicial del efluente de la operación de pelambre

Parámetro	Unidad	Métodos estandarizados	Resultado	Valor límite máximo permisible
Temperatura	°C	No.2550	23	<40
Sulfatos	mg/l	Método No.4500-SO4-E	1 100	400
Sulfuros	mg/l	No.4500-S-2-E	1 120	1
DBO5	mg/l	No.5210-B	16 007	250
DQO	mg/l	No.5220-D	38 400	500
pH	UpH	No.4500-H ⁺ - B	12,7	6-9
Sólidos totales	mg/l	No.2540-B	46 260	1 600
Sólidos sedimentables	ml/l	No.2540-F	15	20

Fuente: laboratorio de calidad del agua de la ESPOCH, Servicios Ambientales de la UNACH.

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Se evidencia en la **Tabla 24-3** que los parámetros de Sulfuros, DBO5, DQO, pH, Sólidos totales no cumplen con los límites permisibles en la normativa ambiental vigente.

Tabla 25-3: Caracterización inicial del efluente de la operación de Curtido

Parámetro	Unidad	Métodos estandarizados	Resultado	Valor límite máximo permisible
Cromo total	mg/l	No. 3500 Cr-B y No. 3111 B	213,79	-
Cromo trivalente	mg/l	-	213,03	-
Cromo hexavalente	mg/l	No. 3500 Cr-D	0,76	0,5
DBO ₅	mg/l	No.5210-B	660	250
DQO	mg/l	No.5220-D	3 980	500
pH	UpH	No.4500-H ⁺ - B	3,7	6-9
Sólidos totales	mg/l	No.2540-B	42 768	1 600
Sólidos sedimentables	ml/l	No.2540-F	1	20
Temperatura	°C	Método No.2550	23,2	<40

Fuente: laboratorio de calidad del agua de la ESPOCH, Servicios Ambientales de la UNACH.

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Nota: El parámetro de cromo hexavalente se obtuvo por la diferencia entre el cromo total y el cromo hexavalente

Asimismo, en la **Tabla 25-3** se observa que los parámetros Cromo hexavalente, DBO₅, DQO, pH, Sólidos totales, no cumplen con los límites permisibles en la normativa ambiental vigente.

3.2.4 Índice de Biodegradabilidad

Con los datos registrados en la **Tabla 24-3** y **Tabla 25-3** se determinó el tipo de tratamiento adecuado para disminuir la concentración de contaminantes en estos efluentes a través del cálculo del índice de biodegradabilidad indicado en la **Ecuación 1** realizado a continuación:

Tabla 26-3: Índice de biodegradabilidad de agua residual de pelambre y curtido

	DBO ₅ (mg/l)	DQO (mg/l)	Índice de Biodegradabilidad (DBO ₅ /DQO)	Tipo de tratamiento
Pelambre	11600	36700	0,417	Biológico y/o físico - químico
Curtido	660	3980	0,166	Fisicoquímico

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

En el agua de pelambre el resultado de biodegradabilidad cuestionó la selección de un *tratamiento biológico y/o físico - químico* en el que se eligió la oxidación de sulfuros, por otro lado el índice de biodegradabilidad del efluente de curtido mostró el requerimiento de un tipo de tratamiento fisicoquímico para lo cual se efectuó prueba de jarras para determinar la dosificación correcta en su tratamiento.

3.2.5 Pruebas de tratabilidad para la curtiembre “Moyolsa”

Las pruebas de tratabilidad se realizaron a las muestras puntuales tomadas en la curtiembre de los efluentes de pelambre y curtido después de su respectiva caracterización inicial para conocer la susceptibilidad que tienen los contaminantes a ciertos tipos de tratamientos, de esta forma se determinó parámetros de diseño como dosis de químicos y tiempos precisos, además de establecer unidades que garanticen el tratamiento seleccionado.

En la realización de estas pruebas se requirió conseguir diferentes concentraciones de coagulantes, floculantes o catalizadores en el agua residual, para esto, la preparación de una solución madre de estos químicos a una concentración definida fue fundamental debido a que con distintos volúmenes de estas soluciones se conseguían varias concentraciones de estos químicos en el volumen de agua a tratar, todo esto se hizo mediante la siguiente ecuación:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

Ecuación 2

Dónde:

C1 = Concentración de la solución madre del sulfato de manganeso

V1 = Volumen necesario para añadir en V2 y lograr una C2

C2 = Concentración de la solución a preparar

V2 = Volumen del agua a tratar

De la misma manera se necesitó conocer el porcentaje de remoción el cual indica la eficiencia de remoción de los diferentes parámetros tras un tratamiento aplicado, para calcular dicho indicador se hizo uso de la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Remoción } x = \frac{\text{concentración inicial } x - \text{concentración final } x}{\text{concentración inicial } x} * 100\%$$

Ecuación 3

Dónde:

X = Parámetro que se necesita conocer su % remoción.

3.2.5.1 Oxidación de sulfuros

Los efluentes de pelambre son fluidos que a diferencia de los de curtido, debían ser tratados máximo al día siguiente de su recolección de muestra para reportar datos precisos, por lo que, se realizó poco a poco su tratabilidad con diferentes muestras puntuales y al final se ejecutó todo el tratamiento en una sola reportando su caracterización inicial y final.

El efluente de pelambre es considerado como base para tratar a las demás aguas básicas correspondientes a las de desencalado y rendido debido a que presenta mayor contenido de sulfuros y muestra una condición máxima de los demás contaminantes

La caracterización inicial del efluente de pelambre registrado en la **Tabla 24-3** muestra una concentración de sulfuros de 1120 mg/l, además de los parámetros de DBO5, DQO, pH y sólidos totales fuera de norma ambiental vigente.

De acuerdo con el índice de biodegradabilidad el tipo de tratamiento a ejecutar es uno de tipo biológico y/o físico-químico, este resultado va acorde con el tipo de tratamiento específico para curtiembres referido al de oxidación de sulfuros a través de un proceso de aireación.

En Moyolsa se realiza la operación de pelambre sin destrucción de pelo, conocido también como proceso ecológico, por lo que no hizo falta tamizar debido a que por actividad propia ya extienden un tamiz bajo el bombo para retirar el pelo y otros sólidos generados en dicho proceso.



Fotografía 1-3: Recolección de sólidos en el proceso de pelambre

Fuente: Moyolsa 2019

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Las pruebas de oxidación de sulfuros se realizaron a la muestra puntual llevada a laboratorio, para lo cual se requiere:

Tabla 27-3: Equipo, material, sustancias y reactivos necesarios para la oxidación de sulfuros

Equipos y materiales	Sustancias y reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Baldes de 3 litros de volumen • Bomba de aire para peceras de dos salidas de aire (2*3L/min) • Mangueras de 1 metro • Vaso de precipitación de 1000ml • Varilla de agitación • Pipeta • Pera de succión • Equipo para medir sulfuros descritos en la <i>Tabla 17-3</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Sulfato de manganeso 2% (m/v) • Agua destilada • Agua residual

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

El proceso de oxidación consistió en sumergir las mangueras a la base del balde y conectarlas a la bomba de aire, colocar en cada recipiente un litro de agua residual de pelambre, encender la bomba de aire y añadir lentamente el volumen necesario de la solución de sulfato de manganeso para obtener las distintas concentraciones de prueba.

El propósito de estas pruebas fue determinar la concentración óptima del catalizador con la que se consigue máxima remoción de sulfuros en un tiempo de aireación de 6 horas para lo cual la concentración de sulfuros fue monitoreada cada hora como se detalla a continuación:

Tabla 28-3: % Remoción de sulfuros aireados sin difusor a 10, 100, 500, 1000 y 1500ppm

N° muestra	ppm catalizador en 1000ml de agua residual	sulfuros mg/l							% remoción de sulfuros
		0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	
1	10	1088	896	896	832	928	896	896	17,647
2	100	1088	736	672	576	512	320	352	67,647
3	500	1088	672	416	448	384	224	224	79,412
4	1000	1088	480	384	320	320	288	288	73,529
5	1500	1088	416	448	416	448	448	448	58,824

Fuente: Laboratorio de calidad del agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Se evidencia que tras la medición de sulfuros por el método yodométrico descrito en la *Tabla 17-3*, se reportó un valor de 224mg/l de sulfuros para obtener el 79,412% remoción a una concentración de 500ppm del sulfato de manganeso, sin embargo esta prueba se realizó dentro de

un rango grande de concentraciones que va de 10 a 1500ppm, fue necesario repetir la prueba pero a rangos menores de concentración como se indica a continuación:

Tabla 29-3: % Remoción de sulfuros aireados sin difusor a 400, 600, 800 y 1000ppm

N° muestra	ppm catalizador	tiempo							% remoción de sulfuros
		0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	
1	400	1056	640	608	544	448	288	288	72,727
2	600	1056	480	480	352	256	192	160	84,848
3	800	1056	544	448	384	288	224	224	78,788
4	1000	1056	544	416	352	320	256	256	75,758

Fuente: Laboratorio de calidad del agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Los datos obtenidos muestran que la concentración adecuada es de 600ppm de sulfato de manganeso en 1 litro de agua residual de pelambre ya que genera un % Remoción mayor que el de las otras concentraciones correspondiente al 84,85%

Hasta el momento la incorporación de aire en el agua residual para aireación se ha realizado solo con manguera generando una burbuja igual al diámetro de la misma (0,5 cm), sin embargo, para validar el experimento y lograr una burbuja más pequeña se tomó otra muestra con la diferencia de que se utilizó difusores conectados a las mangueras reportando los siguientes datos:

Tabla 30-3: % Remoción de sulfuros aireados sin difusor a 500, 600 y 700ppm

N° muestra	ppm catalizador	tiempo							% remoción de sulfuros
		0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	
1	500	1120	768	576	512	448	320	320	71,43
2	600	1120	640	544	480	320	224	192	82,86
3	700	1120	576	416	384	416	352	288	74,28

Fuente: laboratorio de calidad del agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Tabla 31-3: % Remoción de sulfuros aireados con difusor a 500, 600 y 700ppm

N° muestra	ppm catalizador	tiempo							% remoción de sulfuros
		0h	1h	2h	3h	4h	5h	6h	
1	500	1120	672	576	416	320	256	224	80
2	600	1120	512	480	416	288	128	128	88,571
3	700	1120	448	416	416	352	288	256	77,143

Fuente: laboratorio de calidad del agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Se observa en la **Tabla 30-3** y **Tabla 31-3** que el mayor porcentaje de remoción de sulfuros es de 82,86% y 88,571% respectivamente a una concentración de 600 ppm de sulfato de manganeso en un litro de agua residual de pelambre aireado por 6 horas, sin embargo en la siguiente figura se distingue mejor una mayor eficiencia en la remoción de sulfuros al utilizar difusores.

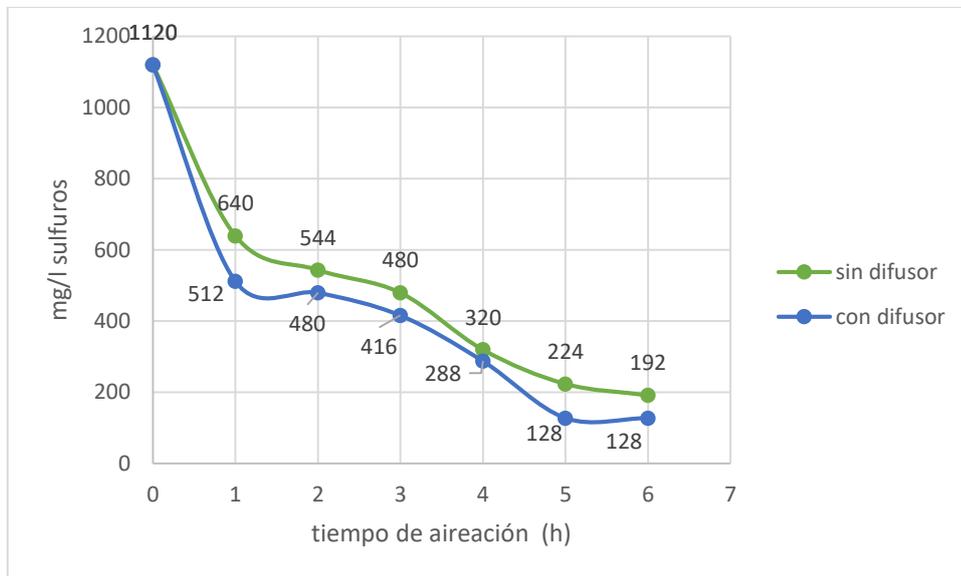


Gráfico 1-3: Comportamiento de la concentración de sulfuros con el tiempo de aireación

Fuente: laboratorio de calidad del agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Se aprecia en el **Gráfico 1-3** una disminución de sulfuros considerable a la primera hora, sin embargo en las siguientes 5 horas muestra una reducción relativamente constante y las 2 últimas horas se tiene valores similares.

Con los resultados obtenidos se evidenció que la concentración del catalizador (sulfato de manganeso) adecuada es de 600ppm en un litro de efluente de pelambre aireada por 6 horas con difusores debido a que presenta mejores resultados de remoción de sulfuros correspondiente a 88,57%

3.2.5.2 Precipitación de cromo

La caracterización inicial del efluente de curtido registrado en la **Tabla 25-3** muestra un valor de cromo hexavalente superior al permitido y de acuerdo con el índice de biodegradabilidad de 0,166 reportado en la **Tabla 26-3** indica que el tipo de tratamiento a ejecutar en los efluentes de curtido es de tipo físico-químico, de igual forma este resultado va acorde con el tipo de tratamiento específico para curtiembres referido a la precipitación de cromo a través de un proceso de

coagulación – floculación, debido a que se trata de una sustancia tóxica que es mejor tratarla por separado.

De la misma manera, el agua de curtido será tomada como base para tratabilidad de los demás efluentes ácidos como piquel y recurtido debido que muestra una condición máxima de contaminante de cromo

La muestra puntual obtenida pasó por un tamiz de 0,5mm de malla, ya que igual que en el proceso de pelambre se la ocupó para retener los sólidos, sin antes, tapar los canales para impedir su ingreso al STAR actual, dicho esto no hizo falta tamizar la muestra puntual tomada.



Fotografía 2-3: Sistema de retención de sólidos en efluente de curtido

Fuente: Moyolsa 2019

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Prueba de jarras

La prueba de jarras se realizó en la muestra puntual recogida en la curtiembre “Moyolsa” ya tamizada, con la cual se obtendrá pH óptimo de coagulante, dosificación correcta de químicos, RPM de coagulación y floculación y finalmente el tiempo de sedimentación para realizar el nuevo diseño acorde con las variables obtenidas, para lo cual se requiere lo siguiente:

Tabla 32-3: Equipo, material, sustancias y reactivos necesarios para la prueba de jarras del efluente de curtido

Equipos y materiales	Sustancias y reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Vasos de precipitación de 1000ml • Varilla de agitación • Pipeta • Pera de succión • Prueba de jarras • Balanza analítica • pH metro • Equipo para medir turbidez descritos en la <i>Tabla 20-3</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Coagulantes: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Disolución de Sulfato de aluminio (Al_2O_3 17%) al 1% m/v ✓ Disolución de PAC (Al_2O_3 30%) al 1% m/v ✓ Disolución de cloruro férrico al 1% m/v • Floculantes: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Disolución de floculante Aniónico al 0,1% m/v ✓ Disolución de floculante Catiónico al 0,1% m/v ✓ Disolución de floculante No iónico al 0,1% m/v • Hidróxido de calcio (Cal P-24) • Agua destilada • Agua residual

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Elección del coagulante

Tenemos 3 tipos de coagulantes: policloruro de aluminio (PAC), sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) y cloruro férrico ($FeCl_3$). La elección del coagulante se realizará llenando 3 vasos con 500 ml de agua residual de curtido, se ajusta su pH a 9 con hidróxido de calcio ya que por bibliografía este es un valor en el que todos los coagulantes reaccionan adecuadamente, se monitorea la eficiencia del coagulante con el monitoreo de la turbidez a las 5 primeras horas y 15 horas después.

La concentración de los coagulantes en el agua residual es 400ppm, la conseguimos con la **Ecuación 2** de la siguiente manera:

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$10000ppm * V_1 = 400ppm * 500ml$$

$$V_1 = 20ml$$

Este resultado nos indica que para conseguir una concentración de 400ppm en cada vaso de 500ml de agua tratada se debe añadir 20ml de la solución madre de cada uno de los coagulantes. De esta forma se consiguió las diferentes concentraciones de PAC y floculantes.

Tabla 33-3: Elección del coagulante

N° muestra	Tipo de coagulante	Ppm coagulante en los 500ml agua residual	pH	Turbidez (NTU)					
				1h	2h	3h	4h	5h	15h
1	PAC	400	9	125	56,1	33,8	31,6	25	1,9
2	(Al ₂ (SO ₄) ₃)	400	9	75	42,6	40,7	21	35	4,16
3	(FeCl ₃)	400	9	105	49,3	43,7	31	25	7,12

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Los resultados obtenidos muestran que el coagulante PAC es el que presenta menor lectura de turbidez correspondiente a 1,9 NTU a una concentración de 400 ppm de coagulante, además de su costo y fácil acceso comercial, se eligió como coagulante en la continuación del tratamiento para la elección del pH óptimo.

Elección de pH

Se llenan 5 vasos con 500ml de agua de curtido, se ajusta diferentes valores de pH en un intervalo de 8 a 10 con hidróxido de calcio y se le añade una *misma concentración de 400 ppm del coagulante PAC* a cada uno de estos vasos.

Tabla 34-3: Elección del pH óptimo

N° muestra		1	2	3	4	5
pH		8	8,5	9	9,5	10
Turbidez (NTU)	1h	692	438	131	59	34,5
	2h	561	325	55	47,7	30
	3h	465	269	36,7	46,6	18,5
	4h	415	205	30,8	43	16,4
	15h	234	103	2,7	5,6	6,61

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

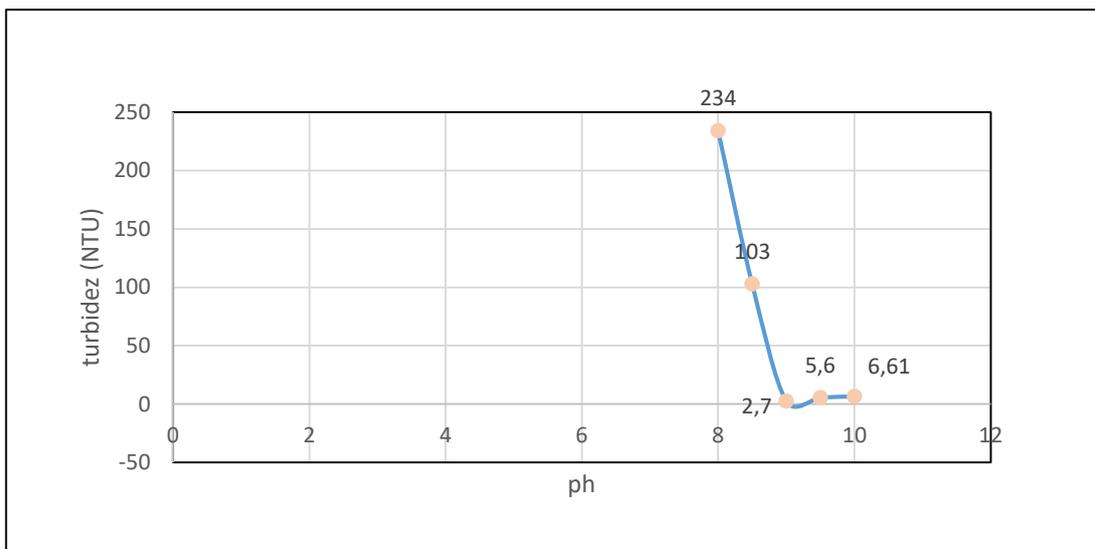


Gráfico 2-3: Comportamiento de la turbidez con diferentes valores de pH

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Con los datos obtenidos se evidenció una turbidez de 2,7 NTU a un pH de 9, resultando este valor de pH adecuado para continuar con el tratamiento y proceder a la elección de la concentración del coagulante.

Concentración del coagulante

Para la elección del coagulante se colocan 5 vasos con 500ml de agua residual de curtido cada uno a pH=9, con diferentes concentraciones de PAC.

Tabla 35-3: Elección de la concentración del coagulante en un rango amplio

N° Muestra		1	2	3	4	5
PAC (ppm)		8	20	40	80	100
Turbidez (NTU)	1h	478	325	260	185	193
	2h	192	187	146	130	125
	3h	154	120	157	106	96
	4h	139,4	56,5	61,3	126,3	46,3
	5h	192	63,2	77	146	39

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Tras 5 horas en reposo se observa un valor de turbidez menor a concentración de 100ppm de PAC, sin embargo existe otra medida de turbidez menor que es a la concentración de 20ppm, esto representa menor consumo de coagulante por lo que se va a repetir este apartado pero a menores concentraciones cercanas a 20ppm.

Tabla 36-3: Elección de la concentración del coagulante en un rango corto

N° Muestra		1	2	3	4	5
PAC (ppm)		10	15	20	25	30
Turbidez (NTU)	1h	361	319	325	212	323
	2h	180	158	187	152	158
	3h	118	91	120	96	85
	4h	62,6	57	65	81	54
	5h	54	42	53	78	59

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH
Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Los resultados obtenidos muestran que la concentración óptima es la de 15ppm de PAC debido a que genera una turbidez mínima de 42 NTU tras haber pasado 5 horas de reposo, como se observa en el **Gráfico 3-3**, con esta concentración se continúa con la tratabilidad para determinar los rpm necesarios en la coagulación

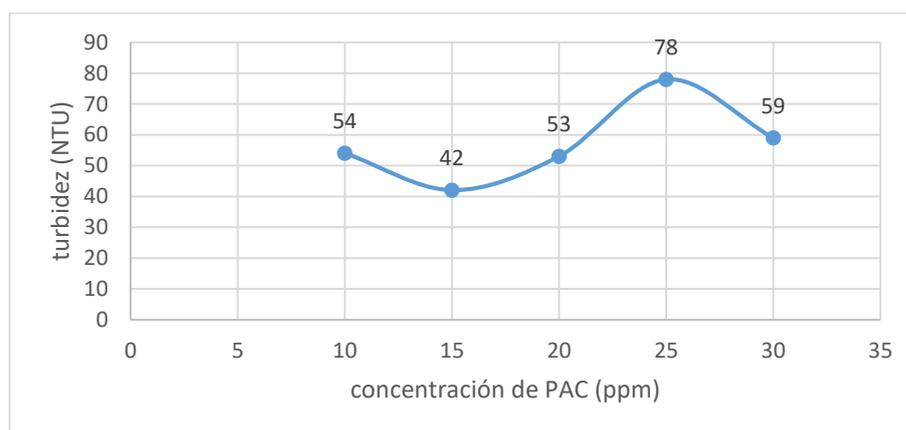


Gráfico 3-3: Comportamiento de la turbidez con la concentración óptima de PAC

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH
Realizado por: Herrera Verónica, 2019

Revoluciones por minuto (RPM) de coagulación

Las revoluciones por minutos (rpm) dependen del equipo, en este caso en el laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH el equipo tiene dos velocidades altas que corresponden a 100 y 200 rpm disponibles para realizar las pruebas.

El proceso de coagulación debe darse a rpm altos y tiempos cortos, así, se llenan 2 vasos de precipitación de 1 litro con agua residual de curtido, cada uno de estos debe estar a pH=9 y con 15ppm de PAC; el primer vaso se coloca en la prueba de jarras a 100 rpm, mientras que el segundo se coloca a 200 rpm, ambos por tiempo de 1 min, se dejó reposar y se registró la turbidez con el paso de las horas.

Tabla 37-3: Elección rpm de coagulación óptima

		100 rpm	200rpm
Turbidez(NTU)	1h	198	163
	2h	98	103
	3h	77,2	89,6
	4h	47	85

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Con 4 horas de reposo se evidencia una turbidez menor de 47 NTU correspondiente a 100 rpm de velocidad, siendo esta la adecuada para coagulación durante un minuto y proceder a determinar la concentración de floculante y su tiempo de floculación.

Concentración del floculante y rpm de floculación

Para la elección del floculante se preparó tres vasos con agua residual de curtido a pH 9, PAC a 15 ppm y a una velocidad de 100 rpm durante un minuto, después se colocó los tres tipos de floculantes (aniónico, catiónico y no iónico) respectivamente en cada uno de ellos; empíricamente se añadió 1ml de floculante y se lo dejó a velocidad de 20 rpm por 15 min para que flocule con el fin de saber cuál de estos es el que se debe usar en este tratamiento, al igual que los procesos anteriores, se monitoreó la turbidez cada hora.

Tabla 38-3: Elección del tipo de floculante

		Tipo de floculante		
		Aniónico	No Iónico	Catiónico
Turbidez(NTU)	1h	288	245	408
	2h	200	130	513
	3h	70	130	520

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Con estos datos se determina que el floculante de tipo aniónico es el adecuado para este tratamiento.

La velocidad para la floculación se da a bajos rpm según la disposición del equipo, en este caso se realizó 2 pruebas una de ellas va a tener floculante aniónico a varias concentraciones a 20 rpm mientras que la otra estará a 40 rpm.

Tabla 39-3: Elección de la concentración del floculante a 20RPM

Floculante (ppm)		0,25	0,5	1	2	3
Turbidez (NTU)	1h	360	330	283	272	387
	2h	308	210	192	176	279
	3h	99	83	92	77	91
	15h	5,3	3,2	4,3	3,9	5,7

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Tabla 40-3: Elección de la concentración del floculante a 40RPM

Floculante (ppm)		0,25	0,5	1	2	3
Turbidez (NTU)	1h	390	407	373	382	395
	2h	287	208	226	229	209
	3h	103	110	90	72	86
	15h	6,8	6,7	5,27	7,5	15,3

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Como resultado de las 2 pruebas se reporta una turbidez de 3,2 con el floculante aniónico de 0,5 ppm de concentración y a 20RPM siendo esta la concentración adecuada de floculante y la velocidad de floculación respectivamente como se muestra en la gráfica siguiente:

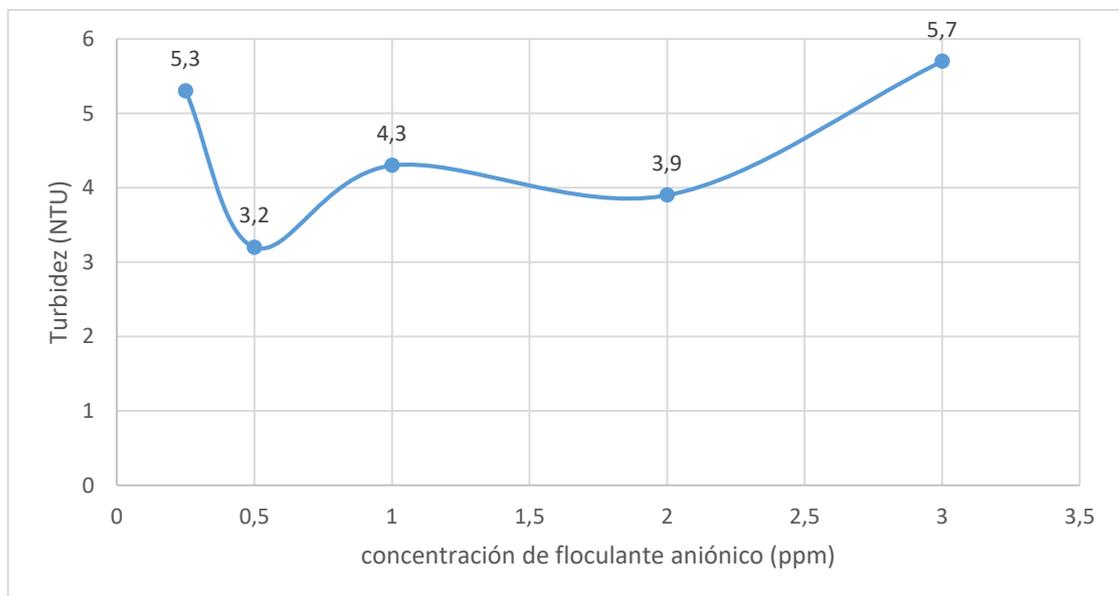


Gráfico 4-3: Comportamiento de la turbidez con la concentración del floculante

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Tiempo de sedimentación

Para saber el tiempo que le toma sedimentar a la muestra tratada se prepara un vaso de precipitación con 1 litro de agua residual de curtido con los parámetros obtenidos de las pruebas anteriores detallados a continuación:

- pH=9
- 15ppm de PAC a 100RPM con tiempo de coagulación de 1 minuto
- 0,5ppm de floculante aniónico con tiempo de floculación de 15 minutos

Se traspasa lentamente a una probeta de 1000ml, se deja reposar y se registra la altura de los sedimentos formados a un tiempo determinado hasta que estos sean constantes.

Tabla 41-3: Tiempo de sedimentación

Tiempo (min)	Altura de sed. (cm)	Tiempo (min)	Altura de sed. (cm)	Tiempo (min)	Altura de sed. (cm)
2	7,6	32	4,9	100	4,4
4	6,5	35	4,8	107	4,4
8	6	38	4,8	110	4,4
10	5,8	43	4,8	120	4,4 (ntu=229)
13	5,5	48	4,8	125	4,4
15	5,4	51	4,7	135	4,3
18	5,3	56	4,6	145	4,3
20	5,1	62	4,6(ntu=318)	155	4,3
23	5,1	68	4,6	170	4,3
25	5	73	4,5	175	4,3
28	5	83	4,4	180	4,3 (ntu=78)
31	4,9	90	4,4	900	4,2 (ntu=4,1)

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

En el **Gráfico 5-3** se puede apreciar que los sedimentos van compactándose en la probeta al pasar el tiempo, logrando así haber acumulado una altura de 4,3 cm equivalente a un volumen de 122ml por cada litro de agua residual de curtido en 3 horas, sin embargo se evidenció que la altura ya se mantiene relativamente constante desde las 2 horas. Con respecto a la turbidez, es inferior a 10 NTU al dejarlo toda la noche.

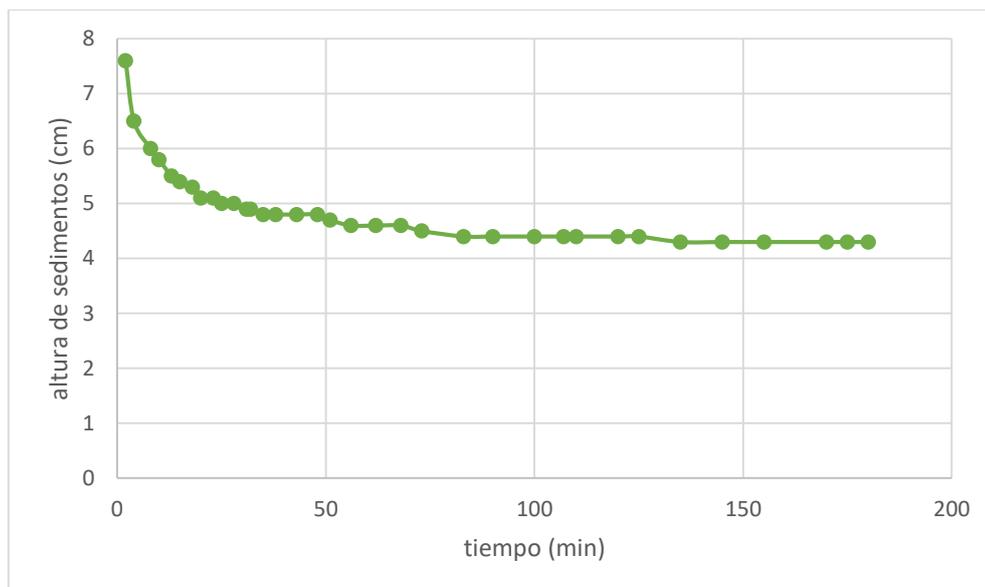


Gráfico 5-3: Comportamiento de la altura de sedimentación con el tiempo

Fuente: Laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH

Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019

Una vez tratada el efluente de curtido, se hizo por duplicado el procedimiento de tratamiento consiguiendo la misma efectividad.

3.2.6 Dimensionamiento de unidades para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre “MOYOLSA”.

En el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales se realizaron cálculos de ingeniería correspondientes a cada unidad nueva implementada que forma parte de la propuesta y corresponde a los tratamientos antes ejecutados en laboratorio sugeridos por el resultado del índice de biodegradabilidad.

Como antes se mencionó, la producción de la curtiembre “Moyolsa” es de 1200 bandas mensuales y por lotes, la capacidad máxima de los bombos es 200 bandas, por lo cual, el nuevo diseño es realizado en base a esta producción. El volumen de efluente a tratar es de 2.5 m³ de pelambre y 1,9m³ de curtido, como se indicó en los balances de masa de la **Figura 3-1** y la **Figura 4-1** respectivamente, mismos que servirán para su dimensionamiento ya que en referencia a estos se tratará las demás aguas.

Es necesario tomar en cuenta la capacidad de la planta y sus recursos, debido a que se aprovechó los materiales y tanques con los que ya contaba la empresa, por lo cual se decidió diseñar un aireador para oxidar sulfuros y un sedimentador para precipitar cromo y añadirlos al sistema actual.

3.2.8.1 Diseño del tanque aireador

Consideraciones:

- Volumen de agua a tratar de pelambre para una máxima producción realizada 2 veces por semana es 2,5m³ / día
- Factor de seguridad: 30%
- Tanque aireador de forma cilíndrica abierto con capacidad al doble del fluido a tratar;
- El parámetro de aire suministrado se calculará en función del DBO₅ inicial correspondiente a 16007 mg/l
- La adición del catalizador (MnSO₄) se realiza de forma manual y su agitación es efectuada por el mismo burbujeo
- Como el diámetro del tanque es mayor que 0,3 m es mejor usar varios orificios de salida de aire con un diámetro de agujeros de 1,5 a 3 mm o usar platos difusores, los cuales deben tener una distancia de 25 cm entre sí.

Volumen de agua a tratar de pelambre con factor de seguridad (V_{FP})

$$V_{FP} = V_P * f$$

Ecuación 4

Dónde:

V_P = Efluente de pelambre

f = Factor de seguridad

$$V_{FP} = 2,5m^3/dia * 1.3$$

$$V_{FP} = 3.25m^3/dia$$

Volumen del tanque aireador; (V_{TA})

$$V_{TA} = 2V_{FP}$$

Ecuación 5

$$V_{TA} = 6.5m^3$$

Cálculo de radio del tanque aireador (r_{TA}):

$$V_{TA} = \pi r_{TA}^2 h_{TA}$$

Ecuación 6

Dónde:

h_{TA} : Altura tanque de aireación; 2m

V_{TA} : Volumen del tanque aireador: 6,5m³

$$r_{TA} = \sqrt{\frac{V_{TA}}{\pi h_{TA}}}$$

$$r_{TA} = \sqrt{\frac{6,5m^3}{\pi(2m)}}$$

$$r_{TA} = 1,01m \cong 1m$$

Caudal de Aire suministrado; Q_{AP}

Para calcular este caudal se toma en cuenta que el aire necesario para la reducción de 1Kg de DBO₅ es 154m³.(Cuesta, 2005)

$$Q_{AP} = DBO_5 * V_{FP} * \frac{154m^3 \text{ aire}}{1kg \text{ DBO}_5}$$

Ecuación 7

Dónde:

DBO₅ = Demanda bioquímica de oxígeno inicial en el efluente de pelambre; 16007mg/l

V_{FP} = volumen final de pelambre; 3,25 m³/día

$$Q_{AP} = \frac{16007mg \text{ DBO}_5}{L} * \frac{1000L}{1m^3} * \frac{1Kg \text{ DBO}_5}{1 * 10^6 mg \text{ DBO}_5} * \frac{3,25m^3}{día} * \frac{1día}{24horas} * \frac{1hora}{60min} * \frac{154m^3 \text{ aire}}{1kg \text{ DBO}_5}$$

$$Q_{AP} = 5,563 \text{ m}^3/\text{min}$$

Entonces para remover 16007mgDBO₅/l se requiere de 5,563m³ de aire/min.

Presión hidrostática; (P_{H_2O})

$$P_{H_2O} = \rho * g * h_{TA}$$

Ecuación 8

Dónde:

ρ = densidad del agua a 20°C; 998,29Kg/m³

g = gravedad; 9,8 m/s²

h_{TA} = Altura del tanque aireador; 2m

$$P_{H_2O} = \frac{998,29kg}{m^3} * \frac{9,8m}{s^2} * 2m$$

$$P_{H_2O} = \frac{19566,48kg}{ms^2} = 19566,48 Pa \cong 2,84 psi$$

Presión absoluta; (P_{abs})

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

Ecuación 9

Donde:

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

P_{H_2O} = presión hidrostática; 2,84psi

$$P_{abs} = 14,7 psi + 2,84 psi$$

$$P_{abs} = 17,54 psi$$

Cálculo de la potencia del soplador; (P_s)

$$P_s = \frac{Q_{AP}RT_1}{75ne} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right] * 0,7457$$

Ecuación 10

Dónde:

Q_{AP} : Caudal del aire de compresión; $5,563 \frac{m^3 aire}{min} * \frac{1,2041Kg aire}{1m^3 aire} * \frac{1 min}{60s} = 0,111kg/s$

$P_2 = P_{abs}$: Presión absoluta; 17,54 psi

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

R = Constante, para el aire; 29,27m/K

e =: Eficiencia; 80%

n = constante, para el aire; 0,283(Ferrer y Seco, 2005, p. 22)

$$P_s = \frac{0,111 \frac{kg}{s} * 29,27 \frac{m}{K} * 293K}{75 * 0,283 * 0,7} \left[\left(\frac{17,54}{14,7psi} \right)^{0,283} - 1 \right] * 0,7457$$

$$P_s = 2,449Kw = 3,284HP$$

3.2.8.2 Diseño del sedimentador

Consideraciones:

- El volumen de agua a tratar de curtido considerado para una máxima producción realizada 2 veces por semana es 1,9 m³ / día
- El tanque es de forma cilíndrico abierto con fondo troncocónico (inclinación de 30°) para una adecuada evacuación de sólidos sedimentados, su altura debe ser aproximadamente a su diámetro.
- Para evitar un remolino en la agitación y asegurar un buen mezclado se diseñó 4 deflectores
- La agitación necesaria para coagulación y floculación se realiza con un motor reductor y paletas planas.
- La adición de la calp-24, PAC y floculador se realiza de forma manual.
- Los tiempos de tratamiento obtenidos experimentalmente fueron:
Para coagulación; $t = 1$ min, rpm = 100
Para floculación; $t = 15$ min, rpm = 20
Para sedimentación; $t = 3$ horas

Volumen del tanque sedimentador considerando factor de seguridad (V_{TS})

$$V_{TS} = V_C * f$$

Ecuación 11

Dónde:

V_C = Volumen de agua a tratar de curtido

f = factor de seguridad; 30%

$$V_{TS} = 1,9m^3 * 1.3$$

$$V_{TS} = 2.47m^3 = 2470L$$

El tanque a diseñar es cilíndrico de fondo troncocónico y experimentalmente se conoce que por cada litro de agua residual de curtido se extrae 0,122 litros de lodo, es decir que por cada 2,47m³ de efluente se genera 0,302m³ lodos, entonces el volumen del tanque sedimentador se puede expresar en:

$$V_{TS} = V_{TSC} + V_{TST}$$

Ecuación 12

Dónde:

V_{TSC} = Volumen tanque sedimentador parte cilíndrica

V_{TST} = Volumen tanque sedimentador parte troncocónica

$$2,47m^3 = V_{TSC} + 0,302m^3$$

$$V_{TSC} = 2,168m^3$$

Cálculo de radio del tanque sedimentador (r_{TSC}):

$$\sqrt{\frac{V_{TSC}}{\pi h_{TSC}}} = r_{TSC}$$

Ecuación 13

Dónde:

h_{TSC} : Altura tanque de sedimentador; 1,1m

V_{TSC} : Volumen del tanque sedimentador: 2.168m³

$$\sqrt{\frac{2,168m^3}{\pi(1,1m)}} = r_{TSC}$$

$$r_{TSC} = 0,792m$$

Altura parte troncocónica, h_{TST}

La altura se calculó gracias al radio del cilindro y el radio de la salida de lodos que es 0,04m, así:

$$V_{TST} = \frac{\pi * h_{TST} * (r_{TSC}^2 + r_{TST}^2 + (r_{TSC} * r_{TST}))}{3}$$

Ecuación 14

Dónde:

V_{TST} = volumen parte troncocónica; 0,302m³

r_{TSC}^2 = Radio parte cilíndrica; 0,792m

r_{TST}^2 = radio salida de lodos; 0,04m

$$h_{TST} = \frac{3 * V_{TST}}{\pi * (r_{TSC}^2 + r_{TST}^2 + (r_{TSC} * r_{TST}))}$$
$$h_{TST} = \frac{3 * 0,302m^3}{\pi * (0,792m^2 + 0,04m^2 + (0,792m * 0,04m))}$$
$$h_{TST} = 0,44m$$

Altura total del tanque; h_{TS}

$$h_{TS} = h_{TSC} + h_{TST}$$

Ecuación 15

Dónde:

h_{TSC} = altura tanque sedimentador parte cilíndrica

h_{TST} = altura tanque sedimentador parte troncocónica

$$h_{TS} = 1,1m + 0,44m$$

$$h_{TS} = 1,54m$$

Diseño de deflectores y paletas

Consideraciones:

- Agitador de 2 paletas planas y rectas para velocidades de 20 y 100 rpm (revoluciones por minuto) que empuja el líquido en forma radial y tangencial.
- La distancia entre la pared del sedimentador y los deflectores varía entre 0,1 a 0,15J(Geankoplis, 1998, p.164)

Tabla 42-3: Proporciones geométricas para un sistema de agitación “normal”

Deflector; J	$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$	Brecha; b	(0,1 a 0,15)*J
Longitud del propulsor; Da	(60 al 80%)* Dt	Altura de agitador	$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3}$
Longitud de las paletas; L	$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$	Ancho de las paletas; W	$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{8}$
Diámetro de conector de paletas; Dd	Dd = Da-L	Diámetro para potencia; Da_p	(30 a 60%) * Dt

Fuente: (Geankoplis, 1998, p.165)

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

Cálculo del ancho del deflector; (J)

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

Ecuación 16

Donde:

Dt = diámetro interno del tanque sedimentador; 1,584m

$$J = \frac{D_t}{12}$$

$$J = \frac{1,584m}{12}$$

$$J = 0,132m$$

Cálculo de la brecha; (b)

$$b = J * 0,13$$

Ecuación 17

$$b = 0,132m * 0,13$$

$$b = 0,017m$$

Cálculo de la altura de la paleta; (C)

$$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3}$$

Ecuación 18

$$C = \frac{D_t}{3}$$

$$C = \frac{1,584m}{3}$$

$$C = 0,528m$$

Cálculo del diámetro de las paletas; (Da)

$$D_a = D_t * 0,7$$

Ecuación 19

$$D_a = 1,584 * 0,7$$

$$D_a = 1,1088m$$

Cálculo del ancho de las paletas; (W)

$$W = \frac{D_a}{8}$$

Ecuación 20

$$W = \frac{1,1088 m}{8}$$

$$W = 0,1386 m \cong 0,14m$$

Cálculo de la longitud de las paletas; (L)

$$L = \frac{D_a}{4}$$

Ecuación 21

$$L = \frac{1,1088 m}{4}$$

$$L = 0,2772 m \cong 0,28m$$

Cálculo del diámetro para potencia; D_{aP}

$$D_{aP} = 0,3 * D_t$$

Ecuación 22

$$D_{aP} = 0,3 * 1,584$$

$$D_{aP} = 0,6336m$$

Cálculo del consumo de potencia del motor; (P_m)

$$P_m = N_p n^3 D_{aP}^5 \rho$$

Ecuación 23

Donde:

N_p = número de potencia específica

n = velocidad de rotación; rev/s

D_{aP} = diámetro para potencia; m

ρ = densidad del agua a 20°C; 998,29 Kg/m³

Tabla 43-3. Propiedades físicas del agua

Temperatura del agua °C	Densidad del agua Kg/m ³	Viscosidad dinámica Kg/ms
20	998,29	0,001003
22	997,86	0,000955

Fuente: (Geankoplis, 1998)

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

Estimación del número de potencia; N_p

$$Re < 10 \quad N_p = \frac{K_L}{Re}$$

$$Re > 10000 \quad N_p = K_T$$

Tabla 44-3: Valores de K_T Y K_L

Tipo de impulsor	K_L	K_T
Turbina, Disco de seis palas ($S_3=0,25$, $S_4=0,2$)	65	5,75
Paleta plana, dos palas $S_4 = 0,2$	36,5	1,7
Ancla	300	0,35

Fuente: (McCabe y Smith, 2007, p.278)

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{nD_{aP}^2 \rho}{\mu}$$

Ecuación 24

Dónde:

μ = viscosidad dinámica del agua a 20°C; 0,001003kg/ms

$$Re = \frac{\frac{1,7rev}{s} * (0,6336m)^2 * 998,29 kg/m^3}{0,001003kg/ms}$$
$$Re = 6,8 * 10^5$$

El número de Reynolds es mayor a 10000, entonces:

$$P_m = K_T n^3 D_{aP}^5 \rho$$

Ecuación 25

$$P_m = 1,7 * \left(\frac{1,7rev}{s}\right)^3 * (0,6336m)^5 * 998,29Kg/m^3$$
$$P_m = 851,389 W \cong 1,14HP$$

Considerando una eficiencia del motor del 70%, se tiene:

$$P_{mf} = \frac{P_m}{0,7}$$

Ecuación 26

$$P_{mf} = 851,389 W / 0,7$$
$$P_{mf} = 1216,27 W \cong 1,63 HP$$

3.2.7 Dosificación de químicos

Para que se lleve a cabo el tratamiento específico de cada uno de los efluentes se requiere de una dosificación adecuada de químicos, los cuales se determinaron a través de pruebas de jarras realizadas en laboratorio. Las dosificaciones se realizarán en forma manual y su preparación se detalla a continuación.

3.2.7.1 Dosificación de químicos en el tratamiento de pelambre

Para la dosificación de sulfato de manganeso se basa en el volumen de efluente de pelambre generado al día por 200 bandas correspondiente a $3,25\text{m}^3$, mismo que fue utilizado para el diseño del tanque aireador.

Dosificación del sulfato de manganeso; (MnSO_4)

La concentración óptima de MnSO_4 en el agua de pelambre establecida por pruebas de jarras en laboratorio fue de 600 ppm, para lograr esta concentración se preparó una solución madre de MnSO_4 a 100000ppm (10% m/v) en base a la siguiente ecuación:

$$C_1 = \frac{A}{D} * 10^6$$

Ecuación 27

Dónde:

C_1 = ppm de la solución madre

A = kg de soluto

D = litros de solución

Cálculo de la concentración de la solución madre del MnSO_4 ; C_{1X}

$$C_{1X} = \frac{A_X}{D_X} * 10^6$$

Dónde:

A_X = kg de MnSO_4

D_X = Litros de solución

$$C_{1X} = \frac{2\text{kg de MnSO}_4}{20 \text{ litros de solución}} * 10^6$$
$$C_{1X} = 100000\text{ppm}$$

Para calcular su volumen necesario en añadir a los $3,25\text{m}^3$ de agua a tratar se acopló la **Ecuación 2** como se muestra.

$$C_{1x} * V_{1x} = C_{2x} * V_{2x}$$

Ecuación 28

Dónde:

C_{1x} = concentración de $MnSO_4$ (100000ppm)

V_{1x} = volumen de C_{1x} necesario para añadir en V_{2x} y lograr una C_{2x}

C_{2x} = Concentración del $MnSO_4$ en el agua de pelambre (600ppm)

V_{2x} = Volumen del agua de pelambre a tratar al día; $3,25m^3$

$$100000ppm * V_{1x} = 600PPM * 3250L$$

$$V_{1x} = \frac{(600ppm * 3250L)}{100000ppm}$$

$$V_{1x} = 19,5L$$

Requerimiento de $MnSO_4$ mensual

Los $3,25 m^3$ de agua de pelambre es generado al depilar 200 bandas, sin embargo la producción mensual es de 1200 bandas, por lo tanto la cantidad de $MnSO_4$ requerido al mes es:

$$X_1 = 6 * X$$

Ecuación 29

Dónde:

X_1 = requerimiento mensual de $MnSO_4$

X = requerimiento diario de $MnSO_4$ para tratar $3,25m^3$

$$X_1 = 6 * 2Kg MnSO_4$$

$$X_1 = 12Kg MnSO_4$$

En conclusión de los 20 litros de la solución madre preparada, se requiere añadir 19,5L en $3,25m^3$ de agua de pelambre para alcanzar una concentración de 600 ppm de $MnSO_4$ y continuar con el proceso de aireación por 6 horas. En un mes se ocupa 12kg de $MnSO_4$ para el tratamiento específico del efluente de pelambre generado por 1200 bandas

3.2.7.2 Dosificación de químicos en el tratamiento de curtido

Para la dosificación de CAL P-24, PAC y floculador aniónico se toma el volumen del efluente de curtido a tratar en un día, mismo que se utilizó para el diseño del equipo sedimentador correspondiente a $2,47 m^3/día$

Dosificación de CAL P-24; (Ca(OH)₂)

En las pruebas de jarras el Ca(OH)₂ se añadió de manera directa sin diluirla (3,2g cal/ L agua de curtido) con el objetivo de ajustar el pH a 9. Para 2,47 m³/día se calcula la cantidad de cal a adicionar de la siguiente manera:

$$Y = \frac{V_{TS}}{\text{día}} * \frac{g\text{Cal}}{L \text{ agua curtido}}$$

Ecuación 30

Dónde:

Y = dosis de Cal; 3,2g cal/ L agua de curtido

V_{TS} = volumen de efluente de curtido generado en 1 día; 2,47 m³

$$Y = \frac{2,47\text{m}^3 \text{ agua}}{\text{día}} * \frac{3,2\text{gCal}}{\text{L agua}} * \frac{1000\text{l agua}}{1\text{m}^3 \text{ agua}} * \frac{1 \text{ Kg Cal}}{1000\text{g Cal}}$$
$$Y = \frac{7,9 \text{ kg Cal}}{\text{día}} \cong 8\text{kg Cal/día}$$

Requerimiento de Cal mensual

El requerimiento de Cal es en base a la cantidad de agua que se va a tratar, en este caso se usó 8kg Cal para elevar el pH de 2, 47m³ generados por 200 bandas, sin embargo para un mes este volumen aumenta 6 veces más debido a que son 1200 bandas de producción, así:

$$Y_1 = 6 * Y$$

Ecuación 31

Dónde:

Y₁ = requerimiento mensual de Cal

Y = requerimiento diario de Cal para tratar 2,47m³ de agua

$$Y_1 = 6 * 8\text{Kg Cal}$$

$$Y_1 = 48\text{Kg Cal}$$

En conclusión al añadir 8 kg de cal por día a 2,47m³ del efluente de curtido, este eleva su pH a 9 y queda listo para añadir el siguiente químico que produce la coagulación. Al mes se utilizará 48 kg de cal.

Dosificación de Policloruro de aluminio, PAC

La concentración óptima de PAC en el agua de curtido determinado por pruebas de jarras en laboratorio fue de 15 ppm, para ajustar esta concentración se prepara la solución madre de PAC de 10000ppm (1% m/v). La solución madre se realizó de tal forma que se pueda ocupar para el mes.

Cálculo de la concentración de la solución madre del PAC; C_{1z}

$$C_{1z} = \frac{A_z}{D_z} * 1000$$

Ecuación 32

Dónde:

A_z = g de PAC

D_z = Litros de solución

$$C_{1z} = \frac{250\text{g de PAC}}{25 \text{ litros de solución}} * 1000$$
$$C_{1z} = 10000\text{ppm}$$

Cálculo del volumen de solución madre necesario de PAC para añadir a los 2,47m³; V_{1z}

$$C_{1z} * V_{1z} = C_{2z} * V_{2z}$$

Dónde:

C_{1z} = concentración de PAC (10000ppm)

V_{1z} = volumen de C_{1z} necesario para añadir en V_{2z} y lograr una C_{2z}

C_{2z} = Concentración de PAC en el agua de curtido (15ppm)

V_{2z} = Volumen del agua de curtido a tratar al día; 2,47m³

$$10000\text{ppm} * V_{1z} = 15\text{ppm} * 2470L$$

$$V_{1z} = \frac{15\text{ppm} * 2470L}{10000\text{ppm}}$$

$$V_{1z} = 3,705 L \text{ solución madre}$$

De los 25 litros de la solución madre preparada, es necesario añadir 3,705L en 2,47m³ de agua de curtido para alcanzar una concentración de 15 ppm de PAC.

Requerimiento de PAC mensual

Al día se ocupa 3,705 L para tratar los 2,47 m³ de agua de curtido generado al curtir 200 bandas de los 25 L preparados de la solución madre, sin embargo la producción mensual es de 1200 bandas (6 veces más).

$$Z_T = 6 * 3,7L$$

Ecuación 33

Dónde:

Z_T = requerimiento mensual de la solución madre de PAC

Z = requerimiento diario de la solución madre de PAC para tratar 2,47m³

$$Z_1 = 6 * 3,7L \text{ solución madre}$$

$$Z_1 = 22,2 L$$

Se observa que el volumen necesario de solución madre alcanza para dar tratamiento por un mes, con lo cual, el peso de PAC (250g) utilizado para la preparación de esta solución, será el requerido para tratar los efluentes mensuales generados de curtido.

En conclusión, con 3,7 L de la solución madre de PAC se obtiene una concentración de 15ppm de PAC en el efluente de curtido proveniente de 200 bandas y queda listo para el proceso de coagulación. Al mes se requiere 250g de PAC

Dosificación del floculador aniónico

Para la floculación el químico utilizado es un floculante de tipo aniónico, en las pruebas de jarras de laboratorio se evidenció que la concentración adecuada es la de 0,5 ppm, para llegar a esta concentración se prepara la solución madre de concentración 1000ppm de la siguiente manera:

$$C_{1U} = \frac{A_U}{D_U} * 10^3$$

Dónde:

A_U = gramos del floculador aniónico

D_U = Litros de solución

$$C_{1U} = \frac{8g \text{ de floculador aniónico}}{8 \text{ litros de solución}} * 10^3$$

$$C_{1U} = 1000ppm$$

Para calcular el volumen necesario que debe ser añadido a los 2,47m³ de agua para alcanzar una concentración de 0,5ppm se sigue lo siguiente:

$$C_{1U} * V_{1U} = C_{2U} * V_{2U}$$

Ecuación 34

Dónde:

C_{1U} = concentración de la solución madre del floculador aniónico (1000ppm)

V_{1U} = volumen de C_{1U} necesario para añadir en V_{2U} y lograr una C_{2U}

C_{2U} = Concentración del floculador aniónico en el agua de pelambre (0,5ppm)

V_{2U} = Volumen del agua de pelambre a tratar al día; 2,47m³

$$1000ppm * V_{1U} = 0,5ppm * 2470L$$

$$V_{1U} = \frac{(0,5ppm * 3250L)}{1000ppm}$$

$$V_{1U} = 1,235L$$

Requerimiento mensual del floculador aniónico

Al igual que en la preparación de la solución madre del PAC, el floculante aniónico también fue preparado para utilizarse en un mes, es decir que la cantidad que se usó para preparar dicha solución corresponde a la que se requerirá en un mes correspondiente a 8g de floculador aniónico.

En conclusión, el volumen necesario para que se realice la floculación a una concentración de 15ppm de floculador aniónico en 2,47m³ de agua de curtido corresponde a 1,2L de la solución madre preparada. Al mes se requiere 8g de floculador aniónico.

3.3 Resultados

Tras un estudio de ingeniería cuidadoso en el que se ha considerado la característica del efluente, tratabilidad adecuada, criterios de diseño correspondientes a las distintas unidades y buen juicio se obtienen los siguientes resultados detallados a continuación.

3.3.1 Validación del rediseño

Para la validación del sistema de tratamiento ejecutado a nivel de laboratorio fue necesario la caracterización físico-química final de los efluentes que pasaron por su respectivo tratamiento. Estos análisis se llevaron a cabo de la misma manera en el laboratorio de Calidad del Agua de la ESPOCH y en el de Servicios Ambientales de la UNACH basándose en técnicas de laboratorio según Métodos Normalizados

3.3.1.1 Caracterización físico-química del agua tratada de pelambre

El efluente de pelambre se sometió a una homogenización y aireación para conseguir una disminución de sulfuros detallando los siguientes parámetros físico-químicos:

Tabla 45-3: Caracterización final del agua tratada del efluente de pelambre

Parámetro	Unidad	Métodos estandarizados	Resultado	Valor límite máximo permisible
Temperatura	°C	Método No.2550	23,1	<40
Sulfatos	mg/l	Método No.4500-SO ₄ -E	1 838	400
Sulfuros	mg/l	No.4500-S ⁻² -E	128	1
DBO ₅	mg/l	No.5210-B	2 930	250
DQO	mg/l	No.5220-D	15 606	500
pH	UpH	No.4500-H ⁺ - B	12,7	6-9
Sólidos totales	mg/l	No.2540-B	28 888	1600
Sólidos sedimentables	ml/l	No.2540-F	10	20

Fuente: laboratorio de calidad del agua de la ESPOCH, Servicios Ambientales de la UNACH.

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

Los parámetros: Sulfuros, sulfatos, DBO₅, DQO, pH, Sólidos totales registrados en la **Tabla 45-3** no cumplen aún con los límites permisibles de la normativa ambiental vigente, sin embargo muestra resultados menores a los indicados en la **Tabla 24-3**, la eficiencia del tratamiento se verificó analizando el % remoción de cada uno de los parámetros.

3.3.1.2 Caracterización físico-química del agua tratada de curtido

El efluente de curtido se sometió a una homogenización, regulación de pH, coagulación, floculación y sedimentación para lograr una precipitación de cromo previo a la caracterización final mostrada en la siguiente tabla:

Tabla 46-3: Caracterización final del agua ya tratada del efluente de la operación de curtido

Parámetro	Unidad	Métodos estandarizados	Resultado	Valor límite máximo permisible
Cromo total	mg/l	No. 3500 Cr-B y No. 3111 B	3,59	-
Cromo trivalente	mg/l	-	3,52	-
Cromo hexavalente	mg/l	No. 3500 Cr-D	0,07	0,5
DBO5	mg/l	No.5210-B	157	250
DQO	mg/l	No.5220-D	1416	500
pH	UpH	No.4500-H ⁺ - B	7,09	6-9
Sólidos totales	mg/l	No.2540-B	36990	1600
Sólidos sedimentables	ml/l	No.2540-F	<1	20
Temperatura	°C	Método No.2550	22,7	<40

Fuente: laboratorio de calidad del agua de la ESPOCH, Servicios Ambientales de la UNACH.

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

En la **Tabla 46-3** se observa que los parámetros analizados de cromo hexavalente, DBO5, pH, cumplen con la normativa ambiental vigente, por el contrario DQO y Sólidos Totales aún no, sin embargo presentan una menor concentración como los demás parámetros con respecto a la caracterización inicial reportada en la **Tabla 25-3**.

De igual forma que en pelambre, la manera para verificar la eficiencia del tratamiento de efluentes se hizo determinando el % remoción de cada parámetro.

3.3.1.3 Porcentaje de remoción

El porcentaje de remoción se calculó según la **Ecuación 3**, en base a los datos de caracterización final registrados en la **Tabla 45-3** y **Tabla 46-3** de pelambre y curtido respectivamente para obtener la eficiencia de remoción de los diferentes contaminantes como se muestra a continuación:

Tabla 47-3: % Remoción del agua tratada de pelambre

Parámetro	Unidad	Caracterización inicial	Caracterización final	% Remoción
Sulfuros	mg/l	1 120	128	88,57
DBO5	mg/l	16 007	2 930	81,69
DQO	mg/l	38 400	15 606	59,36
pH	UpH	12,7	12,7	0,00
Sólidos totales	mg/l	46 260	28 888	37,55
Sólidos sedimentables	ml/l	15	10	33,33

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

Tabla 48-3: % Remoción del agua tratada de curtido

Parámetro	Unidad	Caracterización inicial	Caracterización final	% Remoción
Cromo total	mg/l	213,79	3,59	98,32
Cromo trivalente	mg/l	213,03	3,52	98,34
Cromo hexavalente	mg/l	0,76	0,07	90,79
DBO5	mg/l	660	157	76,21
DQO	mg/l	3 980	1 416	64,42
pH	UpH	3,7	7,09	-91,62
Sólidos totales	mg/l	42 768	36 990	13,51
Sólidos sedimentables	ml/l	1	<1	-

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

El tratamiento por separado de los dos efluentes de pelambre y curtido se realizó principalmente para oxidar sulfuros y remover cromo, esto se puede evidenciar notablemente en la **Tabla 47-3** y **Tabla 48-3** que muestran una remoción de $S^{2-}=88,57\%$, $Cr^{6+}=90,79\%$ y $Cr^{3+}=98,34\%$ respectivamente, además de la remoción de los otros contaminantes analizados, así, se puede decir que todo esto acredita los tratamientos ejecutados.

3.3.2 Resultado del dimensionamiento de las unidades añadidas al sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre “Moyolsa”

Los dimensionamientos de las unidades de aireación y sedimentación se realizaron en base a los volúmenes de efluentes de pelambre = $2,5m^3$ y curtido = $1,9m^3$ y a consideraciones bibliográficas de diseño.

Tabla 49-3: Dimensiones del tanque aireador

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen del tanque aireador; (V_{TA})	m^3	6,5
Altura del tanque aireador (r_{TA}):	m	2
Radio del tanque aireador (r_{TA}):	m	1
Caudal de Aire suministrado; (Q_{AP})	m^3/min	5,563
Presión hidrostática; (P_{H_2O})	psi	2,84
Presión absoluta; (P_{abs})	psi	17,54
potencia del soplador; (P_s)	HP	3,284

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

Tabla 50-3: Dimensionamiento del tanque sedimentador

Parámetro	Unidad	Valor
Volumen del tanque sedimentador; (V_{TS})	m ³	2,47
Altura del tanque sedimentador (hrs):	m	1,54
Radio del tanque sedimentador (r_{TS}):	m	0,792
Ancho del deflector (J)	m	0,132
Brecha (b)	m	0,017

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

Tabla 51-3: Dimensionamiento del sistema de agitación

Parámetro	Unidad	Valor
Altura de la paleta; (E)	m	0,528
Diámetro de las paletas; (D_a)	m	1,1088
ancho de las paletas; (W)	m	0,14
longitud de las paletas; (L)	m	0,28
Potencia del motor; (P_{mf})	HP	1,63

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

3.3.3 Resultado de la dosificación de químicos

Tabla 52-3: Dosificación de químicos

Químico	Característica	Dosis al día	Dosis al mes	Dosis al año
Tratamiento de efluente de pelambre				
Sulfato de manganeso	MnSO ₄ 80%	2Kg	12Kg	144kg
Tratamiento de efluente de curtido				
Cal P-24	Ca(OH) ₂ 82,37%	8kg	48kg	576kg
Policloruro de aluminio	Al ₂ O ₃ 30%	37g	250g	3kg
Floculador aniónico	Superfloc A 130	1,235g	8g	96g
Total				

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

3.3.4 Propuesta para el rediseño

En el siguiente diagrama se muestra las unidades de aireación y sedimentación agregadas al sistema de tratamiento de aguas residuales de la curtiembre “Moyolsa” junto con su reorganización.

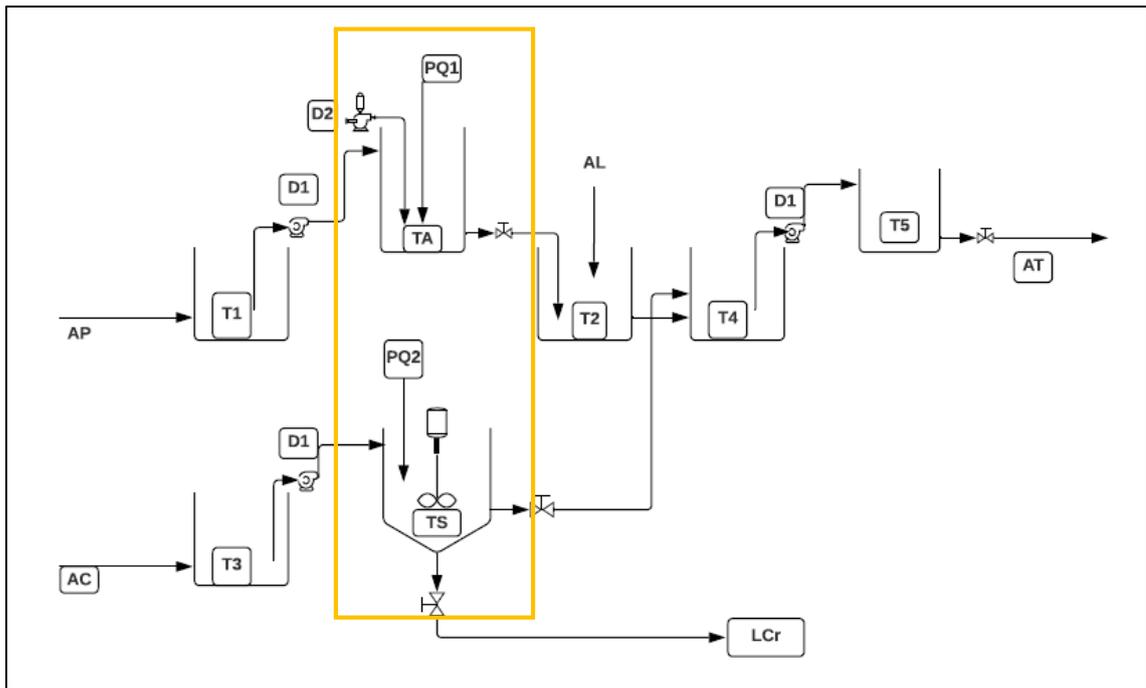


Figura 3-3: Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR) propuesto para la curtiembre “Moyolsa”
Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

3.3.4.1 Información operativa

En la curtiembre “Moyolsa” se originan efluentes contaminados producto de los diferentes procesos propios de ella; de acuerdo a esto se puede dividir en dos clases de aguas; una denominada **AP** (agua de pelambre y efluentes con sulfuro), y otra llamada **AC** (agua de curtido y efluentes ácidos).

Ambos tipos de aguas pasan por un sistema de cribado que retiene sólidos mayores a 0,5mm, sin embargo, las operaciones a continuación se realizan dependiendo del tipo de efluente como se describe a continuación:

En una primera instancia el efluente denominado “**AP**” pasa por el canal existente en la planta hasta llegar a un tanque de homogenización “**T1**” de material de concreto y capacidad de 12 m³ con el fin de ser recolectado y regular su caudal, seguidamente una bomba “**D1**” se encarga de trasladar estos efluentes al tanque aireador “**TA**” (por tratamiento batch el aire originado por el soplador “**D2**” ubicado en la parte superior del tanque aireador y distribuido por tuberías conectadas a difusores e instalados en el fondo del tanque los cuales van a estar en contacto directo con el agua a tratar) en el que se añade químicos “**PQ1**” (sulfato de manganeso, 600ppm) y se deja airear por 6 horas, hasta este punto es la propuesta de tratamiento de efluentes de pelambre trabajada en laboratorio, pero para aprovechar los tanques de la planta se describe lo siguiente;

después de la aireación se traslada al tanque desengrasante “T2” de material de concreto y capacidad de 6m³ continuando con el tanque homogenizador y de bombeo “T4” para trasladarlo finalmente al tanque reservorio de agua tratada “T5” para su mejor disposición sea de descarga al alcantarillado o recirculación.

En una segunda instancia se trata el agua denominada de Curtido y efluentes ácidos “AC” la cual previo a su cribado, pasa con la ayuda de una bomba sumergible al tanque de homogenización “T3” que busca la regular el caudal y la estancia hasta su traslado al tanque sedimentador “TS” al cual se añade químicos “PQ2” (Cal P-24 para regular el pH=9, PAC para coagulación y floculador aniónico para su floculación) y se deja en reposo por 3 horas, hasta aquí se ha reproducido el tratamiento a nivel de laboratorio realizado y lo siguiente es una forma de aprovechar los otros tanques que dispone la planta, así, la descarga del agua clarificada se realiza al tanque homogenizador 3 “T4” y sigue el proceso descrito anteriormente.

3.3.4.2 Diagrama del proceso

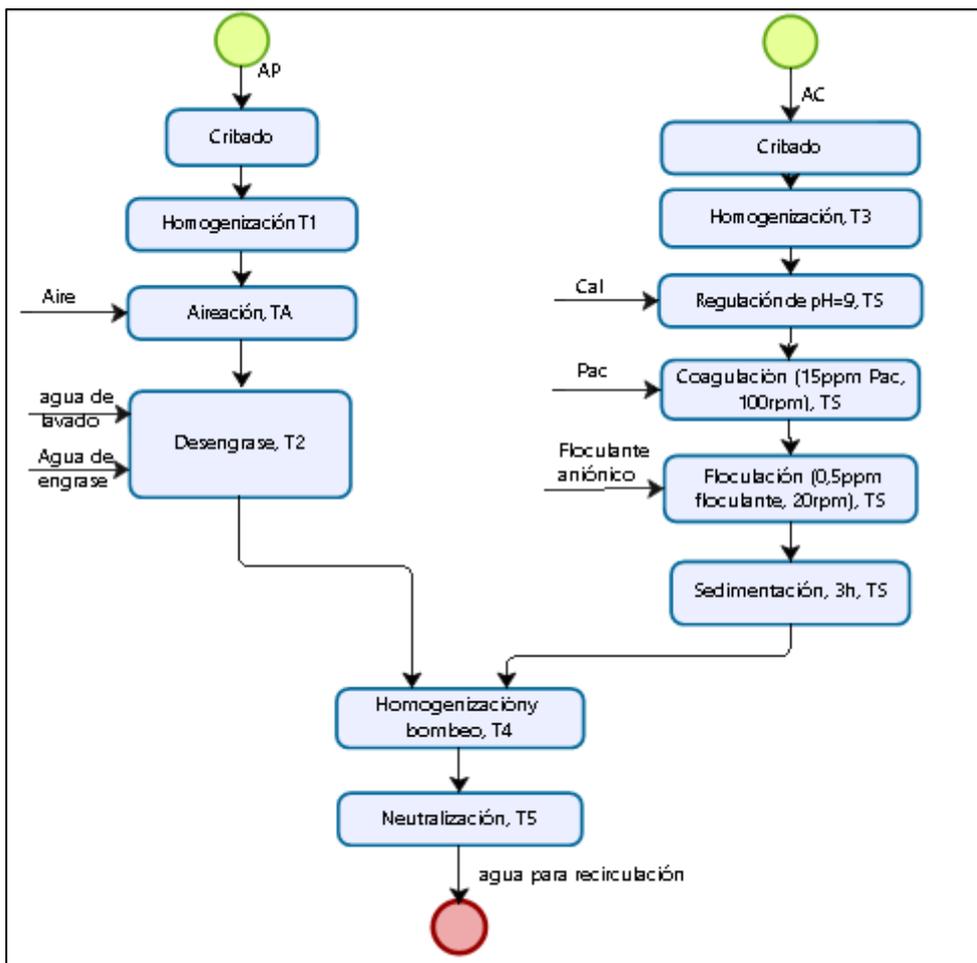


Figura 47-3: Diagrama del proceso de rediseño
Realizado por: HERRERA, Verónica. 2019.

3.4 Requerimiento de tecnología, equipos y maquinaria

El requerimiento de equipos, materiales y accesorios adecuados fue fundamental para el buen funcionamiento del sistema de tratamiento de efluentes de pelambre y curtido. Para una buena elección de estos, se ha tomado en cuenta el tipo de fluido que se va a transportar o contener, tal es el caso de consideraciones como el pH ya que el agua de pelambre y curtido son efluentes básicos y ácidos respectivamente, otro ejemplo es las tuberías y accesorios consideradas para el sistema de aireación con difusores, las que se hallan en la base del tanque son de material PVC por lo que se encuentran dentro del agua a diferencia de los accesorios fuera de ella que se encuentran conectados con el soplador son galvanizados para una mayor protección con la temperatura.

3.4.1 Tipos de materiales utilizados para la construcción de diferentes unidades dimensionadas

Tabla 53-3: Materiales utilizados para la construcción de diferentes unidades dimensionadas

Unidades	Características	Importancia
Tanque de aireación	Polietileno, 6000 litros	Oxidación de sulfuros
Tanque de sedimentación	Polietileno, 2500 litros	Precipitación de cromos

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

3.4.2 Dispositivos fundamentales

Tabla 54-3: Dispositivos fundamentales para el funcionamiento de las unidades propuestas

Dispositivos	Características	Importancia
Sistema de agitación	El agitador es en acero inox. 316 el eje y las paletas en plástico duralón.	Movimiento mecánico que ayuda a la mezcla
Deflectores	Polietileno	Mejora la mezcla al reducir el tamaño del remolino
Motor reductor	2HP, Trifásico	Impulsa al propulsor que está montado en el eje
Difusores	9" de diámetro, USA	Generación de micro burbuja
Soplador (blower)	3.4 HP, Regenerativo	Inyecta aire al sistema de aireación

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

3.4.3 Tuberías, accesorios y otros implementos que forman parte de las unidades para el rediseño

Este apartado corresponde a implementos necesarios para la conexión entre unidades y dispositivos, posee gran importancia para la operatividad del sistema de rediseño.

Tabla 55-3: Tuberías y accesorios

Implementos	Características	Importancia de implementación
Tuberías	cloruro de polivinilo (PVC)	Transporta aire a los difusores, su temperatura se equilibra con la del fluido.
	Acero galvanizado	Transporta aire a los difusores y resisten a cambios de temperatura del soplador debido al aumento de presión.
Codos, tee, uniones, bridas y tapones	Cloruro de polivinilo, o PVC	Conecta las tuberías
	Acero galvanizado	Conecta las tuberías
Válvulas	Acero inoxidable	Disminuye o detiene el flujo del fluido
Soporte para sedimentador	Metal	Sostiene el sedimentador
Soporte para blower	Metal	Mantiene fijo el blower y a una altura de 2 metros para su mejor rendimiento.

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

3.5 Análisis de costo/beneficio del proyecto

El rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales no busca solo reducir la concentración de contaminantes, si no, que la implementación sea de materiales resistentes y compatibles con la economía de la curtiembre “Moyolsa”, ya que si no se cubren estas áreas el rediseño quedaría sin opción a en un futuro implementarse. Es por ello que cada tipo de tratamiento, unidad considerada y material fue en función de la capacidad de la planta en asumirla.

Con toda seguridad se afirma que la inversión en la implementación de unidades que mejoren el tratamiento de efluentes garantiza un ahorro económico al evitarse sanciones económicas ambientales y por supuesto generar conciencia ambiental que hoy en día es un plus y carta de presentación entre empresas.

Las 2 unidades que este proyecto propone implementar se lo hizo en función de nivel de producción ya que se ponen en marcha cuando se realice las operaciones de curtido y pelambre, es decir, representará un ahorro de energía cuando no se realicen ninguna de ellas, además que, cuando se ejecuten estas operaciones se tendrá la seguridad de disminuir considerablemente los contaminantes principales de la curtiembre que son cromo y sulfuros.

Sin embargo la decisión de la implementación de esta propuesta de rediseño es únicamente de la curtiembre “Moyolsa”, para esto se puede observar en la **Tabla 56-3** la cotización de las diferentes unidades, dispositivos y accesorios al igual que los costos de químicos registrados en la **Tabla 57-3**

Tabla 56-3: Cotización general para la implementación del rediseño del sistema de tratamiento de aguas

Rubro	Cantidad requerida	Costo unitario	Costo global
Sistema de aireación			
Tanque de aireación	1	1200	1200
Soplador (blower)	1	1400	1400
difusores	16	50	800
Soporte para blower	1	250	250
Sistema de sedimentación			
Tanque sedimentador de 4 deflectores con soporte metálico	1	1980	1980
Agitador con motor reductor	1	2500	2500
Otros			
Instalación y materiales (tuberías y accesorios)			2000
Subtotal			10130
IVA 12%			1215,6
Total			11345,6

Fuente: Avalchem

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

Tabla 57-3: Costos de químicos

Químico	Característica	Dosis al día	Dosis al mes	Dosis al año	presentación	Costo unitario	Costo anual
Tratamiento de efluente de pelambre							
Sulfato de manganeso	MnSO ₄ 80%	2Kg	12Kg	144kg	1Kg	0,80	115,2
Tratamiento efluente de curtido							
Cal P-24	Ca(OH) ₂ 82,37%	8kg	48kg	576kg	25kg	8,75	201,6
Policloruro de aluminio	Al ₂ O ₃ 30%	37g	250g	3kg	1kg	0,80	2,4
Floculador aniónico	Superfloc A 130	1,235g	8g	96g	1 kg	10	10
Subtotal							329,2
IVA (12%)							39,50
Total							368,70

Fuente: Avalchem, 2019

Realizado por: Herrera Verónica, 2019

3.6 Análisis de resultados

Para el presente proyecto técnico de rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales enfocado en los efluentes de pelambre y curtido, el tipo de muestra tomada fue simple debido a que el efluente en su descarga que no dura más de 20 minutos ya es homogenizado, y se trata de un sistema por lotes con una producción promedio de 1200 bandas al mes. Este nivel de producción benefició al rediseño ya que se trabajó en base a un volumen real máximo de efluente correspondiente a 3,25m³ de pelambre y 2,47m³ de curtido al día.

Los resultados de caracterización fisicoquímica inicial corroboraron la necesidad de implementar un tratamiento específico que disminuya contaminantes característicos de curtiembre (sulfuro y cromo), siendo estos para efluente de pelambre 1120mg/l de sulfuros, 1100mg/l de sulfatos, 16007mg/l de DBO₅, 38400mg/l de DQO, 46260mg/l de Sólidos totales y 15 ml/l de sólidos sedimentables, mientras que para el curtido: 213,03mg/l de cromo trivalente, 0,76mg/l de cromo hexavalente, 660mg/l de DBO₅, 3980mg/l de DQO, 42768mg/l de Sólidos totales y 1ml/l de sólidos sedimentables debido a que todos se encuentran por encima del límite máximo permisible de la norma ambiental vigente a excepción de los sólidos sedimentables que indica que el material de cribado es adecuado para la retención de los mismos.

El índice de biodegradabilidad para el efluente de pelambre de 0,417 propuso dar tratamiento biológico y/o físico-químico el cual fue una oxidación de sulfuros a través de la aireación mientras que para el tratamiento de curtido fue 0,166 correspondiente a uno físico-químico que consistió en coagulación, floculación y sedimentación para la precipitación de cromo, lo cual, a través del porcentaje de remoción de sulfuro del 89% y del cromo trivalente del 99%, confirmó que el tratamiento específico elegido fue adecuado y eficiente para la disminución de sulfuro y cromo, resaltando que es más fácil tratar a un contaminante cuando su concentración es mayor en un determinado volumen que en uno en el que está diluido. Es por ello que se decidió diseñar un tanque aireador para disminuir específicamente sulfuro y un sedimentador para precipitar cromo.

Las pruebas ejecutadas en el Laboratorio de calidad del agua de la ESPOCH para el efluente de pelambre basadas en el índice dieron consideraciones importantes para el diseño del tanque aireador como: el uso de recipientes con capacidad del doble al agua a airear, inyección de aire, mangueras, difusores, 600ppm de dosis del catalizador sulfato de manganeso (MnSO₄) , con un tiempo de aireación a 6 horas aunque se evidenció que en la quinta y sexta hora la concentración de sulfuros se mantuvo relativamente constante, lo que indicó que el tiempo considerado de aireación fue acertado, es necesario resaltar que la remoción de sulfuros consiguió una disminución de la carga contaminante de otros parámetros.

Los resultados de la caracterización del efluente tratado de pelambre son aún altos debido a que solo se ha realizado aireación; no seguir con un posterior tratamiento de coagulación para precipitar sus proteínas se justifica porque para ello es necesario bajar su pH con ácido sulfúrico y esto resulta peligroso por su manipulación además de la emanación del gas tóxico de sulfuro de hidrógeno, por ello se propone después de la aireación se homogenice este efluente con los demás para neutralizarlo o recircularlo para el lavado de pieles.

Por el contrario, la tratabilidad del agua de curtido arrojó datos importantes para el diseño de la unidad de sedimentación, así, para coagulación se usó 15 ppm de PAC en un pH de 9 ajustado por la adición de hidróxido de calcio (Cal P-24) a 100 rpm durante un minuto, para floculación se utilizó 0,5 ppm de floculante aniónico con un tiempo de agitación de 15 minutos a 20 rpm y por último 3 horas de tiempo de sedimentación, reflejando el aprovechamiento óptimo de químicos con concentraciones óptimas y resultados eficientes como el 99% de remoción de cromo trivalente, de la misma forma se evidencia la disminución de los otros parámetros.

El sistema de rejas no hizo falta diseñar porque los sólidos sedimentables no presentan valores fuera de norma, el tanque 1 y 2 del sistema actual de tratamiento son posibles de utilizar debido a su volumen de diseño y a que poseen canales diferentes para dirigir las aguas a ellos respectivamente, es por eso que al tanque 1 se dirigirán aguas de pelambre mientras que al tanque 2 se dirigirá aguas de lavado y engrase. El almacenamiento de las aguas de curtido estarán en el tanque 3 con el fin de evitar el contacto con las aguas de pelambre, una vez tratado los 2 tipos de efluentes con oxidación de sulfuros y sedimentación de cromo, pueden descargarse en el Tanque 4 del sistema actual, homogenizarse y reutilizarse en el lavado de pieles para evitar que se descargue al sistema de alcantarillado.

La cotización de la implementación de este rediseño está valorada en 11.345,6 dólares si la empresa decidiera ejecutarla, cabe recalcar que este gasto se realizaría una sola vez, mientras que la cotización de los químicos es 368,7 dólares al año. Estos son valores que empatan con la economía de la curtiembre “Moyolsa” y evitaría sanciones económicas al implementarse.

CONCLUSIONES

Se realizó la caracterización físico-química inicial, así, para el efluente de pelambre la concentración fue de sulfuros= 1120mg/l, DBO₅= 16007mg/l, DQO= 38400 mg/l, pH= 12,7 y Sólidos totales= 46260, mientras que en el efluente de curtido la concentración fue de cromo trivalente = 213,03mg/l, Cromo hexavalente= 0,76mg/l, DBO₅= 660mg/l, DQO= 3980mg/l, pH= 3,7 y Sólidos totales= 42768 que al compararlos con la norma ambiental vigente del TULSMA, Anexo1 del Libro VI, Tabla 8: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público se evidenció su incumplimiento justificando la importancia del rediseño del sistema actual de tratamiento de aguas residuales de la curtiembre.

Se ejecutó pruebas de tratabilidad en laboratorio según el índice de biodegradabilidad de 0,417 en pelambre orientando a un tratamiento biológico y/o físico-químico correspondiente a una oxidación obteniendo dosis adecuadas de químicos como 600ppm del catalizador sulfato de manganeso (MnSO₄) con 6 horas de aireación mientras que para el curtido con un índice de 0,166 se realizó un tratamiento físico-químico que consistió en la precipitación del cromo a través de la coagulación a 15 ppm de PAC y 100rpm siguiendo con floculación a 0,5ppm de floculante aniónico por 15 minutos a 20 rpm finalizando con un tiempo de sedimentación de 3 horas, todo esto con el fin de validar el tratamiento para determinar las unidades a diseñar que ejecuten estas operaciones y en función a estas, la cantidad de dosis de químicos a utilizar.

Se validó el rediseño a través de la caracterización fisicoquímica final del efluente tratado obteniendo los resultados para pelambre una concentración de sulfuros= 128mg/l, DBO₅= 2930mg/l, DQO= 15606 mg/l, pH= 12,7 y Sólidos totales= 28888mg/l, mientras que en el efluente de curtido se obtuvo una concentración de cromo trivalente= 3,52mg/l, Cromo hexavalente= 0,07mg/l, DBO₅= 157mg/l, DQO= 1416mg/l, pH= 7,09 y Sólidos totales = 36990. Al compararlos con la norma ambiental vigente del TULSMA se evidenció que los parámetros de sulfuros, DBO₅, DQO, pH y Sólidos totales para pelambre y DQO, Sólidos totales para curtido no cumplen aún con la normativa, sin embargo el porcentaje de remoción de 88,57% para sulfuros, 90,79% Cr⁶⁺ y 98,34% Cr³ comprueba que el tratamiento para disminuir sulfuro y cromo ejecutado en laboratorio si funciona eficientemente y es por ello que para su rediseño se debe implementar unidades que se encarguen de realizar dichos tratamientos y recircular el agua para operaciones de lavado de pieles en lugar de ser descargadas al sistema de alcantarillado

Se determinó que la principal variable de diseño fue el efluente de las operaciones de pelambre y curtido diarios en base a la máxima producción de 200 bandas por lote para obtener valores de volumen, radios y altura de los tanques propuestos a implementar, además de las condiciones obtenidas en laboratorio como tiempos de aireación, coagulación, floculación y sedimentación con sus respectivas dosis de químicos, a esto se efectuó cálculos de ingeniería, criterios de diseño y consideraciones de cada equipo propuesto para finalmente diseñar un tanque aireador para la oxidación de sulfuros en el agua de pelambre y un tanque sedimentador para precipitar el cromo en el efluente de curtido como tratamientos específicos añadidos al sistema actual de tratamiento consiguiendo así el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre “Moyolsa”.

RECOMENDACIONES

El tiempo de sedimentación del efluente de curtido en 3 horas genera una turbidez de 78, sin embargo al día siguiente (15 horas) posee una turbidez de 4,1 por lo que se recomienda dejarlo en el tanque sedimentador toda la noche y descargarlo al día siguiente.

Se recomienda reutilizar el agua tratada para el lavado de pieles, con respecto al lodo generado en la precipitación del cromo se debe realizar en un futuro una investigación para recuperar cromo y poder de igual manera reutilizarlo para curtir pieles.

La limpieza y el orden es fundamental para la seguridad de cualquier industria, en el caso de la curtiembre se recomienda hacer su limpieza de mallas, tanque aireador, sedimentador y paletas al terminar cada lote, sin antes cerciorarse que todo el equipo se encuentre apagado.

Es necesario que se realice una capacitación al personal que trabaja en la planta para que todos conozcan la manera adecuada del tratamiento de agua y el manejo de equipos. De igual manera, se recomienda llevar un registro de las actividades realizadas y dosis ocupadas al día de químicos en el sistema de tratamiento, con el fin de dar un monitoreo del tratamiento y realizar análisis físico-químico de aguas semestralmente para su control respectivo.

Se recomienda que la ubicación del soplador (blower) esté a la altura del tanque aireador (2m) para el mejor funcionamiento del equipo, a la vez, es necesario la implementación de un filtro antes del soplador para evitar incrustaciones en sus poros y mejorara su eficiencia.

.

GLOSARIO

DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ST	Sólidos Totales
SD	Sólidos sedimentables
PAC	Policloruro de Aluminio
TDS	Sólidos Totales Disueltos
IB	Índice de biodegradabilidad
V_P	Efluente de pelambre
f	Factor de seguridad
h_{TA}	Altura tanque de aireación
V_{TA}	Volumen del tanque aireador
V_{FP}	volumen final de pelambre
Q_{AP}	Caudal de Aire suministrado
P	densidad del agua a 20°C
g	gravedad
h_{TA}	Altura del tanque aireador
Patm	Presión atmosférica
P_{H2O}	presión hidrostática
Q_{AP}	Caudal del aire de compresión
V_C	Volumen de agua a tratar de curtido
V_{TS}	Volumen del tanque sedimentador considerando factor de seguridad
V_{TSC}	Volumen tanque sedimentador parte cilíndrica
V_{TST}	Volumen tanque sedimentador parte troncocónica
h_{TSC}	Altura tanque de sedimentador
V_{TSC}	Volumen del tanque sedimentador
V_{TST}	volumen parte troncocónica
r_{TSC}²	Radio parte cilíndrica
r_{TST}²	radio salida de lodos
h_{TSC}	altura tanque sedimentador parte cilíndrica
h_{TST}	altura tanque sedimentador parte troncocónica
Dt	diámetro interno del tanque sedimentador
b	brecha
J	Deflector
C	altura de paleta

Da	diámetro de las paletas
W	ancho de las paletas
L	longitud de las paletas
DaP	diámetro para potencia
Np	número de potencia específica
n	velocidad de rotación
u	viscosidad dinámica del agua

BIBLIOGRAFÍA

APHA; et al. 1992. *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. 17. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, S.A. ISBN 978-84-7978-031-9.

BAENA, G., 2014. *Metodología de la investigación* [en línea]. México: Grupo editorial Patria. ISBN 9786074384098. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/espochsp/reader.action?docID=3228423&query=metodo%252Binductivo>.

BLACK, M; et al. 2013. *Best available techniques (BAT) Reference document for the tanning of hides and skins* [en línea]. S.l.: s.n. [Consulta: 5 abril 2019]. ISBN 9789279329470. Disponible en: <http://europa.eu/>.

BULJAN, J. y KRAL, I., 2011. *Introduction to treatment of tannery effluents* [en línea]. Viena: s.n. [Consulta: 26 noviembre 2018]. Disponible en: https://www.unido.org/sites/default/files/2011-11/Introduction_to_treatment_of_tannery_effluents_0.pdf.

CENTRO DE PROMOCIÓN DE TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES (CPTS), 2003. *Guía Técnica de Producción Más Limpia para Curtiembres* [en línea]. La Paz: s.n. [Consulta: 10 enero 2019]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/291333001>.

CERÓN, P. *Estudio de un sistema físico-químico a escala prototipo de tratamiento de aguas residuales provenientes de una curtiembre* [en línea]. S.l.: Universidad San Francisco de Quito. Colegio de Ciencias Biológicas y Ambientales. Quito-Ecuador. 2011. Disponible en: <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/1248>.

CHACÓN, M., 2016. *Análisis físico y químico de la calidad del agua*. Bogotá: Ediciones USTA. ISBN 9781512956498.

CUESTA, P., 2005. Plan de manejo ambiental. Optimización del sistema de tratamiento. . S.l.:

FERRER, J. y SECO, A., 2005. *tratamientos físicos y químicos de aguas residuales*. Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.

GEANKOPLIS, C., 1998. *Procesos de transporte y operaciones unitarias*. Tercera ed. México: Compañía editorial continental, S.A. ISBN 968-26-1316-7.

GONZÁLEZ, P., 2013. *Plantas de tratamiento de aguas: Equipos electromecánicos, Ingeniería constructiva*. AMV Edicio. Madrid: s.n. ISBN 978-84-96709-93-5.

INEC, 2016. Empresas por actividad económica. *Directorio de empresas y establecimientos* [en línea]. S.l.: Disponible en: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/DirectorioEmpresas/Directorio_Empresas_2016/Principales_Resultados_DIEE_2016.pdf.

NTE INEN 2169:2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.

NTE INEN 2176:2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo.

LEMA, E. *El oligopolio del sector curtiembre CIU: C151101 y la rentabilidad de las empresas en el Ecuador* [en línea]. S.l.: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Contabilidad y Auditoría. Carrera Economía. Ambato - Ecuador. 2017. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25054>.

MCCABE, W. y SMITH, J., 2007. *Operaciones unitarias en ingeniería química*. séptima ed. México: McGRAW-HILL. ISBN 0-07-284823-5.

MENCÍAS, E. y MAYERO, L., 2000. *Manual de toxicología básica* [en línea]. Madrid: Diaz de Santos S.A. ISBN 84-7978-136-9. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=tGifQZogzZ0C&pg=PA631&dq=cromo.+toxicologia&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwifpvzfo5ziAhVuc98KHXYMDyYQ6AEIKDAA#v=onepage&q=cromo.toxicologia&f=true>.

METCALF, E., 1995. *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y recirculación* [en línea]. tercera. Madrid: McGRAW-HILL. ISBN 84-481-1727-1. Disponible en: https://www.academia.edu/35963101/Ingeniería_de_aguas_residuales_Volumen_1_3ra_Edición_-_METCALF_and_EDDY-FREELIBROS.ORG.pdf.

MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2015. Acuerdo Ministerial 097. *Del libro XI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente*. [en línea]. S.l.: s.n., pp. 19-20. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>.

MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2017. Texto Unificado De Legislacion Secundaria De Medio Ambiente. Decreto Ejecutivo 3516. [en línea]. S.l.: Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>.

PROMABAL, 2015. Estudio Ambiental Expost «Moyolsa». [en línea]. Ambato: Disponible en: <https://maetungurahua.wordpress.com/2017/02/06/estudio-de-impacto-ambiental-expost-moyolsa/>.

RAMALHO, R.S., 1990. *Tratamiento de aguas residuales*. Reverte. España: s.n. ISBN 9788429179750.

RIGOLA, M., 1999. *Tratamiento de aguas industriales, aguas de proceso y residuales*. Alfaomega. MEXICO: s.n. ISBN 970-15-0472-2.

ROMERO, J., 2006. *Purificación del agua*. segunda ed. Colombia: Editorial Escuela colombiana de ingeniería. ISBN 958806066-4.

YANZA, J. Análisis de la fibra de coco como filtro en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la curtiembre Moyolsa ubicada en la parroquia Pishilata de la ciudad de Ambato. [en línea]. S.l.: Universidad técnica de Ambato. Ambato-Ecuador. 2017. [Consulta: 6 mayo 2019]. Disponible en: [http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27450/1/Tesis 1224 - Yanza Guanina Jimena del Pilar.pdf](http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/27450/1/Tesis%201224%20-%20Yanza%20Guanina%20Jimena%20del%20Pilar.pdf).

ANEXOS

Anexo A Tabla8.Límite máximo permisible de descarga al sistema de alcantarillado

TABLA 8. LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO			
Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. solubles en hexano	mg/l	70,0
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	Cero
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	250,0
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	500,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	60,0
Organofosforados	Especies Totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sólidos Sedimentables	SD	ml/l	20,0
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Anexo B Resultado de Análisis físico-químico de laboratorio al efluente final del sistema de tratamiento de agua residual actual.

“Contribuimos a la protección ambiental con análisis de laboratorio confiables
www.lacquanalisis.com”

INFORME DE RESULTADOS

LABORATORIO DE ENSAYO, ACREDITADO POR OAE CON ACREDITACIÓN Nº OAE LE C 11-010	DATOS DEL CLIENTE		Versión 9
	CLIENTE:	CURTIDURÍA MOYOLSA	Pág. 1 de 1
	REPRESENTANTE:	Sr. Wilson Moyolema	Código: REG TEC 018
	DIRECCION:	Av. El Condor y Santa Cruz	Fecha formato: 20/03/201
	TELEFONO:	03 2406027	NÚMERO DE INFORME:
	CELULAR:	099 2635714	LACQUA 1 8 - 2 4 9 7
e - mail:	-----		

CONDICIONES AMBIENTALES	HUMEDAD (%): 49	TEM. AMBIENTE(°C): 21
-------------------------	-----------------	-----------------------

TIPO DE MUESTRA:	Agua Residual descarga final de proceso Curtido, Teñido y Pelambre	FECHA TOMA DE MUESTRA: 09 de octubre de 2018
RESPONSABLE MUESTRO:	Lacquanálisis	
TIPO DE TOMA DE MUESTRA:	Puntual	
FECHA DE ANALISIS:	Desde el 09 al 18 de octubre de 2018	
FECHA EMISION DE INFORME:	18 de octubre de 2018	

INFORME ANALISIS FISICO-QUIMICOS

PARAMETROS	UNIDAD	RESULTADO	METODO	INCERTIDUMBRE DEL METODO
Aceites y grasas	mg/l	20,10	PRO TEC 053 / APHA 5520 B	± 11,44 %
Caudal de descarga**	l/s	0,41	SEGÚN CONDICIONES DEL SISTEMA	-----
Cromo hexavalente*	mg/l	0,924	PRO TEC 041 / HACH 8023	± 21,26 %
DBO5*	mg/l	4551,70	PRO TEC 066 / HACH 8043	± 3,72 %
DQO	mg/l	9969	PRO TEC 014 / APHA 5220 D	± 18,30 %
Fenoles	mg/l	38,427	PRO TEC 055 / HACH 8047	± 2,86 %
pH*	UpH	10,71	PRO TEC 011 / APHA 4500 H+ B	± 1,30 %
Sólidos Totales*	mg/l	12144	PRO TEC 017 / APHA 2540 B	± 5,49 %
Sulfatos*	mg/l	1457,50	PRO TEC 026 / HACH 8051	± 16,08 %
Sulfuros	mg/l	124,860	PRO TEC 042 / HACH 8131	± 7,97 %
Detergentes	mg/l	3,733	PRO TEC 054 / HACH 8028	± 23,77 %

* Parámetro acreditado
 ** Parámetro No acreditado
 *** Parámetro Subcontratado Acreditado:
 **** Parámetro Subcontratado No Acreditado:

PERSONAL RESPONSABLE:

 Ing. Mária Jose Tapia ANALISTA		 Dr. Harold Jiménez DIRECTOR TECNICO
--	--	---

NOTA:
 El informe solo afecta a las muestras sometidas a ensayo.
 Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso escrito del laboratorio

Dirección: Edificio Plaza Ficoa, local 102, Av. Rodrigo Pachano s/n y Montalvo
Teléfono: (03) 2420 106 · **Móvil:** 099-5363620 · **info@lacquanalisis.com**
 Ambato, Ecuador - Sud América



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

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

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext. 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Verónica Paola Herrera Peñafiel

Fecha de Análisis: 15/05/2019

Tipo de muestras: Agua residual de pelambre, Curtiembre "Moyolsa".

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

TRABAJO DE TITULACION

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	UpH	4500-B	6-9	12,7
Temperatura	°C	2550.	<40	23
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	38400
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	16007
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	20	15
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	46260
Sulfuros	mg/L	4500-S ² -E	1	1120
Sulfatos	mg/L	4500-SO ₄ -E	400	1100

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

**TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.

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





ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

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

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext. 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Verónica Paola Herrera Peñafiel

Fecha de Análisis: 20/03/2019

Tipo de muestras: Agua residual de curtido, Curtiembre "Moyolsa".

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

TRABAJO DE TITULACION

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	UpH	4500-B	6-9	3,7
Temperatura	°C	2550.	<40	23,2
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	3980
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	660
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	20	1
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	42768

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

**TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.

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



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext. 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Verónica Paola Herrera Peñafiel

Fecha de Análisis: 16/05/2019

Tipo de muestras: Agua tratada de agua residual de pelambre, Curtiembre "Moyolsa".

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

TRABAJO DE TITULACION

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	UpH	4500-B	6-9	12,7
Temperatura	°C	2550.	<40	23,1
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	15 606
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	2930
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	20	10
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	28 888
Sulfuros	mg/L	4500-S ²⁻ -E	1	128
Sulfatos	mg/L	4500-SO ₄ -E	400	1 838

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

**TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.

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



Anexo F Caracterización final del agua de curtido



ESPOCH

LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS

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

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Verónica Paola Herrera Peñafiel

Fecha de Análisis: 27/03/2019

Tipo de muestras: Agua tratada de agua residual de Curtido, Curtiembre "Moyolsa".

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

TRABAJO DE TITULACION

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	UpH	4500-B	6-9	7,09
Temperatura	°C	2550.	<40	22,7
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500	1416
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250	157
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	20	<1
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	36990

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

**TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.



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

Anexo G Efluentes de curtido

A.



B.



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESPOCH	
A. Efluente de operación de curtido B. Canal de recolección de efluentes	CERTIFICADO APROBADO POR APROBAR POR ELIMINAR POR CALIFICAR INFORMACIÓN	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA VERÓNICA PAOLA HERRERA PEÑAFIEL	“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE “MOYOLSA” DE LA CIUDAD DE AMBATO”

Anexo H Tratabilidad del agua de pelambre

A.



B.



C.



D.



NOTAS

- A. Medición de sulfuros
- B. Medición de sólidos sedimentables
- C. Medición de sólidos totales
- D. Dilución para DBO y DQO

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

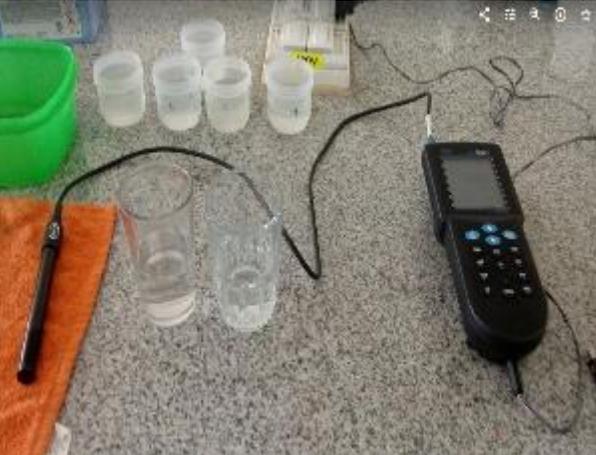
CERTIFICADO POR ELIMINAR
 APROBADO POR CALIFICAR
 POR APROBAR **INFORMACIÓN**

ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 VERÓNICA PAOLA HERRERA PEÑAFIEL

“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO
 DE AGUAS RESIDUALES PARA LA
 CURTIEMBRE “MOYOLSA” DE LA CIUDAD DE
 AMBATO”

Anexo I Tratabilidad del agua de curtido

<p>A.</p> 	<p>B.</p> 	<p>C.</p> 	<p>D.</p> 
<p>NOTAS</p> <p>A. Medición de sólidos sedimentables B. Medición de sólidos totales C. Medición de turbidez D. Medición de pH</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <p>CERTIFICADO POR ELIMINAR APROBADO POR CALIFICAR POR APROBAR INFORMACIÓN</p>	<p>ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>VERÓNICA PAOLA HERRERA PEÑAFIEL</p>	<p>“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE “MOYOLSA” DE LA CIUDAD DE AMBATO”</p>

Anexo J Tratabilidad del agua de curtido

A.



B.



C.



NOTAS

- A. Prueba de jarras
- B. Floculación
- C. Determinación de pH óptimo

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CERTIFICADO POR ELIMINAR
 APROBADO POR CALIFICAR
 POR APROBAR **INFORMACIÓN**

ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 VERÓNICA PAOLA HERRERA PEÑAFIEL

“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO
 DE AGUAS RESIDUALES PARA LA
 CURTIEMBRE “MOYOLSA” DE LA CIUDAD DE
 AMBATO”

Anexo K Tratabilidad del agua de curtido

A.



B.



C.



NOTAS

- A. Dosis de floculantes
- B. Tiempo de sedimentación
- C. Filtración del agua tratada

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CERTIFICADO
 APROBADO
 POR APROBAR

POR ELIMINAR
 POR CALIFICAR
INFORMACIÓN

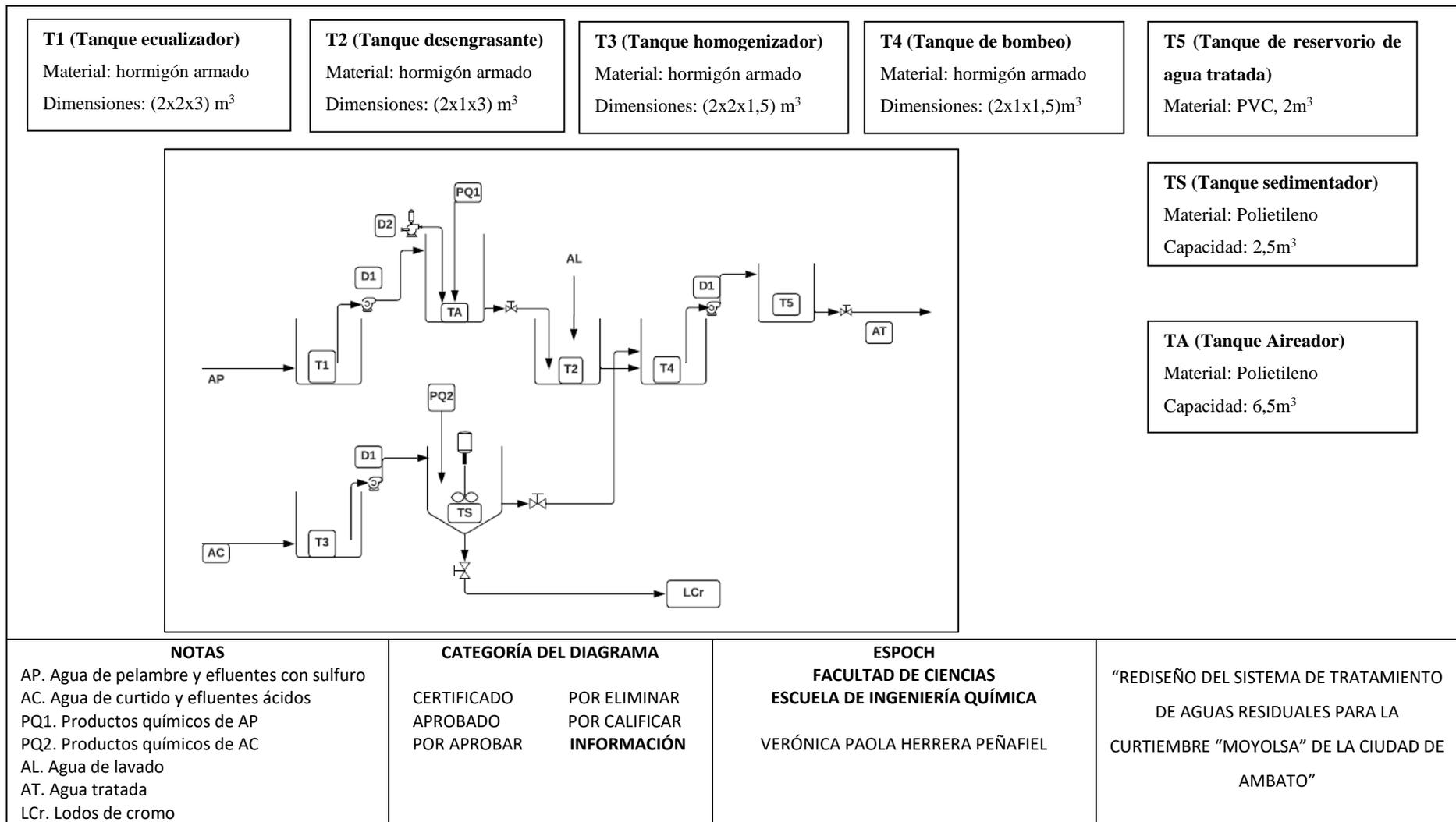
ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

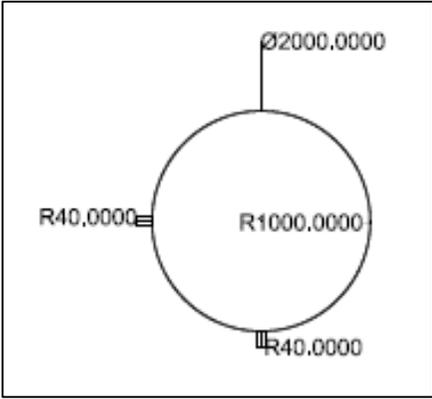
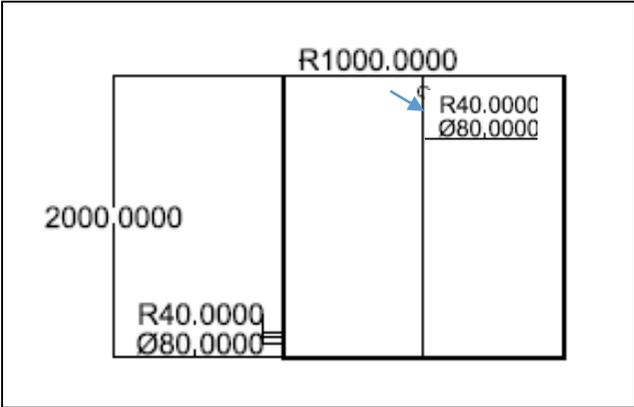
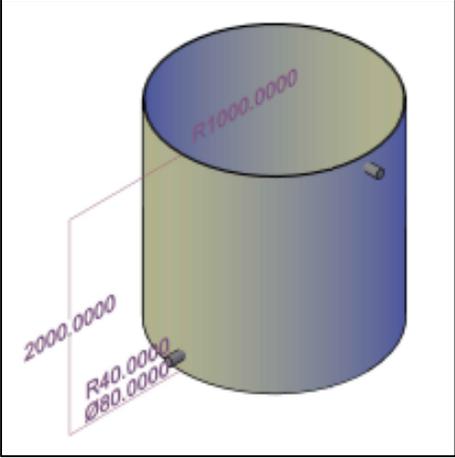
VERÓNICA PAOLA HERRERA PEÑAFIEL

“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO
 DE AGUAS RESIDUALES PARA LA
 CURTIEMBRE “MOYOLSA” DE LA CIUDAD DE
 AMBATO”

Anexo L Distribución de la planta

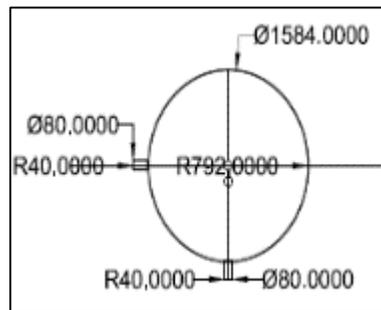


Anexo M Tanque aireador

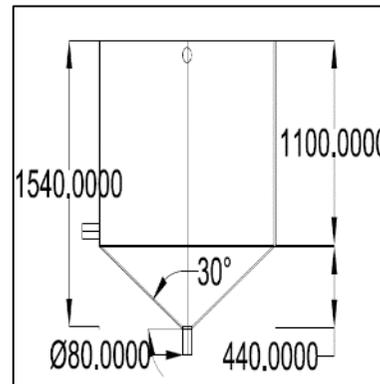
<p>A.</p> 	<p>B.</p> 	<p>C.</p> 	
<p>NOTAS</p> <p>A. Vista superior B. Vista frontal C. Vista isométrica</p>	<p>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</p> <p>CERTIFICADO POR ELIMINAR APROBADO POR CALIFICAR POR APROBAR INFORMACIÓN</p>	<p>ESPOCH</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>VERÓNICA PAOLA HERRERA PEÑAFIEL</p>	<p>“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE “MOYOLSA” DE LA CIUDAD DE AMBATO”</p>

Anexo N Tanque sedimentador

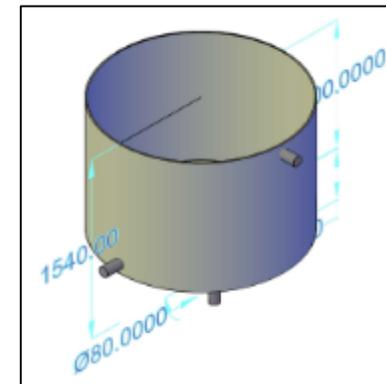
A.



B.



C.



NOTAS

- A. Vista superior
- B. Vista frontal
- C. Vista isométrica

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CERTIFICADO POR ELIMINAR
 APROBADO POR CALIFICAR
 POR APROBAR **INFORMACIÓN**

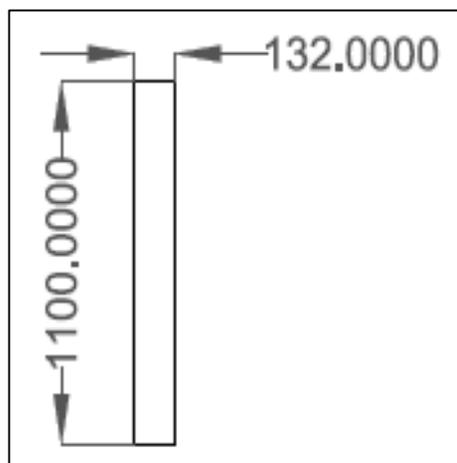
ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 VERÓNICA PAOLA HERRERA PEÑAFIEL

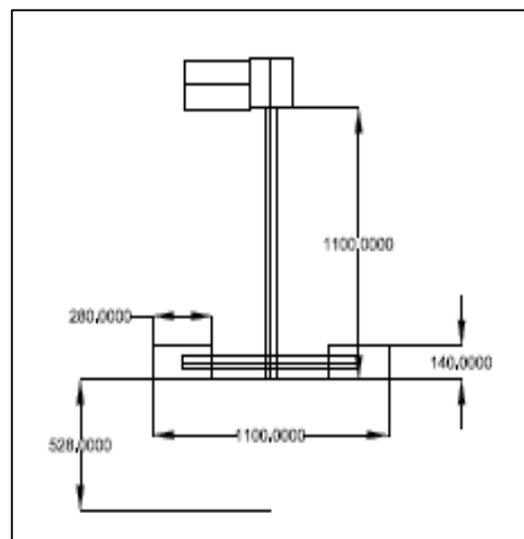
“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO
 DE AGUAS RESIDUALES PARA LA
 CURTIEMBRE “MOYOLSA” DE LA CIUDAD DE
 AMBATO”

Anexo O Deflector y paletas

A.



B.



NOTAS

- A. Deflector
- B. Paletas

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CERTIFICADO
 APROBADO
 POR APROBAR

POR ELIMINAR
 POR CALIFICAR
INFORMACIÓN

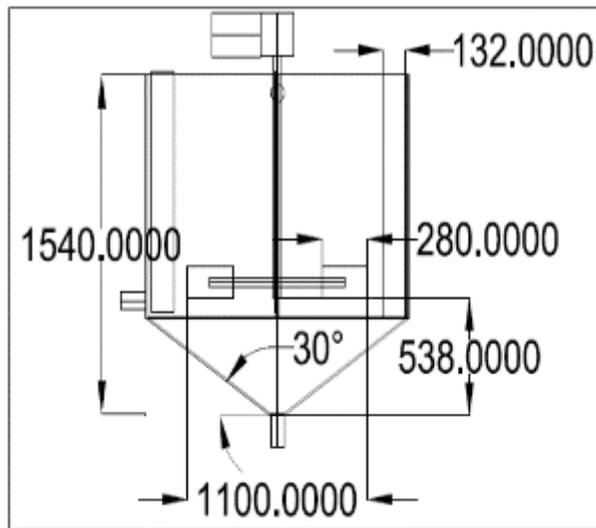
ESPOCH

FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
 VERÓNICA PAOLA HERRERA PEÑAFIEL

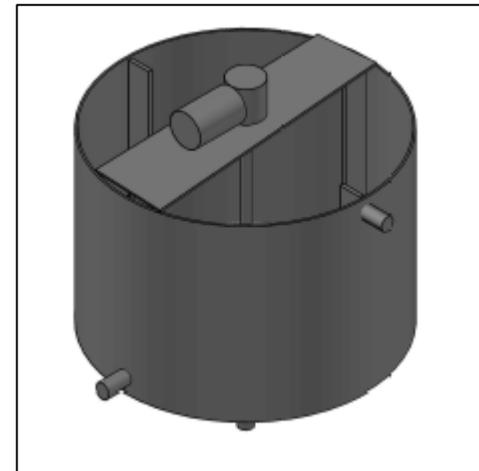
“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO
 DE AGUAS RESIDUALES PARA LA
 CURTIEMBRE “MOYOLSA” DE LA CIUDAD DE
 AMBATO”

Anexo P Sedimentador con paletas y deflectores

A.



B.



NOTAS

- A. Vista frontal
- B. Vista isométrica

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

CERTIFICADO POR ELIMINAR
 APROBADO POR CALIFICAR
 POR APROBAR **INFORMACIÓN**

ESPOCH

**FACULTAD DE CIENCIAS
 ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

VERÓNICA PAOLA HERRERA PEÑAFIEL

“REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO
 DE AGUAS RESIDUALES PARA LA
 CURTIEMBRE “MOYOLSA” DE LA CIUDAD DE
 AMBATO”