



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA CURTIAL DE LA PARROQUIA TOTORAS - TUNGURAHUA”

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: KAREN ESTEFANÍA ACOSTA GUAMÁN

DIRECTORA: ING. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Karen Estefanía Acosta Guamán

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, Karen Estefanía Acosta Guamán, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 03 de Septiembre del 2021.

KAREN
ESTEFANIA
ACOSTA
GUAMAN

Firmado digitalmente
por KAREN ESTEFANIA
ACOSTA GUAMAN
Fecha: 2021.09.03
15:35:52 -05'00

Karen Estefanía Acosta Guamán
180375558-4

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

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: El trabajo de investigación: Tipo: Proyecto Técnico: **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA CURTIAL DE LA PARROQUIA TOTORAS – TUNGURAHUA**, de responsabilidad de la señorita **KAREN ESTEFANÍA ACOSTA GUAMÁN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Hugo Segundo Calderón PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: SEGUNDO HUGO CALDERON .	2021-09-03
Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza DIRECTORA DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA	2021-09-03
Ing. Carlos Ramiro Cepeda Godoy MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: CARLOS RAMIRO CEPEDA GODOY	2021-09-03

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado a Julio César Acosta, mi padre, por quien he logrado cumplir una de mis metas, quien, con su apoyo, constancia y amor, me dio la fuerza necesaria para seguir adelante, además de guiarme en mi formación y compartirme las lecciones de vida: aprender, aceptar y perdonar. Aunque no le puedo ver, está presente y le siento en cada paso. A mi madre, por haberme apoyado y caminar junto a mí, quien ha estado presente en este trayecto para lograr esta meta.

A mi abuelita, quien me ha brindado su apoyo y consejos que me dieron la fortaleza para continuar este camino.

A mis tíos Mario y Marco, quienes son como mis padres de vida.

Karen

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, mis tíos y mi abuelita quienes me acompañaron en los momentos buenos y malos; quienes me inspiraron para seguir adelante y a luchar por mis sueños. Esos momentos compartidos para crecer y aprender, esos instantes que fueron y serán valiosos.

A mi padre, quien me dio la vida y el honor de ser su hija; de una persona luchadora, constante y valiente. A mi mamá por ser la persona que me acompaña en este camino y por su apoyo incondicional.

A mi abuelita, una mujer luchadora que me impartió sus valores y consejos para ser una mejor persona; quien con un abrazo solucionaba un mal día.

A mi directora Ing. Mayra Zambrano y a mi colaborador Ing. Ramiro Cepeda, por su paciencia, recomendaciones y consejos, quienes hicieron posible que hoy pueda culminar el presente trabajo.

Expreso mi agradecimiento sincero y fraterno a todas las personas que me impulsaron a trabajar y a esforzarme para hacer posible este momento.

Karen

TABLA DE CONTENIDO

INDICE DE TABLAS.....	x
INDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1 DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Identificación del problema.....	2
1.2 Justificación del proyecto.....	3
1.3 Beneficiarios directos e indirectos.....	3
1.3.1 <i>Beneficiarios directos.....</i>	<i>3</i>
1.3.2 <i>Beneficiarios indirectos.....</i>	<i>4</i>
1.4 Localización del proyecto.....	4
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 <i>Objetivo General.....</i>	<i>5</i>
1.5.2 <i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>5</i>
CAPÍTULO II.....	6
2 MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Curtiembres procesadoras de pieles para fabricación de gelatina.....	6
2.2 Aguas Residuales del Proceso de Pelambre.....	6
2.3 Curtiduría Curtial.....	7
2.4 Proceso de Obtención de Cuero para Gelatina de la Curtiduría “Curtial”.....	8
2.4.1 <i>Ribera.....</i>	<i>9</i>
2.4.1.1 <i>Etapas del Proceso de Ribera.....</i>	<i>10</i>
2.5 Impacto ambiental de los productos químicos en el proceso de pelambre.....	11
2.6 Tratamiento de las Aguas Residuales en la Industria de Curtiembre.....	12

2.6.1	Tratamiento Primario	12
2.6.1.1	<i>Sedimentación</i>	12
2.6.1.2	<i>Oxidación</i>	13
2.6.1.3	<i>Coagulación, Floculación</i>	13
2.6.1.4	<i>Filtración</i>	14
2.7	Tratamientos secundarios o biológicos	15
2.8	Marco Legal	16
2.8.1	<i>Constitución Política de la República del Ecuador</i>	16
2.8.2	<i>Ley Orgánica de Salud del Ecuador</i>	16
2.8.3	<i>Ley de Prevención y Control de Contaminación Ambiental del Ecuador</i>	16
2.8.4	<i>Ley de Gestión Ambiental del Ecuador</i>	17
2.8.5	<i>Acuerdo ministerial No. 097-A Refórmese el texto unificado de legislación ambiental secundaria.</i>	17
CAPÍTULO III		19
3	MARCO METODOLÓGICO	19
3.1	Ingeniería del proyecto	19
3.1.1	<i>Tipo de estudio</i>	19
3.1.2	<i>Métodos y Técnicas</i>	19
3.1.2.1	<i>Métodos</i>	19
3.1.2.2	<i>Técnicas</i>	20
3.1.3	<i>Toma y almacenamiento de muestra</i>	20
3.1.4	<i>Análisis de Laboratorio</i>	21
3.1.4.1	<i>Procedimiento para la Caracterización del agua residual</i>	22
3.1.4.2	<i>Caracterización Físico-Química del agua residual descargada de la etapa pelambre</i>	28
3.1.5	<i>Pruebas de Tratabilidad</i>	28
3.1.5.1	<i>Índice de biodegradabilidad</i>	29
3.1.5.2	<i>Elección del tipo de tratamiento</i>	29
3.1.5.3	<i>Elección de la dosis de MnSO₄ con aireación</i>	29
3.1.5.4	<i>Elección del coagulante en el agua de Pelambre</i>	30
3.1.5.5	<i>Elección del pH óptimo</i>	31
3.1.5.6	<i>Elección de la dosis de sulfato de aluminio a pH constante de 7</i>	31
3.1.5.7	<i>Elección del floculante a 250 ppm de Al₂(SO₄)₃ y pH constante de 7</i>	32
3.1.6	<i>Determinación experimental del caudal de diseño</i>	33

3.1.6.1	<i>Datos del monitoreo de caudal.....</i>	33
3.1.7	<i>Cálculos de Ingeniería.....</i>	36
3.1.7.1	<i>Determinación del caudal de diseño</i>	36
3.1.7.2	<i>Dimensionamiento del sistema de rejillas</i>	36
3.1.7.3	<i>Dimensionamiento del tanque de sedimentación primaria</i>	41
3.1.7.4	<i>Dimensionamiento tanque de aireación</i>	45
3.1.7.5	<i>Dimensionamiento del tanque de floculación – coagulación.....</i>	50
3.1.7.6	<i>Dimensionamiento del tanque de sedimentación secundario.....</i>	54
 CAPÍTULO IV		67
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	67
4.1	Dimensionamiento del Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales	67
4.2	Resultado de la caracterización de agua residual después del tratamiento	70
4.3	Comparación de resultados de Agua Residual antes y después del Tratamiento	71
4.4	Porcentaje de remoción.....	73
4.5	Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria	74
4.5.1	<i>Materiales y equipos para el monitoreo y muestreo de aguas residuales</i>	<i>74</i>
4.5.2	<i>Requerimientos tecnológicos para caracterización físico- químico del agua residual.....</i>	<i>74</i>
4.5.3	<i>Costo aproximado del diseño del sistema de tratamiento de agua residual.....</i>	<i>75</i>
4.6	Costos de Químicos.....	76
4.7	Discusión de resultados	76
CONCLUSIONES.....		78
RECOMENDACIONES.....		79
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Coordenadas Curtiduría “Curtial”	4
Tabla 2-2:	Insumos químicos utilizados en el proceso de pelambre.....	7
Tabla 2-3:	Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	18
Tabla 4-3:	Muestreo y almacenamiento según las normas INEN 2176 y la INEN 2176.....	21
Tabla 5-3:	Métodos Estándar para la caracterización físico-química del agua residual	22
Tabla 6-3:	Determinación de pH - Standard Methods 4500-B	22
Tabla 7-3:	Determinación de turbiedad- Método HACH 2130-B.....	23
Tabla 8-3:	Determinación de conductividad - Método HACH DR 2800	23
Tabla 9-3:	Determinación de DQO - Standard Methods *5220 D.....	24
Tabla 10-3:	Determinación de DBO ₅ - Standard Methods *5210 B.....	24
Tabla 11-3:	Determinación de sulfuros - Método Standard Methods 4500-E	25
Tabla 12-3:	Determinación de sulfatos - Método HACH 8051	25
Tabla 13-3:	Determinación de sólidos suspendidos totales - APHA 2540-C	26
Tabla 14-3:	Determinación de sólidos totales - Método APHA 2540-B	26
Tabla 15-3:	Determinación de sólidos sedimentables - APHA 2540-F	27
Tabla 16-3:	Determinación de aceites y grasas - Método EPA418,1.....	27
Tabla 17-3:	Caracterización del agua residual del proceso de pelambre de la Curtiduría “Curtial”	28
Tabla 18-3:	Índice de biodegradabilidad	29
Tabla 19-3:	Elección de dosis de MnSO ₄ con aireación	30
Tabla 20-3:	Elección del coagulante en el agua residual de “Pelambre”.....	30
Tabla 21-3:	Elección del pH optimo del agua residual de “Pelambre”.....	31
Tabla 22-3:	Dosis del coagulante Al ₂ (SO ₄) ₃ a un pH de 7.....	32
Tabla 23-3:	Elección del floculante a 80 ppm de Al ₂ (SO ₄) ₃ y pH constante de 7	32
Tabla 24-3:	Determinación del caudal de diseño- Standard Methods	33
Tabla 25-3:	Medición del caudal de agua residual de Pelambre de la curtiduría “Curtial” (Día 1)	34
Tabla 26-3:	Medición del caudal de agua residual de Pelambre de la curtiduría “Curtial” (Día 2)	34
Tabla 27-3:	Medición del caudal de agua residual de Pelambre de la curtiduría “Curtial” (Día 3)	34
Tabla 28-3:	Medición del caudal de agua residual de Pelambre de la curtiduría “Curtial” (Día 4)	35

Tabla 29-3:	Medición del caudal de agua residual de Pelambre de la curtiduría “Curtial” (Día 5)	35
Tabla 30-3:	Caudal promedio de agua residual de Pelambre de la curtiduría “Curtial”	35
Tabla 31-3:	Coeficiente de Manning para canales revestidos.....	37
Tabla 32-3:	Condiciones de diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica	39
Tabla 33-3:	Factor de pérdida según la forma de la barra.....	40
Tabla 34-3:	Dimensiones provistas para el tanque de sedimentación primaria	41
Tabla 35-3:	Parámetros de diseño para pantalla difusora	41
Tabla 36-3:	Caudal de agua residual de Pelambre por día.....	43
Tabla 37-3:	Dimensiones del tanque provisto para aireación	46
Tabla 38-3:	Datos técnicos del difusor de burbuja fina	49
Tabla 39-3:	Cargas de superficie para diversas suspensiones químicas	50
Tabla 40-3:	Propiedades del agua a diferentes temperaturas	53
Tabla 41-3:	Criterios de diseño de floculadores mecánicos.....	53
Tabla 42-3:	Valores de CD	53
Tabla 43-3:	Dimensiones del tanque provisto para sedimentación secundaria.....	55
Tabla 44-3:	Parámetros de diseño para pantalla difusora	55
Tabla 45-3:	Dosificación de químicos	59
Tabla 46-3:	Parámetros diseño de filtro.....	62
Tabla 47-3:	Materiales para el lecho filtrante	64
Tabla 48-3:	Parámetro de diseño de laterales	66
Tabla 49-4:	Dimensionamiento de sistema de rejillas	67
Tabla 50-4:	Dimensionamiento sistema de sedimentación primaria	68
Tabla 51-4:	Dimensionamiento de un sistema de aireación.....	68
Tabla 52-4:	Diseño sistema de agitación en el tanque de floculación y coagulación	69
Tabla 53-4:	Dimensionamiento sistema de sedimentación secundario.....	69
Tabla 54-4:	Dimensionamiento tanque de filtración.....	70
Tabla 55-4:	Caracterización del agua residual de Pelambre después del tratamiento.....	71
Tabla 56-4:	Comparación del agua antes y después del tratamiento	72
Tabla 57-4:	Comparación del agua antes y después del tratamiento	73
Tabla 58-4:	Procedimiento para el monitoreo y muestreo del caudal.....	74
Tabla 59-4:	Otros equipos usados en el laboratorio.....	74
Tabla 60-4:	Costos del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Pelambre	75
Tabla 61-4:	Costos Químicos.....	76

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Georreferenciación de la Curtiduría “Curtial”	5
Figura 2-1:	Filtro recuperador de pelo de la Curtiduría “Curtial”	8
Figura 3-1:	Captación de agua residual de los bombos de la Curtiduría “Curtial”	8
Figura 4-3:	Resultados obtenidos en el software Hcanales.....	37
Figura 5-3:	Forma de rejillas	40

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1-2:	Diagrama de flujo del proceso de ribera para la fabricación de gelatinas	9
Gráfica 2-4:	Análisis comparativo de los resultados de la caracterización del agua tratada con el AM 097-A	72
Gráfica 3-4:	Porcentaje de remoción de parámetros contaminantes	73

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE

ANEXO B: PRUEBAS DE TRATABILIDAD

ANEXO C: SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL IMPLEMENTADO A LA CURTIDURÍA “CURTIAL”

ANEXO D: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE

ANEXO E: CANAL Y REJILLAS PARA CAPTACIÓN DE AGUA RESIDUALES DE PELAMBRE

ANEXO F: DIMENSIONAMIENTO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO

ANEXO G: DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE AIREACIÓN

ANEXO H: DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE COAGULACIÓN –
FLOCULACIÓN

ANEXO I: DIMENSIONAMIENTO DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO

ANEXO J: DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO VERTICAL

ANEXO K: FICHA TÉCNICA DEL DIFUSOR

ANEXO L: FICHA TÉCNICA DEL SOPLADOR

ANEXO M: FICHA TÉCNICA DEL MOTOR Y PALETAS

ANEXO N: RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE

ANEXO O: RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL TRATADA DE PELAMBRE

RESUMEN

El objeto del presente estudio fue diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para la Curtiduría “Curtial” puesto que el efluente generado en la etapa de ribera es descargado al alcantarillado sin un tratamiento adecuado. Para ello, se realizó el muestreo tomando como referencia el punto de descarga de los bombos para posteriormente realizar la caracterización físico química de las muestras que permitió identificar los parámetros que se encuentran fuera de los límites máximos permisibles; obteniendo pH 11,91, Sólidos Suspendidos 849 mg/L, Sólidos Totales 2 220 mg/L, Sulfuros 449 mg/l, Sulfatos 950 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) 8 400 mg/L y Demanda Química de Oxígeno (DQO) 20 100 mg/L. En base a los datos obtenidos se procedió a encontrar el índice de biodegradabilidad con el fin de establecer el tipo de tratamiento a aplicar en las pruebas de tratabilidad obteniendo un valor de 0,42 correspondiente a un tratamiento físico-químico y/o biológico, el cual empieza con un proceso sedimentación primaria, posteriormente un proceso de oxidación en presencia de aire y 100 ppm de sulfato de manganeso utilizado como catalizador reduciendo así la cantidad de sulfuros, luego un tratamiento coagulante-floculante donde se determinó que al dosificar 250 ppm de sulfato de aluminio y 10 ppm de polielectrolito aniónico se obtiene la máxima remoción de turbidez, luego un proceso de sedimentación secundaria y finalmente una filtración logrando validar el diseño en base a los resultados obtenidos en la caracterización del agua tratada teniendo los siguientes porcentajes de remoción de los principales parámetros: 93,51 % de sulfuros, 93,15 % de DBO5 y 94,90 % de DQO cumpliendo con los parámetros establecidos con la norma ambiental vigente antes mencionada. Consecutivamente se realizó los cálculos de diseño aprovechando los tanques con los que cuenta la empresa y adecuando las rejillas al canal existente.

Palabras clave: < INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <SISTEMA DE TRATAMIENTO>, <AGUAS RESIDUALES>, <EFLUENTE DE PELAMBRE >, <CURTIDURÍA>.

LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS

Firmado digitalmente por LUIS
ALBERTO CAMINOS VARGAS
Nombre de reconocimiento
(DN): c=EC, l=RIOBAMBA,
serialNumber=060276697,
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Fecha: 2021.04.13 12:36:52
-05'00'



0993-DBRAI-UTP-2021

ABSTRACT

The purpose of this study was to design a wastewater treatment system for the Tannery "Curtial" because the effluent generated in the riverside stage is discharged into the sewer without proper treatment. For this, the sampling was carried out taking as a reference the point of discharge of the drums to subsequently carry out the physical-chemical characterization of the samples that allowed identifying the parameters that are outside the maximum permissible limits; obtaining pH 11.91, Suspended Solids 849 mg / L, Total Solids 2 220 mg / L, Sulfides 449 mg / L, Sulfates 950 mg / L, Biochemical Oxygen Demand (BOD5) 8 400 mg / L and Chemical Oxygen Demand (COD) 20 100 mg / L. Based on the data obtained, the biodegradability index was found to establish the type of treatment to be applied in the treatability tests, obtaining a value of 0.42 corresponding to a physical-chemical and / or biological treatment, which begins with a primary sedimentation process. Subsequently an oxidation process in the presence of air and 100 ppm of manganese sulfate used as a catalyst, thus reducing the amount of sulfides. Then a coagulant-flocculant treatment where it was determined that by dosing 250 ppm of aluminum sulfate and 10 ppm of anionic polyelectrolyte the maximum removal of turbidity is obtained, then a secondary sedimentation process and finally a filtration, achieving validation of the design based on the results obtained in the characterization of the treated water, having the following removal percentages of the main parameters: 93.51% of sulfides, 93.15% of BOD5 and 94.90% of COD, complying with the parameters established with the aforementioned current environmental standard. Consecutively, the design calculations were made taking advantage of the tanks that the company has and adapting the grids to the existing channel.

Keywords: <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <TREATMENT SYSTEM>, <WASTEWATER>, <HATH EFFLUENT>, <TANNING>

**NANCI
MARGARI
TA INCA
CHUNATA**

Firmado
digitalmente por
NANCI MARGARITA
INCA CHUNATA
Fecha: 2021.11.23
17:06:38 -05'00'

INTRODUCCIÓN

La industria del cuero es una de las industrias más antiguas del mundo y en especial ha ido evolucionando y ha llegado a constituirse una actividad importante tanto en la industria de curtido como en la industria alimenticia siendo productora de materia prima para la fabricación de gelatina. La industria de la gelatina opera a partir de pieles sin curtir y descarnes; es decir pieles pelambradas proveniente de ganado vacuno exentas de cromo.

Las curtidorías se caracterizan típicamente como complejas industrias en contaminación que generan aguas residuales muy variadas y de alta carga contaminante. Los principales problemas son debido a aguas residuales que contienen metales pesados y productos químicos tóxicos con alto contenido de sales disueltas y suspendidas y otros contaminantes (Uberoi, 2003, pp.69).

Las curtidorías generan aguas residuales producto de sus subprocesos en el rango de 30-35 L/ kg de piel con pH variable y altas concentraciones de sólidos en suspensión, DBO₅, DQO; además sulfuros, cal, sulfatos y proteínas en el efluente (Durai & Rajasimman, 2011, pp. 3).

Las aguas residuales provenientes del proceso de pelambre se caracterizan por una alta cantidad de DBO₅, DQO y sulfuros; además de ser muy alcalinas. Esta corriente contiene sólidos en suspensión, cal disuelta, sulfuro de sodio, alto nitrógeno amoniacal y materia orgánica (Islam et al., 2014, pp.2).

Varias técnicas físico-químicas han sido estudiados por su aplicabilidad al tratamiento de aguas residuales de curtiembres. Entre estos son coagulación, floculación, ozonización, reversa ósmosis, intercambio iónico y adsorción de carbón activado. La coagulación es un proceso ampliamente utilizado para eliminar las sustancias que producen turbidez en el agua mediante la adición de coagulantes como las sales de aluminio y de hierro son ampliamente utilizadas como coagulantes en agua y aguas residuales para el tratamiento de la misma (Song et al., 2004, pp. 250).

Cada coagulante opera con mayor eficacia en un rango de pH y muestra la máxima eliminación de contaminantes a un pH óptimo. El alcance del rango de pH se ve afectado por el tipo de coagulante utilizado y por las características de las aguas residuales, así como por la dosis de coagulante (Song et al., 2004, pp. 250).

El presente proyecto describe estudios experimentales del agua residual del proceso de ribera de la Curtidoría Curtial orientado al diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales y a la eficiencia del mismo respecto a la norma vigente con la finalidad de reducir la carga contaminante.

CAPÍTULO I

1 DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

En Ecuador, la mayor parte de las industrias de cuero se encuentran en la provincia de Tungurahua, donde se estima que, del recuento de 920.000 cabezas de ganado, 500.000 pieles se tratan en curtiembres cada año donde el principal problema es la contaminación ambiental debido a los residuos y desechos sólidos, como el pelo residual, la grasa y la carne generados que afectan los recursos hídricos de la provincia. En la actualidad, debido al elevado índice de contaminación resulta de gran importancia el estudio de estos efluentes con el fin de controlar y realizar un tratamiento adecuado (López, 2011, pp.130).

Debido al aumento de la demanda, la industria de curtiduría ha ido creciendo, en un incremento del 235% en ventas desde el año 2006 hasta el 2011 resultando nuevas industrias incorporadas al sector y al mismo tiempo el aumento de descarga de efluentes que afectan a la población que vive en los alrededores (Ministerio de Industrias y Productividad del Ecuador, 2013, pp.7).

En la industria de la gelatina es cada vez más frecuente el aprovechamiento máximo de la materia prima proveniente de las curtiembres por lo que trabajan bajo la norma de Buenas Prácticas de Manufactura estipulada en el Codex Alimentarius a fin de prevenir y controlar peligros físicos, químicos y biológicos por lo que recomiendan la utilización de agentes químicos menos contaminantes generando efluentes biodegradables (Núñez, 2015, pp. 22).

Las Curtidurías dedicadas a proveer materia prima para la elaboración de gelatina generan efluentes residuales de la etapa de ribera como son materia orgánica, sólidos suspendidos y sulfuros, los cuales resultan básicamente de los procesos de pelambre requiriendo tratamientos como aireación, sedimentación y coagulación-floculación (Muñoz, 2007, pp. 12).

La Curtiduría “Curtial” no cuenta con un sistema de tratamiento de efluentes generados antes de ser descargados al sistema de alcantarillado, teniendo así parámetros ambientales que no cumplen con la norma vigente y provocan un grave problema ligado a la contaminación de los recursos hídricos.

1.2 Justificación del proyecto

En la actualidad, las organizaciones empresariales tienen un papel importante en el cuidado del ambiente y más aún en el cuidado del agua mediante acciones para afrontar la contaminación ambiental debido a que el sector productivo del cuero utiliza una gran cantidad de agua y al mismo tiempo es contaminada por agentes químicos para ser descargada a recursos hídricos que perjudican a la salud de la población y al medio ambiente.

Mediante el diseño del sistema de tratamiento de agua residual proveniente de la industria de la curtiduría se propone una solución integral a la disminución del impacto ambiental, cumpliendo con los parámetros de la norma vigente.

Por esta razón, se beneficiarán el GAD provincial de Tungurahua, los empresarios de las curtidurías, sector público y a la sociedad en conjunto, debido a que estas entidades se encuentran en la búsqueda de la mejora continua y la solución a la contaminación generada en la industria curtiembre, con el fin de reducir el grado de contaminación de los recursos hídricos.

Además, el beneficio que este proyecto de tesis será de gran importancia a la Parroquia Totoras ya que se brindará un mejor nivel de vida a cada uno de los habitantes de la Parroquia y sectores aledaños, además de reducir la contaminación del agua y del ambiente mediante la evidencia de los resultados.

Con el propósito de cumplir con la norma vigente y disminuir el impacto ambiental de aguas residuales provenientes de las curtidurías, el presente proyecto **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIDURÍA CURTIAL DE LA PARROQUIA TOTORAS - TUNGURAHUA”** tiene la finalidad de realizar el adecuado tratamiento de los efluentes antes de su descarga a la red de alcantarillado, siendo el ente para implementar medidas que contribuyan al crecimiento de la empresa, evitando la perturbación del medio ambiente.

1.3 Beneficiarios directos e indirectos

1.3.1 Beneficiarios directos

- Se considera como beneficiario directo del diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales al gerente propietario de la Curtiduría “Curtial” ya que estará cumpliendo con los

requerimientos según la norma vigente presidida por las leyes ambientales del Ministerio de Ambiente.

1.3.2 *Beneficiarios indirectos*

- La población que viven en los alrededores del Río Pachanlica se beneficiará, debido a que utilizan este recurso para diferentes actividades que en su mayor parte es destinada para la agricultura; lo cual mejoraría el cultivo de productos y la calidad del ambiente.
- La parroquia Totoras al igual que la provincia de Tungurahua mediante el adecuado tratamiento del agua residual proveniente del proceso de pelambre ayudará a mejorar la salubridad del agua consumo reduciendo el impacto ambiental.
- Los proveedores de los recursos necesarios para dicho tratamiento también resultan ser beneficiarios indirectos debido a que aumentarán las ventas y la producción de los mismos.

1.4 Localización del proyecto

El presente proyecto técnico se desarrollará en la parroquia Tototas localizada en el Cantón Ambato de la Provincia de Tungurahua; en la Curtiduría “Curtial” perteneciente al señor Edgar Aldaz ubicada en la calle vía a Cevallos, Barrio Palahua; lugar donde se realizará el muestreo, estudio e implementación del desarrollo del proyecto, teniendo como coordenadas las siguientes mostradas en la tabla 1-1.

Tabla 1-1: Coordenadas Curtiduría “Curtial”

Parámetros	Valor
Coordenadas UTM	X: -8749399.288 m
	Y: -147235.139 m
Z: Altitud	2720 msnm
Temperatura	12,5 °C

Fuente: GoogleMaps, 2020

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021



Figura 1-1: Georreferenciación de la Curtiduría “Curtial”

Fuente: GoogleMaps, 2020

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

- Diseñar un Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para la Curtiduría “Curtial” de la Parroquia Totoras – Tungurahua.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar Físico-Química el agua residual generada en la Curtiduría “Curtial” aplicando la norma ambiental vigente.
- Aplicar la prueba de tratabilidad de agua residual para las muestras que se encuentren fuera de la norma.
- Determinar los flujos, variables del proceso y tipos de tratamientos del agua residual.
- Validar el diseño a través de la caracterización del agua tratada según la normativa vigente.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Curtiembres procesadoras de pieles para fabricación de gelatina

La industria enfocada en la transformación del cuero crudo o entero de ganado vacuno para abastecer de materia prima a la industria productora de gelatina realiza procesos de pre - tratamiento y ribera.

El proceso de pelambre es una industria muy extendida que trabaja con tipos de cueros tanto ligeros como pesados. El cuero ligero y otros productos blandos son utilizados para la producción de gelatina y el cuero pesado se usa para correas, cinturones y en diversas maquinarias ((Durai & Rajasimman, 2011, pp. 1).

Las curtidurías impulsan el desarrollo económico local, pero provocan una grave contaminación ambiental; de ahí que sea fundamental mejorar la evaluación ambiental de este sector.

2.2 Aguas Residuales del Proceso de Pelambre

La curtiembre es una industria que genera problemática ambiental debido a que la descarga de efluentes contamina cuerpos de agua superficiales y subterráneas; los cuales generan malos olores provocando molestias en los sectores cercanos.

Las aguas residuales del proceso de pelambre son complejas y se caracterizan por tener altos contenidos de materia orgánica y sulfuros (S^{2-}). El tratamiento de las aguas residuales de las curtidurías se realiza por métodos físicos o químicos o biológicos o una combinación de estos métodos (Durai & Rajasimman, 2011, pp. 1).

En el tratamiento de aguas residuales de la etapa de pelambre se proponen métodos de tratamiento (tratamientos primario, secundario y terciario) que se esfuerzan por eliminar varios productos químicos tóxicos, compuestos que contienen azufre reduciendo las emisiones contaminantes para satisfacer las normas más estrictas de eliminación de carga contaminante en aguas residuales (Zhao & Che, 2019, pp. 26102).

Es necesario centrarse en la reducción simultánea de DQO y DBO₅. Los procesos secundarios con oxidación son una alternativa eficiente al momento de tratar aguas residuales combinando la recirculación del agua de pelambre y su posterior tratamiento antes de desecharlo.

Además, estudios de investigación intensivos se centraron en cómo los floculantes que poseen las características de grupos aniónicos y catiónicos pueden neutralizarse, y la especie resultante puede formar una reacción química con los contaminantes de las aguas residuales de las curtidurías mejorando su eficacia en la eliminación de diversos contaminantes de las aguas residuales de las curtidurías (Zhao & Che, 2019, pp. 26102).

2.3 Curtiduría Curtial

La Curtiduría Curtial fue creada en el año de 1986, se encuentra legalmente constituida y está ubicada en Ambato, en el barrio Palahua de la parroquia Totoras. Está dirigida por el Dr. Edgar Aldás como Gerente Propietario, además del apoyo de los trabajadores a cargo del proceso de ribera. La producción inicia en la recepción de pieles de ganado vacuno, para posteriormente transformarlo a pieles pelambradas que son vendidas como materia prima para la empresa productora de gelatina GELCO.

Actualmente, la empresa cuenta con 3 bombos de pelambre y una máquina para descarnar que requiere de un consumo de energía de 4100 kwh/mes promedio obteniendo una producción promedio de 6000 pieles pelambradas por mes y utilizando los insumos químicos que se detallan a continuación en la tabla 2-2.

Tabla 2-2: Insumos químicos utilizados en el proceso de pelambre

Proceso	Insumos químicos	Masa (kg/mes)
Pelambre	Sulfuro de sodio	375
	Cal	750
	Riversal (Auxiliar de Depilación)	60

Fuente: Curtiduría Curtial, 2020

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

Con el paso del tiempo crece la responsabilidad ambiental por lo cual se hace necesario la construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales con el fin de disminuir los daños ambientales provocados en los alrededores; por lo cual la empresa realizó la adquisición del filtro

recuperador de pelos con la finalidad de recircular el efluente descargado por el canal establecido para la descarga de los bombos.

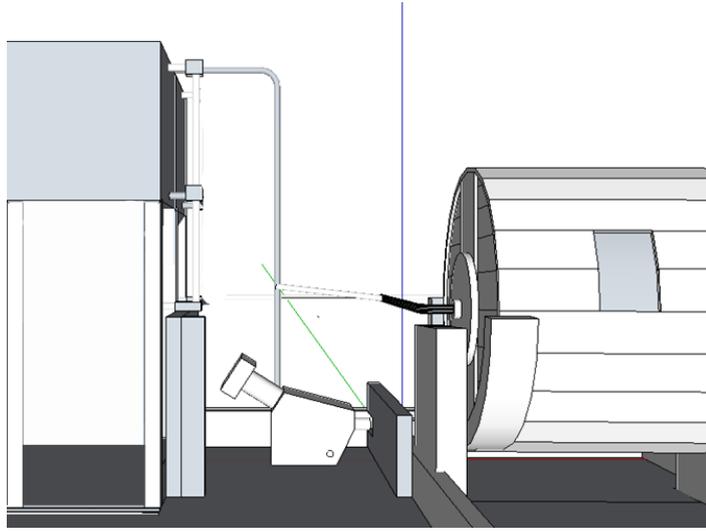


Figura 2-1: Filtro recuperador de pelo de la Curtiduría “Curtial”

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

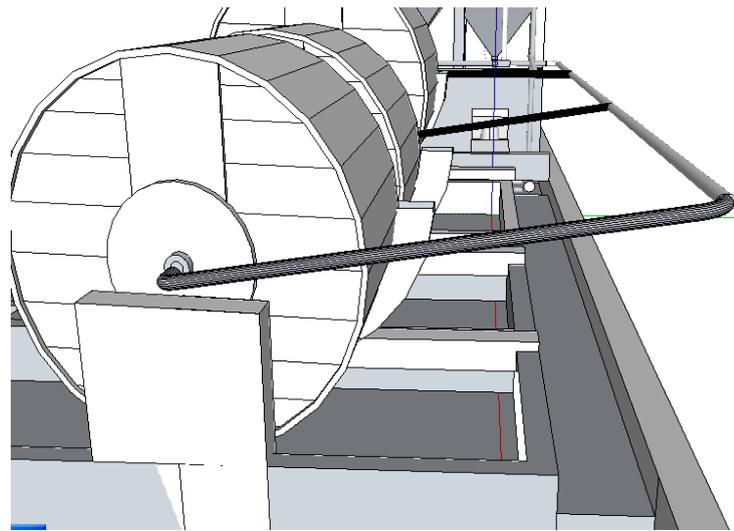
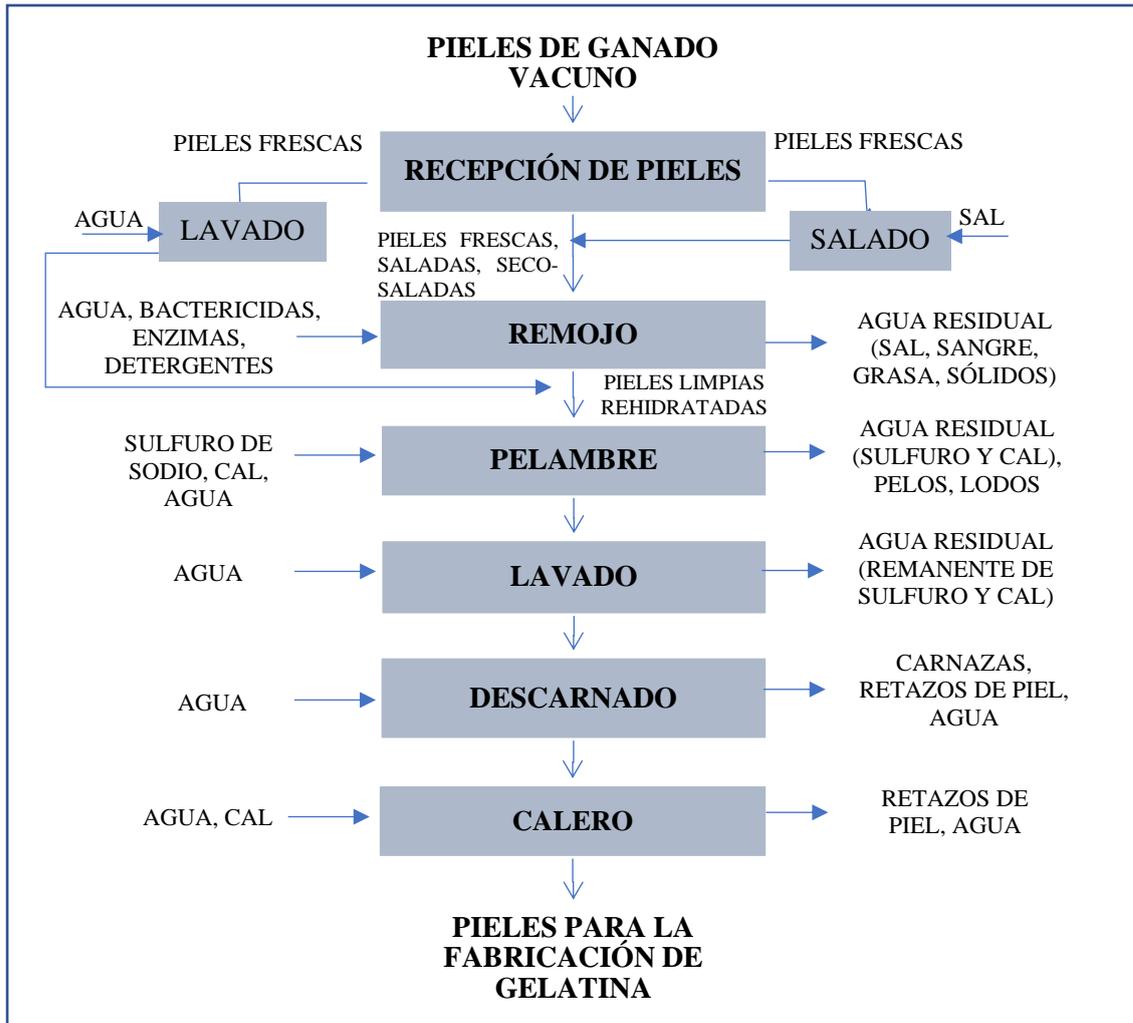


Figura 3-1: Captación de agua residual de los bombos de la Curtiduría “Curtial”

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

2.4 Proceso de Obtención de Cuero para Gelatina de la Curtiduría “Curtial”

El proceso de obtención de cuero para gelatina parte del proceso de ribera; transformando alrededor 1200 pieles de ganado vacuno que servirán para producir 100 toneladas de gelatina. El proceso empieza por la recepción de la materia prima; en este caso las pieles frescas saladas para su conservación, posteriormente son puestas en remojo para entrar a la etapa de pelambre. A continuación, se muestra el proceso de ribera en la gráfica 1-2.



Gráfica 1-2: Diagrama de flujo del proceso de ribera para la fabricación de gelatinas

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

2.4.1 Ribera

Por lo general, las curtiembres utilizan pieles de ganado vacuno saladas o frescas, donde, la transformación de las pieles constituye varias etapas dependiendo del producto final. Dentro de la etapa de ribera, las subetapas más comunes son: remojo, pelambre, lavado, desencalado, descarnado.

El proceso de ribera se basa en la preparación y acondicionamiento de las pieles previamente saladas, para posteriormente ser sometidas a varias etapas donde se aplica distintos químicos para hidratar controlando el hinchamiento de las pieles.

2.4.1.1 Etapas del Proceso de Ribera

Las operaciones del proceso de ribera involucran el uso de insumos químicos y agua; los cuales se involucran en el estudio, se detallarán a continuación las diferentes operaciones:

➤ *Recepción de pieles*

El proveedor entrega las pieles a la curtiembre; las cuales pueden ser frescas, saladas o seco – saladas. Estas pieles son apiladas y clasificadas de acuerdo a las siguientes características como son: cicatrices, cortes, tamaño, presencia de garrapatas y tupe.

➤ *Lavado*

En esta etapa se carga las pieles a los bombos o fulones, para su lavado con la finalidad retirar impurezas adheridas a las pieles como suciedad, estiércol y microorganismos y otras sustancias como sal y sangre.

➤ *Remojo*

El propósito del remojo es rehidratar las pieles, eliminar la sal y la sangre y facilitar la eliminación de proteínas no estructurales (no colágenas) y suciedad para preparar las pieles para un tratamiento posterior (Nazer et al., 2006, pp. 66).

➤ *Pelambre*

La finalidad del pelado es eliminar el pelo y la epidermis. Las pieles son tratadas con 3% de sulfuro de sodio que contiene 25% de sulfuro y 3% de cal hidratada (hidróxido de calcio) en un 200% flotador (una solución que consta de 2 l de agua por kg de pieles o cueros procesados). El sulfuro despulpa el cabello y la epidermis, la cal se utiliza como tampón para mantener el pH en alrededor de 13, lo que hace que las pieles se hinchen, la red de fibra de colágeno se abra y ayude a la eliminación de las proteínas no estructurales (Nazer et al., 2006, pp. 66).

➤ *Descarnado*

Después del proceso de pelambre, se retira restos de músculos, grasas y epidermis mediante una máquina descarnadora generando sebo como residuo.

➤ *Dividido*

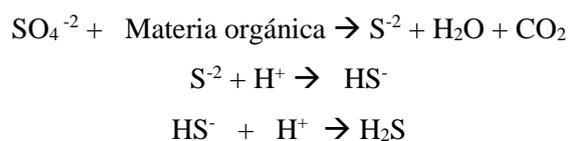
Se separa la flor de la carnaza mecánicamente por medio de cuchillas, con un previo ajuste de acuerdo al calibre que se requiera; se obtiene la flor la cual continúa la etapa 7 de curtido, y como residuo se obtiene la carnaza que se ocupa como materia prima para la elaboración de la gelatina.

➤ *Desencalado*

Permite la eliminación de la cal que se encuentra combinada con la piel y en los espacios interfibras, deteniendo el deshinchamiento de las pieles; además se ajusta el pH para el proceso de purga; mediante sulfato de amonio, sulfito de sodio, tenso-activos y desencalante.

2.5 Impacto ambiental de los productos químicos en el proceso de pelambre

El proceso de curtiduría en general emplea una importante cantidad de productos químicos. Dado que habitualmente se mezclan los flujos residuales de las distintas corrientes, la composición del efluente de la curtiduría es muy compleja. Sulfuro de sodio, utilizado en el proceso de pelambre, es uno de los más materiales peligrosos utilizados en el proceso de curtiembre. Tras la acidificación, las soluciones que contienen sulfuros liberarán gas sulfuro de hidrógeno a la atmósfera. El sulfuro de hidrógeno es la forma reducida de azufre. Está formado por la reducción de sulfato (SO_4^{-2}) iones en condiciones anóxicas (Nazer et al., 2006, pp. 68). La reducción sucede de acuerdo con las siguientes ecuaciones:



Existen muchos problemas relacionados con el uso de compuestos de azufre como la toxicidad del sulfuro de hidrógeno y su corrosividad sobre el hormigón como en las alcantarillas.

La presencia de sulfuro en las aguas residuales puede resultar en un lodo de sedimentación deficiente además del olor a hidrógeno sulfuro (Nazer et al., 2006, pp. 67).

2.6 Tratamiento de las Aguas Residuales en la Industria de Curtiembre

Por lo general, en el caso de las plantas de tratamiento de efluentes comunes que dan servicio a las empresas de tenerías, a menudo se encuentran en los países en desarrollo, es esencial tener unidades de pretratamiento instaladas en las curtidurías individuales. Su función es eliminar partículas grandes, arena / arenilla y grasa, pero también reducir significativamente el contenido de cromo y sulfuros antes de que el efluente se descargue en la red de recolección (Buljan & Clonfero, 2011, p 11).

El tratamiento preliminar de las aguas residuales se basa en la separación mediante tamices de barra media (tamices con espaciamentos entre barras de 15-50 mm), la separación de arena en tanques de sedimentación simples o desarenadores y trampas de grasa o desengrasadores (Sonune & Ghate, 2004, pp. 57)

2.6.1 Tratamiento Primario

El objetivo aquí es la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables por sedimentación, y la eliminación de materiales que flotarán (escoria) por desnatado. Aproximadamente el 25-50% de la demanda de oxígeno bioquímico entrante (DBO5), el 50-70% del total de sólidos en suspensión (SS) y el 65% del aceite y la grasa se elimina durante el tratamiento primario. Los efluentes y lodos de la sedimentación primaria son referido como efluente primario y lodo (Buljan & Clonfero, 2011, pp 11).

2.6.1.1 Sedimentación

Es muy importante utilizar tanque de sedimentación para tener sólidos más pesados en el fondo por acción de la gravedad disminuyendo así la demanda bioquímica de oxígeno y los sólidos sedimentables existentes. Esto es logrado mediante a la estructura inclinada que hace que los sólidos sedimente por acción de la gravedad. En la práctica, para no se arriesgarse, el volumen del tanque de compensación corresponde a la descarga total diaria de efluentes (Buljan & Clonfero, 2011, pp 17).

El principal objetivo en esta etapa es la remoción de sólidos en suspensión; sin embargo, aquí también se separan varios componentes como grasas, ceras, aceites minerales, materiales flotantes no grasos, etc. ("grasa"), que aún no se han eliminado en la cámara de arenilla y aceite (normalmente colocada entre el tamizado y la compensación) (Buljan & Clonfero, 2011, pp. 21).

Los tanques de sedimentación primarios (clarificadores) son circulares (más comúnmente usados) o rectangulares con eliminación de grasa (espuma) en la parte superior y eliminación de lodos en la parte inferior.

2.6.1.2 Oxidación

Los efluentes que se generan mediante el proceso de Curtido tienen alta carga de DQO, DBO, Sulfuros y Olor. La oxidación por aireación se ha utilizado para eliminar el sulfuro y la DQO. La eliminación de sulfuro del efluente de la curtiduría puede ser alcanzado lentamente por aireación normal e inyección de oxígeno y más rápidamente en presencia de un catalizador como el $MnSO_4$ teniendo una eficiencia máxima de eliminación de DQO y Sulfuros (Kothiyal et al., 2016, pp. 526)

La duración de la oxidación depende de la cantidad de sulfuros y pH. La duración de la oxidación es mayor cuando la cantidad de sulfuro y el pH son más altos. La duración del proceso se alarga cuando la temperatura es muy baja o muy alta en comparación a la temperatura ambiente. La oxidación de sulfuros es más rápida que la re-reducción de especies de azufre oxidadas. Los estudios piloto demuestran que la oxidación de sulfuros usando $MnSO_4$ como catalizador es más efectiva que el sulfato ferroso. La suma de los resultados de las aguas residuales de la curtiduría da mejores resultados en desulfuración, 60% de azufre oxidado (Kothiyal et al., 2016, pp. 526).

2.6.1.3 Coagulación, Floculación

Se agregan químicos para mejorar y acelerar la sedimentación de sólidos en suspensión, especialmente de finos y materia coloidal (Buljan & Clonfero, 2011, pp. 18).

En las operaciones de tratamiento de aguas residuales, los procesos de coagulación y floculación se emplean para separar sólidos suspendidos del agua. Son dos procesos distintos que se llevan a cabo como una combinación de procedimientos físicos y químicos. Los sólidos finamente dispersos (coloides) suspendidos en aguas residuales son estabilizados por cargas eléctricas negativas en sus superficies, lo que hace que se repelan entre sí. Dado que esto previene estas partículas cargadas chocan para formar masas más grandes, llamadas flóculos, no se depositan (Buljan & Clonfero, 2011, pp. 18).

Se requiere una mezcla rápida para dispersar el coagulante en todo el líquido. Se debe tener cuidado de no sobredosificar los coagulantes ya que esto puede causar una inversión de carga completa y, por lo tanto, volver a estabilizar el complejo coloide (Buljan & Clonfero, 2011, pp. 11).

Los coagulantes más utilizados en el tratamiento de efluentes de tenerías son:

- alumbre: sulfato de aluminio industrial $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$
- sulfato de hierro: industrial $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
- cloruro de hierro: industrial $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
- cal: hidróxido de calcio industrial $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Buljan & Clonfero, 2011, pp. 11).

La floculación es la acción de los polímeros para formar puentes entre flóculos y unir partículas en grandes aglomerados o grumos. En este proceso, es esencial que el agente floculante se agregue mediante una mezcla suave y lenta para permitir el contacto entre los flóculos pequeños y aglomerarlos en partículas más grandes. Las partículas aglomeradas recién formadas son bastante frágiles y pueden romperse por fuerzas de cizallamiento durante la mezcla. También se debe tener cuidado de no sobredosificar el polímero, ya que esto provocaría problemas de sedimentación / clarificación (Buljan & Clonfero, 2011, pp. 19).

Los floculantes son polielectrolitos orgánicos (aniónicos) solubles en agua que favorecen la aglomeración de materia en suspensión coloidal y muy fina, lo que mejora el impacto de la coagulación (Buljan & Clonfero, 2011, pp. 11).

Una vez que las partículas en suspensión se floculan en partículas más grandes, por lo general se pueden eliminar del líquido por sedimentación, filtración, colado o flotación.

Para obtener resultados óptimos, es esencial la dosificación adecuada; No debe pasarse por alto que, además de los costos, estos productos químicos también influyen no solo en el pH (acidificación) sino también en los TDS (Buljan & Clonfero, 2011, pp. 19).

2.6.1.4 Filtración

La unidad de filtración resulta eficaz al final del tratamiento primario de aguas residuales del proceso de pelambre antes de la disposición final o para ser reutilizadas nuevamente para el proceso.

El filtro de arena, grava y carbón activo se enfocan debido a su simplicidad, rentabilidad y bajo requerimiento de área. El filtro de arena es capaz de eliminar contaminantes tanto físicos como biológicos, sin embargo, la eficiencia del tratamiento puede ser limitada. Por lo tanto, la adición de adsorbentes como carbón activo con filtro de arena puede resultar una tecnología prometedora y robusta que aumenta tanto la eficiencia como la longevidad de la planta de tratamiento. Tiene un alto potencial de eliminación de DQO, TDS, TSS y dureza total (Samal, et al. 2020, pp. 2).

La coagulación y sedimentación son necesarias antes de la filtración con arena y carbón activo, y luego seguidas de desinfección para cumplir con los criterios establecidos en la legislación ambiental para la reutilización en los procesos y la mayoría de los estándares internacionales de aguas grises para el lavado y riego de inodoros (Noutsopoulos et al., 2018, pp. 340).

Al combinar carbón activado con una columna de filtro de arena a escala de laboratorio en las condiciones óptimas de operación, el porcentaje de remoción de DQO son 91.85% y 90% (Patel et al., 2020, pp. 7).

Los materiales disponibles localmente como medio filtrante para una planta piloto de un sistema de tratamiento constan de una primera capa era de grava (10-15 mm) de profundidad 10 cm, seguido de zeolita de profundidad 20 cm. Del mismo modo, la tercera capa consistió en una capa de carbón activado de 10 cm de profundidad y finalmente seguido de arena fina (0,5-1 mm) de profundidad 20 cm (Samal, et al. 2020, pp. 4).

2.7 Tratamientos secundarios o biológicos

En la mayoría de los casos, el tratamiento secundario sigue al tratamiento primario, cuyo objetivo es la remoción de materia orgánica biodegradable disuelta y coloidal mediante procesos de tratamiento biológico aeróbico.

El tratamiento se lleva a cabo en presencia de oxígeno por microorganismos aeróbicos (principalmente bacterias) que metabolizan la materia orgánica en las aguas residuales, produciendo así más microorganismos e inorgánicos productos finales. Se utilizan varios procesos biológicos aeróbicos para tratamiento y las diferencias entre ellos tienen que ver principalmente con la forma en que el oxígeno es suministrado a los microorganismos y con la velocidad a la que los organismos metabolizan la materia orgánica (Buljan & Clonfero, 2011, pp. 11).

En el proceso aeróbico, la velocidad de descomposición es más rápida que en el proceso anaeróbico y no se acompaña de olores desagradables, mientras que, en el proceso anaeróbico, se requiere un período de detención más prolongado y produce olores desagradables.

Los procesos utilizados con mayor frecuencia para el tratamiento biológico de las aguas residuales de las curtidurías son el proceso de lodos activados y el proceso de manto de lodo anaeróbico de flujo ascendente. En general, el tratamiento basado en ASP se considera que consume mucha energía y es caro desde el punto de vista de la operación y el mantenimiento. Por otro lado, los procesos anaeróbicos afirman ofrecer varias ventajas, especialmente en condiciones climáticas tropicales (Durai & Rajasimman, 2011, pp. 4).

2.8 Marco Legal

2.8.1 Constitución Política de la República del Ecuador

Registro Oficial N° 449 del 20 de octubre del 2008 Título II: DERECHOS, Capítulo segundo: Derechos del buen vivir, Sección segunda: Ambiente sano.

“Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados” (Texto Constitucional, 2008, pp. 24).

“Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua. Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la 25 soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional” (Texto Constitucional, 2008, pp. 24).

2.8.2 Ley Orgánica de Salud del Ecuador

“Art. 104.- Todo establecimiento industrial, comercial o de servicios, tiene la obligación de instalar sistemas de tratamiento de aguas contaminadas y de residuos tóxicos que se produzcan por efecto de sus actividades. Las autoridades de salud, en coordinación con los municipios, serán responsables de hacer cumplir esta disposición.” (Congreso Nacional, 2006, p.20).

2.8.3 Ley de Prevención y Control de Contaminación Ambiental del Ecuador

“Art. 6.- Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que

contengan contaminantes que sean nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades.” (Congreso Nacional, 2004, pp. 2).

2.8.4 Ley de Gestión Ambiental del Ecuador

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

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

2.8.5 Acuerdo ministerial No. 097-A Refórmese el texto unificado de legislación ambiental secundaria.

Registro Oficial No. 387 de noviembre del 2015 Según las disposiciones generales del Acuerdo ministerial 097 A (2015) posee el siguiente anexo: ANEXO 1 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua.

- Normas generales para descarga de efluentes, al sistema de alcantarillado y a los cuerpos de agua.
- Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para descarga de efluentes al sistema de alcantarillado.
- Límites permisibles, disposiciones y prohibiciones, para descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor (Acuerdo ministerial 097 A, 2015, pp. 20).

Las descargas al sistema de alcantarillado provenientes de actividades sujetas a regularización, deberán cumplir, al menos, con los valores establecidos en el Anexo 1 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua del AM 097A, Reforma del Libro VI del TULSMA. Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público (Ministerio del Ambiente, 2015, pp. 20).

A continuación, se detalla en la tabla 2-3 los límites máximos permisibles según la Norma anteriormente mencionada.

Tabla 2-3: 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 Suspendedos Totales	SST	mg/l	220,0
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600,0
Sulfatos	SO ₄ ⁻²	mg/l	400,0
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40,0
Tensoactivos	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2015

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ingeniería del proyecto

El presente proyecto se dividirá en cuatro etapas: inicialmente, en la primera etapa se realizará la toma y almacenamiento de muestras, posteriormente en la segunda etapa se realizará la caracterización físico - química de las muestras de agua residual de la curtiduría “Curtial” en el Laboratorio de Calidad de Agua de la ESPOCH, luego en la tercera etapa se procederá con las pruebas de tratabilidad para obtener el tratamiento adecuado y finalmente, en la cuarta etapa se realizará los cálculos de ingeniería para el dimensionamiento y validación del sistema de tratamiento de agua residual.

3.1.1 Tipo de estudio

El presente proyecto se basa en un estudio técnico debido a que se realizan varias experimentaciones con el fin de obtener el mejor tratamiento para reducir el contenido de sulfuro y otros contaminantes del agua residual del proceso de pelambre a partir de procesos de oxidación, coagulación y floculación donde se establece las dosis y concentraciones del catalizador, coagulante y floculante; cumpliendo así con los límites permisibles de los parámetros dentro de la norma vigente. Dentro del dimensionamiento se realiza los cálculos de diseño considerando el caudal de diseño, el volumen y dimensión de los tanques y equipos a utilizar en el diseño de tratamiento de agua residual.

3.1.2 Métodos y Técnicas

3.1.2.1 Métodos

Para el diseño del sistema de tratamiento para la curtiduría “Curtial” se ha tomado en consideración los siguientes métodos investigativos:

- **Método inductivo:** Es un método experimental que se basa en un estudio que parte de ideas específicas para llegar a una amplia conclusión. Mediante la aplicación de dicho método nos

permitirá obtener datos de los parámetros a analizar y así identificar aquellos que están fuera de los límites permisibles de la norma vigente a partir del muestreo y caracterización físico-química del agua residual de la curtiduría, teniendo el punto de partida para aplicar los posibles tratamientos y comparar dichos datos.

- **Método deductivo:** Es un método que utiliza ideas generales para llegar a una conclusión específica. Al aplicar este método, mediante los datos obtenidos de la caracterización y la revisión bibliográfica de los diseños factibles se logrará hallar el tratamiento adecuado que permita disminuir la carga contaminante de agua residual teniendo así parámetros dentro de la norma vigente.
- **Método experimental:** Es un método práctico que se realiza bajo control y se manipulan variables a partir de una variable dependiente. Este método es aplicado a nivel de laboratorio donde se obtendrá datos reales de los parámetros de la caracterización del agua residual antes y después de su tratamiento que servirán para identificar el tratamiento más adecuado en base a su eficiencia y porcentaje de remoción.

3.1.2.2 Técnicas

Las técnicas utilizadas para el presente proyecto son fundamentales para la ejecución del estudio propuesto para lo cual se considera los siguientes:

- NTE INEN 2176:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO
- NTE INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.
- Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales; APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21° EDICIÓN

3.1.3 Toma y almacenamiento de muestra

La toma de muestras se realizará in-situ, en la curtiduría “Curtial”, de acuerdo a las normas INEN 2176 e INEN 2169 para el muestreo y almacenamiento de acuerdo al procedimiento mostrado en la tabla 4-3.

Para obtener una muestra representativa, se tomará muestras directamente del punto de descarga de los bombos en un momento dado, las cuales se sellarán y etiquetarán correctamente con los datos de fecha, lugar y temperatura para posteriormente almacenarlas en contenedores libres de humedad.

Tabla 4-3: Muestreo y almacenamiento según las normas INEN 2176 y la INEN 2176

Materiales	Equipos
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Guantes desechables ✓ Envases de vidrio ✓ Envases de plástico ✓ Envase estéril 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Equipo de protección personal
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Tomar las muestras en el centro del canal o colector de preferencia en lugares donde el flujo sea turbulento a fin de asegurar un buen mezclado. ✓ Si se va a evaluar contenido de grasas y aceites se deben tomar porciones, a diferentes profundidades, cuando no haya mucha turbulencia para asegurar una mayor representatividad. ✓ El recipiente muestreador se debe enjuagar repetidas veces con el agua por muestrear antes de efectuar el muestreo. En muestras que se van a analizar parámetros físicos y químicos se debe llenar los recipientes por completo. ✓ Para la preservación de muestras, los recipientes no se deben llenar completamente, las muestras se deben guardar a temperaturas más bajas a las que fueron recolectadas. La refrigeración es efectiva si se la realiza inmediatamente después de la recolección de la muestra. 	

Fuente: NTE INEN 2176:2013, 2018

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

Posteriormente, las muestras recolectadas se llevaron al Laboratorio de Calidad de Agua de la ESPOCH para la realización de los análisis físico – químicos del agua residual y las pruebas de tratabilidad con el fin de obtener la dosis óptima que permita determinar el tratamiento adecuado para así cumplir con los límites permisibles de la norma vigente.

3.1.4 Análisis de Laboratorio

Los análisis de laboratorio se llevarán a cabo en el Laboratorio de Calidad de Agua de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo mediante métodos normalizados basados en el manual “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” y métodos HACH. A continuación se muestra los métodos estándar para la caracterización físico-química del agua residual en la tabla 5-3.

Tabla 5-3: Métodos Estándar para la caracterización físico-química del agua residual

Parámetros	Unidades	Método
ph	Und.	4500-B
Turbiedad	UNT	2130-B
Conductividad	μSiems/cm	2510-B
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B
Sulfuros	mg/L	4500-E
Sulfatos	mg/L	HACH-8051
Sólidos Suspendedos totales	mg/L	2540-C
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-F
Sólidos Totales	mg/L	2540-B
Aceites y Grasas	mg/L	EPA418,1

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua ESPOCH, 2019

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

3.1.4.1 Procedimiento para la Caracterización del agua residual

➤ **Potencial de Hidrógeno, pH**

La tabla 6-3 muestra el procedimiento para la determinación de pH del agua.

Tabla 6-3: Determinación de pH - Standard Methods 4500-B

Materiales	Reactivos
✓ pH-metro	✓ Agua residual
✓ Vaso de precipitación	✓ Agua destilada
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Verificar o calibrar el ph-metro ✓ Colocar la muestra en un vaso de precipitación. ✓ Limpiar el electrodo con agua destilada e introducir el electrodo en la muestra de agua y agitar suavemente para homogenizar. ✓ Presionar el botón de medida 	
Cálculos / Resultados	
Esperar que se estabilice el valor y leer. El resultado se mostrará en la pantalla del equipo.	

Fuente: Standard Methods, 1996.

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ **Turbiedad**

La tabla 7-3 muestra el procedimiento para la determinación de turbiedad del agua; además de los materiales y reactivos a utilizar.

Tabla 7-3: Determinación de turbiedad- Método HACH 2130-B

Materiales	Reactivos
✓ Turbidímetro	✓ Agua residual
✓ Celda	✓ Agua destilada
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Llenar la celda con la muestra. ✓ Colocar la celda en el soporte de celda del equipo. ✓ Presionar el botón de medida. 	
Cálculos / Resultados	
Esperar que se estabilice el valor y leer. El resultado se mostrará en la pantalla del equipo en NTU.	

Fuente: Standard Methods, 1996.

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ **Conductividad**

La tabla 8-3 muestra el procedimiento para la determinación de conductividad del agua; además de los materiales y reactivos a utilizar.

Tabla 8-3: Determinación de conductividad - Método HACH DR 2800

Materiales	Reactivos
✓ Conductímetro	✓ Agua residual
✓ Vaso de precipitación	✓ Agua destilada
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Verificar o calibrar el equipo ✓ Colocar la muestra en un vaso de precipitación. ✓ Limpiar el electrodo con agua destilada. ✓ Introducir el electrodo en la muestra de agua. ✓ Presionar el botón de medida 	
Cálculos / Resultados	
Esperar que se estabilice el valor y leer. El resultado se mostrará en la pantalla del equipo en mSiems/cm	

Fuente: Standard Methods, 1996.

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ **Demanda Química de Oxígeno**

La tabla 9-3 muestra el procedimiento para la determinación de DQO del agua.

Tabla 9-3: Determinación de DQO - Standard Methods *5220 D

Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Espectrofotómetro y Termorreactor ✓ Pipeta ✓ Vaso de precipitación ✓ Viales de 16 mm de diámetro con tapas rosca 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agua residual ✓ Agua destilada ✓ Solución patrón de absorbancia. ✓ Solución patrón ftalato ácido de potasio.
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Preparar la solución patrón. ✓ Colocar 2mL de muestra en el vial con el reactivo. Tapar el vial y homogenizar. ✓ Precalear el termorreactor a $148 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y colocar el vial en el reactor durante dos horas. ✓ Apagar el reactor y esperar aproximadamente 20 minutos hasta que los viales se enfríen. ✓ Utilizar el método colorimétrico. Seleccionar el método y colocar el blanco en el espectrofotómetro, luego presionar cero. Colocar el vial con la muestra y presionar el botón de medida. 	
Cálculos / Resultados	
El resultado se mostrará en la pantalla del equipo en mg/l de DQO.	

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua ESPOCH, 2021

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

La tabla 10-3 muestra los el procedimiento para la determinación de DBO₅ del agua.

Tabla 10-3: Determinación de DBO₅- Standard Methods *5210 B

Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Botellas winkler de 300ml con tapa de sello ✓ Pipeta, agitador magnético ✓ Probeta, balón aforado de 100ml 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agua residual - agua destilada ✓ Ampolla de nutrientes ✓ Escamas de hidróxido de potasio.
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Diluir 100 ml de muestra en 100 ml de agua destilada en un balón aforado. ✓ Volver a diluir para obtener 200 ml de muestra diluida. ✓ Transferir 150 ml de disolución en la botella winkler y colocar una ampolla de nutrientes e ✓ En solución tapón colocar una escama de hidróxido de potasio y sellar la botella. ✓ Poner el agitador magnético en la botella y enroscar el cabezal de medición. ✓ Encender el equipo y poner la botella en la incubadora de aire. ✓ Incubar durante 5 días. Cuando se haya completado el tiempo de incubación, anotar el resultado. 	
Cálculos / Resultados	
El resultado se mostrará en la pantalla del equipo en mg/l de DBO.	

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua ESPOCH, 2021

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ **Sulfuros**

La tabla 11-3 muestra el procedimiento para la determinación de sulfuro presente en el agua.

Tabla 11-3: Determinación de sulfuros - Método Standard Methods 4500-E

Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Matraz Erlenmeyer ✓ Bureta 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agua residual ✓ HCL 6N, solución patrón de yodo ✓ Tiosulfato de sodio 0,025N, almidón
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Colocar 25 ml de muestra en el matraz. ✓ Añadir 0,5 ml de HCL 6N y 5 ml de solución patrón de yodo teniendo una coloración amarilla. ✓ Titular con tiosulfato de sodio 0,025N hasta un color amarillo pálido. ✓ Adicionar gotas de la solución de almidón resultando una coloración azul. ✓ Continuar titulando hasta obtener un color transparente. Anotar el volumen gastado. 	
Cálculos / Resultados	
<p>Los sulfuros se determinan mediante la siguiente ecuación:</p> $\frac{mg}{l} S = \frac{((A * B) - (C * D) * 16 * 1000)}{Volumen\ de\ muestra\ (mL)}$ <p>Donde: A = mL de solución de Yodo, B = Normalidad de la solución de Yodo, C = mL de solución de Tiosulfato de Sodio gastados en la titulación, D = Normalidad de la solución de Tiosulfato de Sodio</p>	

Fuente: Standard Methods, 1996.

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ **Sulfatos**

La tabla 12-3 muestra el procedimiento para la determinación de sulfato presente en el agua.

Tabla 12-3: Determinación de sulfatos - Método HACH 8051

Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Espectrofotómetro 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agua residual ✓ Agua destilada
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Llenar una celda con 10 ml de muestra y añadir el reactivo Sulfaver. Girar para disolver. Presionar el temporizador para iniciar el tiempo de reacción. ✓ Preparar el blanco con 10 ml de agua destilada en la celda y ubicarla en el soporte de la celda del equipo. Presionar cero. ✓ Colocar la celda que contiene la muestra en el soporte de la celda del equipo. Presionar el botón de medida. 	
Cálculos / Resultados	
Esperar que se estabilice el valor y leer.	

Fuente: Standard Methods, 1996.

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ **Sólidos Suspendidos totales**

La tabla 13-3 muestra el procedimiento para la determinación de sólidos suspendidos totales.

Tabla 13-3: Determinación de sólidos suspendidos totales - APHA 2540-C

Materiales	Reactivos
✓ Espectrofotómetro	✓ Agua residual ✓ Agua destilada
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Colocar 10 ml de agua destilada en la celda y ubicarla en el soporte de la celda del equipo. Presionar cero. ✓ Llenar otra celda con 10 ml de muestra y colocar en el soporte de la celda. ✓ Presionar el botón de medida. 	
Cálculos / Resultados	
El resultado se mostrará en la pantalla del equipo en mg/l.	

Fuente: Standard Methods, 1996.

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ **Sólidos totales**

La tabla 14-3 muestra el procedimiento para la determinación de sólidos totales del agua.

Tabla 14-3: Determinación de sólidos totales - Método APHA 2540-B

Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Capsulas de porcelana. ✓ Desecador. ✓ Balanza ✓ Mufla 	✓ Agua residual
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Pesar una capsula previamente tarada y calentada a temperatura 103-105 °C. ✓ Agitar la muestra de agua para homogenizar. ✓ Colocar 25 ml de muestra en la caja Petri y dejar que se evapore completamente a baño maría. ✓ Colocar en la estufa y posteriormente enfriar en el desecador. ✓ Pesar la caja Petri. ✓ Repetir el proceso hasta llegar a peso constante. 	
Cálculos / Resultados	
<p>Los sólidos totales se determinan mediante la siguiente ecuación:</p> $\frac{mg}{l} ST = \frac{((A - B) * 1000)}{Volumen\ de\ muestra\ (mL)}$ <p>Dónde: A=Peso de la cápsula + residuo seco (mg), B= Peso de la cápsula vacía (mg)</p>	

Fuente: Standard Methods, 1996.

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ **Sólidos Sedimentables**

La tabla 15-3 muestra el procedimiento para la determinación de sólidos sedimentables presentes en el agua.

Tabla 15-3: Determinación de sólidos sedimentables - APHA 2540-F

Materiales	Reactivos
✓ Cono Imhoff	✓ Agua residual
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agitar la muestra para homogenizar. ✓ Colocar 1000 ml de muestra en el cono Imhoff. ✓ Dejar reposar por aproximadamente dos horas. 	
Cálculos / Resultados	
Anotar el volumen de sólidos sedimentables en mg/l.	

Fuente: Standard Methods, 1996.

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ **Aceites y grasas**

La tabla 16-3 muestra el procedimiento para la determinación de aceites y grasas en el agua.

Tabla 16-3: Determinación de aceites y grasas - Método EPA418,1

Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Embudo de separación ✓ Caja petri 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agua residual ✓ Hexano
Procedimiento	
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Colocar 200 mL de muestra en un embudo de separación. ✓ Añadir 20 mL de hexano. ✓ Dejar separar las dos fases y extraer la grasa para luego colocar en una caja petri previamente pesada. ✓ Lavar con la misma muestra dos veces. ✓ Calentar la grasa a baño maría hasta su evaporación total. ✓ Pesar la caja Petri con el residuo. 	
Cálculos / Resultados	
<p>Los sólidos totales se determinan mediante la siguiente ecuación:</p> $\frac{mg}{l} GYA = \frac{(Pf - Pi) * 10^6}{Volumen de muestra (mL)}$ <p>Dónde:</p> <p>Pf = peso final de la caja petri + residuo (g)</p> <p>Pi = peso inicial de la caja petri(g)</p> <p>V = Volumen de muestra, mL</p>	

Fuente: Standard Methods, 1996.

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

3.1.4.2 Caracterización Físico-Química del agua residual descargada de la etapa pelambre

Las muestras tomadas del proceso de pelambre en la curtiduría “Curtial” fueron analizadas en el Laboratorio de Calidad de Agua de la ESPOCH con la finalidad de identificar los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles según la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A, Reforma del Libro VI del TULSMA, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público. A continuación, en la tabla 17-3 se muestra los valores promedios obtenidos de varias muestras con el fin de obtener de disminuir el error aleatorio:

Tabla 17-3: Caracterización del agua residual del proceso de pelambre de la Curtiduría “Curtial”

Parámetros	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Límite máximo permisible (Reforma 097-A)
		22/12/2020	05/01/2021	12/01/2021		
pH	-	11,97	11,85	11,92	11,91	6-9
Turbiedad	NTU	890,00	658,00	825,00	791,00	-
Temperatura	°C	21,00	21,00	21,00	21,00	Condición natural ±3,00
Conductividad	µS/cm	10 450,00	8 020,00	10 250,00	9570,00	-
DBO ₅	mg/L	8 740,00	8 120,00	8 340,00	8 400,00	250,00
DQO	mg/L	22 000,00	18 200,00	20 100,00	20 100,00	500,00
Sólidos Sedimentables	mL/L	3,00	1,00	3,00	2,00	20,00
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	1 020,00	702	825,00	849,00	220,00
Sólidos Totales	mg/L	2 900,00	1 800,00	1 940,00	2 220,00	1600,00
Sulfatos	mg/L	1 050,00	848,00	952,00	900,00	400,00
Sulfuros	mg/L	450,00	448,00	448,00	449,00	1,00
Aceites y grasas	mg/L	14,30	13,00	14,10	14,00	70,00

Fuente: Laboratorio de Calidad de Agua ESPOCH, 2020

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

3.1.5 Pruebas de Tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad se realizaron para el agua residual descargada del proceso de pelambre en el Laboratorio de Calidad de Agua de la ESPOCH mediante la utilización de coagulantes como sulfato de manganeso, sulfato de aluminio, policloruro de aluminio, cloruro férrico y floculantes catiónicos, aniónicos y no iónicos a diferentes concentraciones simulando procesos de coagulación, floculación y sedimentación donde se determinó la dosis óptima para su tratamiento.

3.1.5.1 Índice de biodegradabilidad

El índice de biodegradabilidad nos permite definir del tipo de tratamiento a realizar para el agua residual procedente del proceso de pelambre, este puede ser un tratamiento físico-químico, biológico o una combinación de ambos a partir de la relación entre la DBO₅ y la DQO como se muestra en la tabla 18-3.

Tabla 18-3: Índice de biodegradabilidad

DBO₅/DQO	Biodegradabilidad	Tipo de tratamiento
> 0,5	Muy biodegradable	Tratamiento biológico
0,2– 0,5	Biodegradable	Tratamiento biológico y/o físico químico
< 0,2	Poco biodegradable	Físico - Químico

Fuente: Sierra et al., 2011

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ Cálculo del índice de biodegradabilidad del agua de Pelambre

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = \frac{DBO_5}{DQO}$$

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = \frac{8400 \text{ mg/L}}{20100 \text{ mg/L}}$$

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = 0,42$$

3.1.5.2 Elección del tipo de tratamiento

A partir del resultado obtenido del índice de biodegradabilidad para el agua de pelambre, teniendo un valor de 0,42, por lo que se optó por un tratamiento físico-químico debido a que el efluente utiliza químicos biodegradables; para lo cual se realizó diferentes pruebas a nivel de laboratorio con el fin de reducir la carga contaminante.

3.1.5.3 Elección de la dosis de MnSO₄ con aireación

Inicialmente se realizó un proceso de aireación durante 6 horas añadiendo diferentes concentraciones de sulfato de manganeso para determinar el tiempo necesario y la concentración adecuada con la finalidad de lograr disminuir la concentración de sulfuros.

Tabla 19-3: Elección de dosis de MnSO₄ con aireación

Muestra	Concentración MnSO ₄ (ppm)	Sulfuro Inicial (mg/L)	Tiempo de Aireación					
			Sulfuros (mg/L)					
			1h	2h	3h	4h	5h	6h
1	25	449	410	390	372	308	288	212
2	75	449	352	321	289	254	212	173
3	100	449	284	210	184	128	96	68
4	200	449	420	408	385	348	320	288

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

Según los resultados obtenidos en la tabla 19-3 se encontró óptimo dosificar 100 ppm de sulfato de manganeso en un tiempo de aireación de 6 horas disminuyendo una gran cantidad de sulfuros de 449 mg/L a 68 mg/L.

3.1.5.4 Elección del coagulante en el agua de Pelambre

Para determinar la dosis óptima y el coagulante adecuado, se utilizó 1 litro de muestra de agua residual y se ajustó su pH a 8 teniendo una turbiedad de 780 mg/L con el fin de obtener una coagulación eficaz y por ende una mejor clarificación con diferentes coagulantes. Durante las diferentes pruebas, se mantuvo condiciones de agitación de 200 rpm durante 5 minutos y posteriormente 40 rpm por 15 minutos.

Tabla 20-3: Elección del coagulante en el agua residual de “Pelambre”

# Muestra	Coagulante	ppm	MnSO ₄ ppm	Tiempo de sedimentación						Flóculos
				1 h		2 h		3 h		
				pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	
1	PAC	250	100	7,26	738	7,15	712	7,1	628	(+)
2	Al ₂ (SO ₄) ₃	250	100	6,96	592	6,74	531	6,71	515	(+++)
3	FeCl ₃	250	100	7,59	613	7,45	603	7,38	582	(++)

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

Donde:

(+++): Flóculo que precipita rápido y completamente.

(++): Flóculo bien formado que se sedimenta lento o no sedimenta

(+): Flóculos pequeños y precipita con lentitud

Según los datos obtenidos en la tabla 20-3, se obtuvo que en la muestra 2 el mejor coagulante es el sulfato de aluminio; siendo el reactivo más eficiente para remover mayor cantidad de sólidos en suspensión disminuyendo los valores de turbiedad de 780 mg/L a 515 mg/L y de pH de 8 a 6,71.

3.1.5.5 Elección del pH óptimo

Después de haber elegido el coagulante adecuado se procedió a disminuir el pH hasta encontrar el valor que mejor se adapte a la acción del coagulante para el tratamiento del agua residual. El ajuste de pH se realizó mediante la adición de ácido clorhídrico teniendo una turbiedad inicial de 515 mg/L.

Tabla 21-3: Elección del pH optimo del agua residual de “Pelambre”

# Muestra	pH Inicial	MnSO ₄ Ppm	Al ₂ (SO ₄) ₃ ppm	Tiempo de sedimentación						Flóculos
				1 h		2 h		3 h		
				pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	
1	6	100	300	5,98	472	5,93	333	5,85	315	(+)
2	6,5	100	300	6,41	481	6,15	431	5,9	214	(+)
3	7	100	300	6,36	455	6,12	245	6,07	155	(+++)
4	7,5	100	300	6,82	578	6,75	503	6,38	412	(++)
5	8	100	300	6,96	592	6,74	531	6,71	454	(+)
6	8,5	100	300	8,41	641	8,35	503	8,19	492	(-)

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

Donde:

(+++): Flóculo que precipita rápido y completamente.

(++): Flóculo bien formado que se sedimenta lento o no sedimenta

(+): Flóculos pequeños y precipita con lentitud

En la tabla 21-3 se muestra que en la muestra 3 el pH óptimo es 7 debido a que resulta ser la prueba que remueve mayor cantidad de sólidos suspendidos de acuerdo a la turbiedad baja obtenida durante 3 horas con un valor de 155 mg/L y un pH de 6,07.

3.1.5.6 Elección de la dosis de sulfato de aluminio a pH constante de 7

Posteriormente se realizó las pruebas para definir la dosis óptima de coagulante; la cual debe representar el menor consumo de coagulante y al mismo tiempo una menor turbidez.

Tabla 22-3: Dosis del coagulante $Al_2(SO_4)_3$ a un pH de 7

# Muestra	pH Inicial	MnSO ₄ Ppm	Al ₂ (SO ₄) ₃ ppm	Tiempo de sedimentación						Flóculos
				1 h		2 h		3 h		
				pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	
1	7	100	220	6,93	515	5,93	506	5,9	476	(+)
2	7	100	240	6,8	562	6,45	523	6,22	504	(+)
3	7	100	250	6,58	463	6,1	394	6	175	(+++)
4	7	100	260	6,43	460	6,75	280	6,38	212	(++)

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

Donde:

(+++): Flóculo que precipita rápido y completamente.

(++): Flóculo bien formado que se sedimenta lento o no sedimenta

(+): Flóculos pequeños y precipita con lentitud

Según los datos obtenidos en la tabla 22-3 se determinó que después de tres horas en reposo, la muestra 3 con una concentración de 250 ppm presenta el valor más bajo de turbidez disminuyendo de 515 mg/L a 175 mg/L resultando así una dosis adecuada; la cual representa un menor consumo de coagulante y una eficaz acción del coagulante.

3.1.5.7 Elección del floculante a 250 ppm de $Al_2(SO_4)_3$ y pH constante de 7

Para elegir el floculante, se realizó pruebas con las condiciones establecidas anteriormente para obtener el floculante que mejor aglomere las partículas desestabilizadas en flóculos.

Tabla 23-3: Elección del floculante a 80 ppm de $Al_2(SO_4)_3$ y pH constante de 7

# Muestra	Floculante	ppm	MnSO ₄ Ppm	Al ₂ (SO ₄) ₃ ppm	Tiempo de sedimentación						Flóculos
					1 h		2 h		3 h		
					pH	NTU	pH	NTU	pH	NTU	
1	Aniónico	10	100	250	6,93	85	6,83	74,2	6,75	61,6	(+++)
2	Catiónico	10	100	250	6,9	57,5	6,95	57,4	6,85	57,4	No reacciona
3	No iónico	10	100	250	7	57,5	6,86	61,5	6,81	62,3	No reacciona

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

Según los datos obtenidos en la tabla 23-3 se determinó que en la muestra 1 el floculante aniónico es más eficiente en el tratamiento del agua residual debido a que se redujo la turbiedad de 175 mg/L a 61,6 mg/L, caso que no sucede con los otros floculantes ya que su turbiedad aumentó. Además, se eligió una dosis mínima de floculante con el fin de reducir costos; no obstante presenta buenos resultados.

3.1.6 Determinación experimental del caudal de diseño

Para la determinación del caudal de diseño del agua residual de la curtiduría “Curtial” se procedió mediante el método volumétrico, tomando en cuenta solamente el efluente resultante del proceso de pelambre debido a que no se realiza el proceso de curtido en la empresa. A continuación, se encuentra el procedimiento para la determinación del caudal de diseño.

Tabla 24-3: Determinación del caudal de diseño- Standard Methods

Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Recipiente volumétrico ✓ Cronómetro 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Agua residual
Procedimiento	
Llenar el recipiente con agua residual y tomar el tiempo que tarda en llenarse dicho recipiente.	
Cálculos / Resultados	
<p>El caudal de diseño se determina mediante la siguiente ecuación:</p> $Q = \frac{V}{t}$ <p>Dónde: V= Volumen del recipiente (L) T= Tiempo (s)</p>	

Fuente: Standard Methods, 1996.

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

3.1.6.1 Datos del monitoreo de caudal

Para determinar el caudal del agua residual resultante de la etapa de pelambre se realizó mediciones mediante el método volumétrico en el punto de descarga de los bombos; donde se procedió a llenar el recipiente previamente esterilizado cada media hora en la mañana durante 5 días en la curtiduría “Curtial” teniendo mayor caudal los días lunes, miércoles y viernes. A continuación se detalla los datos obtenidos del día 1 en la tabla 25-3, día 2 en la tabla 26-3, día 3 en la tabla 27-3, día 4 en la tabla 28-3 y día 5 en la tabla 29.3:

Tabla 25-3: Medición del caudal de agua residual de Pelambre de la curtiduría “Curtial” (Día 1)

Fecha	Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
18/01/2021	8:00	10	0,8	12,50
	8:30	10	1,3	7,69
	9:00	10	1,2	8,33
	9:30	10	1,1	9,09
	10:00	10	1,1	9,09
	10:30	10	1,3	7,69
	11:00	10	1,3	7,69
	11:30	10	1,5	6,67
Caudal Promedio (L/s)				8,59

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

Tabla 26-3: Medición del caudal de agua residual de Pelambre de la curtiduría “Curtial” (Día 2)

Fecha	Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
19/01/2021	8:00	7	2,81	2,49
	8:30	7	2,65	2,64
	9:00	7	1,82	3,85
	9:30	7	1,54	4,55
	10:00	7	1,31	5,34
	10:30	7	1,72	4,07
	11:00	7	1,1	6,36
	11:30	7	1,45	4,83
Caudal Promedio (L/s)				4,27

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

Tabla 27-3: Medición del caudal de agua residual de Pelambre de la curtiduría “Curtial” (Día 3)

Fecha	Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
20/01/2021	8:00	10	1	10,00
	8:30	10	1,2	8,33
	9:00	10	1,3	7,69
	9:30	10	1	10,00
	10:00	10	1,1	9,09
	10:30	10	1,2	8,33
	11:00	10	1,2	8,33
	11:30	10	1,2	8,33
Caudal Promedio (L/s)				8,76

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

Tabla 28-3: Medición del caudal de agua residual de Pelambre de la curtiduría “Curtial” (Día 4)

Fecha	Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
21/01/2021	8:00	10	3,39	2,95
	8:30	10	2,32	4,31
	9:00	10	2,23	4,48
	9:30	10	2,33	4,29
	10:00	10	2,15	4,65
	10:30	10	2,52	3,97
	11:00	10	1,8	5,56
	11:30	10	1,26	7,94
Caudal Promedio (L/s)				4,77

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

Tabla 29-3: Medición del caudal de agua residual de Pelambre de la curtiduría “Curtial” (Día 5)

Fecha	Hora	Volumen (L)	Tiempo (s)	Caudal (L/s)
22/01/2021	8:00	10	0,82	12,20
	8:30	10	1,3	7,69
	9:00	10	1,34	7,46
	9:30	10	1,1	9,09
	10:00	10	1,2	8,33
	10:30	10	1,13	8,85
	11:00	10	0,65	15,38
	11:30	10	0,56	17,86
Caudal Promedio (L/s)				10,86

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

A partir de los datos obtenidos de los caudales promedios diarios mostrados en la tabla 30-3, se calculó el caudal promedio de 5 días debido a que el proceso es tipo batch descargándose caudales discontinuos. Se obtuvo un caudal de 7,45 L/s.

Tabla 30-3: Caudal promedio de agua residual de Pelambre de la curtiduría “Curtial”

Día	Caudal (L/s)
Lunes	8,59
Martes	4,27
Miércoles	8,76
Jueves	4,77
Viernes	10,86
Caudal Promedio (L/s)	7,45

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

3.1.7 Cálculos de Ingeniería

3.1.7.1 Determinación del caudal de diseño

- Caudal experimental

$$Q_D = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Donde:

Q_D : Caudal de diseño; L/s

V: Volumen; L

t: Tiempo; s

$$Q_D = \frac{7,45 \text{ L}}{1 \text{ s}}$$

$$Q_D = 7,45 \text{ L/s}$$

$$Q_D = 0,00745 \text{ m}^3/\text{s}$$

El caudal de diseño a utilizar es de 7,45 L/s, valor que no está considerado con un factor de mayorización debido a que no existe un aumento de producción durante los últimos años de la empresa.

3.1.7.2 Dimensionamiento del sistema de rejillas

- Canal de entrada

La empresa cuenta con dos canales de igual altura y ancho; uno que sirve para recolectar el agua de los bombos y otro que recolecta agua residual del descarnado, los cuales se evaluaron para conocer si es necesario su rediseño mediante el programa Hcanales, el cual realiza el cálculo a partir del caudal de diseño, el cual tiene un valor de 7,45 L/s, el ancho de la solera en base al canal ya construido es de 0,55 m, además del coeficiente de rugosidad para hormigón tomado de la tabla 31-3 y el valor de la pendiente máxima de 0,05% en consideración a la ubicación del terreno en una zona plana.

Tabla 31-3: Coeficiente de Manning para canales revestidos

Material	Coefficiente de Manning (n)
Ladrillos de mortero de cemento	0,020
Hormigón, acabado con paleta, paredes lisas	0,013
Hormigón, piezas prefabricadas, sin terminar, paredes rugosas	0,015
Ladrillos, paredes bien construidas	0,013
Ladrillos, paredes rugosas	0,015
Membrana de plástico sumergida	0,027
Tablas, bien cepilladas y firmemente fijadas	0,011
Tablas, bastante derechas y sin vegetación	0,013
Tablas con crecimiento de algas/musgos	0,015

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

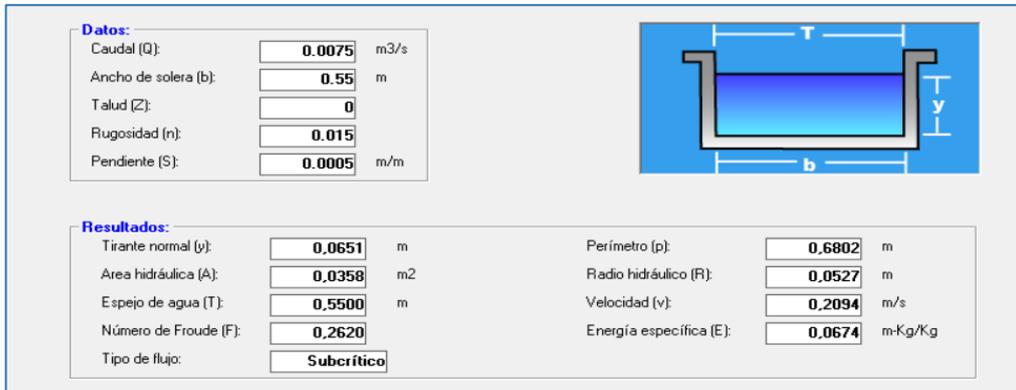


Figura 4-3: Resultados obtenidos en el software Hcanales

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

Los valores obtenidos para la altura de tirante normal y el ancho de espejo del canal de entrada son 0,0651 m y 0,55 m respectivamente teniendo que la altura del tirante tiene un valor menor al ya construido por lo cual se decide optar por las dimensiones ya establecidas para el diseño de rejillas ya que no existirá el desbordamiento del caudal. Se procede a realizar el dimensionamiento en base a la altura del tirante de 0,65 y ancho del canal de 0,55 m.

➤ Radio Hidráulico

$$R_H = \frac{b * h}{b + 2h} \tag{2}$$

Donde:

R_H : Radio hidráulico; m

b : Ancho de espejo de agua; 0,55 m

h Altura de tirante normal; 0,65 m

$$R_H = \frac{(0,55 * 0,65)m^2}{0,55 m + 2(0,65 m)}$$

$$R_H = 0,19 m$$

➤ Velocidad de flujo en el canal

$$v = \frac{1}{n} R_H^{2/3} S^{1/2}$$

(3)

Donde:

v: Velocidad de flujo en el canal; m/s

n: Coeficiente de rugosidad de Manning; 0,015 (Tabla 31-3)

R_H: Radio hidráulico; 0,19 m

S: Pendiente de fondo; 0,0005 m/m

$$v = \frac{1}{0,015} (0,19)^{2/3} (0,0005)^{1/2}$$

$$v = 0,5 m/s$$

➤ Área de la sección transversal del canal

$$A_{SC} = \frac{Q_D}{v}$$

(4)

Donde:

A_{SC}: Área de la sección transversal del canal; m²

Q_D: Caudal de diseño (m³/s); 0,0075 m³/s

v: Velocidad de flujo (m/s); 0,5 m/s

$$A_{SC} = \frac{0,0075 m^3/s}{0,47 m/s}$$

$$A_{SC} = 0,017 m^2$$

La altura del canal ya implementado se encuentra adecuado por lo cual no es necesario su rediseño.

➤ Longitud de las barras

Según la Norma RAS 2000, establece las siguientes condiciones para el diseño de rejillas mostradas en la tabla 32-3 y se toma en consideración las medidas del canal ya implementado.

Tabla 32-3: Condiciones de diseño de rejillas de limpieza manual y mecánica

Condiciones	Unidad	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Ancho de las barras	mm	5-15	5-15
Profundidad de las barras	mm	25-37.5	25-37,5
*Separación entre barras	mm	25-50	15-75
Pendiente en relación a la vertical	grados	60-45	0-60
Velocidad de aproximación	m/s	0.30-0.60	0,6-1,1
Perdida de carga admisible	mm	150	150

Fuente: Norma RAS, 2000.

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

$$L_b = \frac{H_{TC}}{\text{sen } \theta} \quad (5)$$

Donde:

L_b : Longitud de las barras; m

H_{TC} : Altura total del canal; 0,65 m

θ : Ángulo de inclinación de las barras; 60°

$$L_b = \frac{0.65 \text{ m}}{\text{sen } 60}$$

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

➤ Número de barras

El cálculo del número de barras para el diseño de las rejillas se basa en los criterios de la Norma RAS 2000 que toma como referencia los valores de 0,025 m para la distancia de separación de barras y 1×10^{-2} m de espesor.

$$N_b = \frac{b}{e + S} \quad (6)$$

Donde:

N_b : Número de barras

b : Ancho del canal (m); 0,55 m

S : Separación entre las barras (m); 0,025 m (Valor tomado de la Tabla 32-3)

e : Espesor de las barras(m); 1×10^{-2} m (Valor tomado de la Tabla 32-3)

$$N_b = \frac{0.55 \text{ m}}{1 \times 10^{-2} \text{ m} + 0,025}$$

$$N_b = 15,3 \sim 15 \text{ barras}$$

➤ Pérdida de carga

Para el cálculo de la pérdida de carga se consideran barras de forma circular, a partir de los datos siguientes de la tabla 33-3:

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

Sección transversal							
Forma	A	B	C	D	E	F	G
β	2.48	1.83	1.67	1.035	0.92	0.76	1.79

Fuente: Norma RAS, 2000.

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

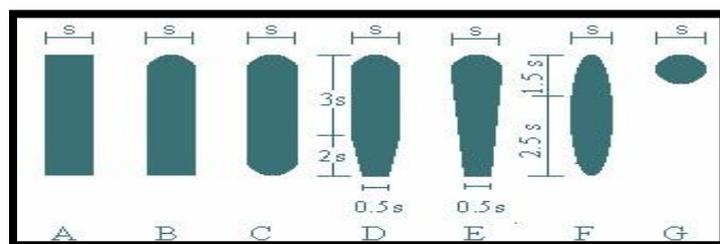


Figura 5-3: Forma de rejillas

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

$$H = \beta \left(\frac{S}{e} \right)^{4/3} \left(\frac{v^2}{2g} \right) \text{sen } \theta$$

(7)

Donde:

H : Pérdida de carga

β : Factor dependiente de la forma de barras(adimensional); 1,79 (Valor considerado en la Tabla 31-3)

S: Separación entre las barras (m); 0,025 m (Valor considerado en la Tabla 33-3)

e: Espesor de las barras (m); $1,00 \times 10^{-2}$ m (Valor considerado en la Tabla 33-3)

v: Velocidad de flujo (m/s); 0,209

g: Gravedad (m/s^2) = 9,8 m/s^2

θ: Ángulo de inclinación de las barras (grados); 60° (Valor considerado en la Tabla 33-3)

$$H = 1,79 \left(\frac{0,025 \text{ m}}{1,00 \times 10^{-2} \text{ m}} \right)^{4/3} \left(\frac{(0,209 \text{ m})^2}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2} \right) \text{sen } 60^\circ$$

$$H = 0,01 \text{ m} < 0,15 \text{ m admisibles} *$$

3.1.7.3 Dimensionamiento del tanque de sedimentación primaria

Con la finalidad de aprovechar el primer tanque al que se dirige el efluente para almacenamiento, se utilizará el tanque rectangular que tiene las siguientes dimensiones de la tabla 34-3:

Tabla 34-3: Dimensiones provistas para el tanque de sedimentación primaria

Variable	Valor	Unidad
Longitud	2,5	m
Ancho	1,5	m
Profundidad	1,5	m

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

Los parámetros de diseño para sedimentadores rectangulares se presentan a continuación en la tabla 35-3:

Tabla 35-3: Parámetros de diseño para pantalla difusora

Parámetro	Rango	Unidad
Distancia desde la pared de entrada	0,7-1	m
Distancia de la pared inferior del sedimentador	0,80	m
Los orificios más altos a partir de la superficie	1/5-1/6	m
Los orificios más bajos a partir de la superficie del fondo	¼-1/5	m
Velocidad inicial	≤0,15	$\frac{m}{s}$
Los orificios deben ser aboquillados en el sentido del flujo	15	°

Fuente: CEPIS, 2012.

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

- Área total de orificios

$$A_o = \frac{Q_D}{v_o}$$

(8)

Donde:

A_o : Área total de orificios

Q_D : Caudal del diseño; $0,0075 \text{ m}^3/\text{s}$

v_o : Velocidad paso entre orificios; $0,1 \text{ m/s}$ (Valor considerado en la Tabla 39-3)

$$A_o = \frac{0,0075 \text{ m}^3/\text{s}}{0,1 \text{ m/s}}$$
$$A_o = 0,075 \text{ m}^2$$

- Área de sección circular

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

(9)

Donde:

a_o : Área de sección circular; m^2

D : Diámetro del orificio asumido; $0,04 \text{ m}$

$$a_o = \frac{\pi * (0,04)^2}{4}$$
$$a_o = 1,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

- Número de orificio

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

(10)

Donde:

n_o : Número de orificios

a_o : Área de sección circular; $1,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

A_o : Área total de orificios; $0,0075 \text{ m}^2$

$$n_o = \frac{0,0075 \text{ m}^2}{1,2 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$
$$n_o = 6,25 \sim 6$$

Zona de sedimentación:

En la tabla 36-5 se muestra el caudal diario, el cual se toma como referencia el día que se realiza la mayor descarga de efluente de los subprocesos de ribera.

Tabla 36-3: Caudal de agua residual de Pelambre por día

Etapa	Proceso	Cantidad de agua (L/día)
Ribera o Pelambre	Pelambre	9000
	Lavado 1	24000
	Lavado 2	24000
	Descarnado	1500
	Calero	12000
Limpieza	Limpieza de máquinas	3000
Descarga Total del agua residual (L/día)		73500
Descarga Total del agua residual (m ³ /día)		73,5

Fuente: Curtiduría Curtial

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ Área del tanque

$$A_{TS} = \frac{Q_D}{C_{S2}} \quad (11)$$

Donde:

A_{TS} : Área del tanque de sedimentación; m²

Q_D : Caudal de diseño; 73,5 m³/día

C_{S2} : Carga superficial; 40 m³/m²-día

$$A_{TS} = \frac{73,5 \text{ m}^3/\text{día}}{40 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}}$$
$$A_{TS} = 1,83 \text{ m}^2$$

➤ Longitud del sedimentador

$$L_s = L_t + L_{pd} \quad (12)$$

Donde:

L_s : Longitud del sedimentador; 2,5 m

L_t : Longitud total

L_{pd} : Longitud entre la pantalla difusora y la pared de entrada; 0,8m (Valor considerado en la Tabla 39-3)

$$L_s = 2,5 \text{ m} - 0,8 \text{ m}$$

$$L_s = 1,7 \text{ m}$$

➤ Velocidad de sedimentación

$$v_s = \frac{Q_D}{L_t * b_{TS}}$$

(13)

Donde:

Q_D : Caudal de diseño; 0,0075 m³/s

L_t : Longitud total; 2,5 m

b_{TS} : Ancho del sedimentador; 1,5 m

$$v_s = \frac{0,0075 \text{ m}^3/\text{s}}{2,5 \text{ m} * 1,5 \text{ m}}$$

$$v_s = 0,002 \text{ m/s}$$

➤ Carga Hidráulica

$$C_H = \frac{Q_D}{b_{TS}}$$

(14)

Donde:

C_H : Carga Hidráulica

Q_D : Caudal de diseño; 0,0075 m³/s

b_{TS} : Ancho del sedimentador; 1,5 m

$$C_H = \frac{0,0075 \text{ m}^3/\text{s}}{1,5 \text{ m}}$$

$$C_H = 0,005 \text{ m/s}$$

- Volumen del tanque sedimentador

$$V_S = b_{TS} * L_t * P_s \quad (15)$$

Donde:

V_S : Volumen del tanque sedimentador

b_{TS} : Ancho del sedimentador; 1,5 m

L_t : Longitud total; 2,5 m

P_s : Profundidad del sedimentador; 1,5 m

$$V_S = 1,5 \text{ m} * 2,5 \text{ m} * 1,5 \text{ m}$$
$$V_S = 5,63 \text{ m}^3$$

- Periodo de retención hidráulica

$$P_{RH} = \frac{V_S}{Q_D} \quad (16)$$

Donde:

V_S : Volumen de sedimentación; 5,63 m³

Q_D ; Caudal de diseño; 0,0075 m³/s

$$P_{RH} = \frac{5,63 \text{ m}^3}{0,0075 \text{ m}^3/\text{s}}$$
$$P_{RH} = 750,67 \text{ s} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,21 \text{ h}$$

3.1.7.4 Dimensionamiento tanque de aireación

- Volumen tanque de aireación

Para el dimensionamiento del tanque de aireación se considera el segundo tanque existente utilizado de igual forma para almacenamiento del agua residual proveniente de la etapa de pelambre las siguientes dimensiones de la tabla 37-3:

Tabla 37-3: Dimensiones del tanque provisto para aireación

Variable	Valor	Unidad
Longitud	2,5	m
Ancho	1,5	m
Profundidad	1,95	m

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

$$V_1 = b_{TA} * L_{TA} * h_{TA}$$

(17)

Donde:

V_{t1} : Volumen del tanque de aireación; m^3

b_{TA} : Ancho de tanque de aireación; 1,5 m

L_{TA} : Largo tanque de aireación; 2,5 m

h_{TA} : Altura tanque de aireación; 1,95 m

$$V_{t1} = (1,5m * 2,5m * 1,95m)$$

$$V_{t1} = 7,31 m^3$$

➤ Cálculo de la presión hidrostática del agua

$$P_H = \rho * g * h$$

(18)

Donde:

P_H : Presión hidrostática; psi

ρ : Densidad del agua; 998 kg/m^3

g : Gravedad; 9,8 m/s^2

h_{TA} : Altura del tanque 1,95 m

$$P_H = 998 \frac{kg}{m^3} * 9,8 \frac{m}{s^2} * 1,95m$$

$$P_H = 19071,8 Pa$$

$$P_H = 19071,8 Pa * \frac{1 atm}{101325 Pa} * \frac{14,7 psi}{1 atm}$$

$$P_H = 2,77 psi$$

- Cálculo de la presión total (absoluta)

$$P_{abs} = P_H + P_{atm} \quad (19)$$

Donde:

P_{abs} : Presión absoluta; psi

P_H : Presión hidrostática; 2,77 psi

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

$$P_H = 2,77 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi}$$

$$P_H = 17,47 \text{ psi}$$

- Cálculo de la variación térmica en el aire de compresión (temperatura adiabática)

$$\Delta T_{ad} = \frac{T_1}{\eta} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{0,283} - 1 \right] \quad (20)$$

Donde:

ΔT_{ad} : Temperatura adiabática; °C

T_1 : Temperatura ambiente; 20°C

$P_2 = P_{abs}$: Presión absoluta; 17,47 psi

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

η : Eficiencia compresor; 75%

$$\Delta T_{ad} = \frac{20^\circ\text{C} + 273}{0,75} \left[\left(\frac{17,47}{14,7} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$\Delta T_{ad} = 19,56^\circ\text{C}$$

- Temperatura de salida del aire

$$T_2 = T_1 + \Delta T_{ad} \quad (21)$$

Donde:

T_2 : Temperatura de salida del aire; °C

T_1 : Temperatura ambiente; 20°C

ΔT_{ad} =Variación térmica del aire de compresión; 19,56°C

$$T_2 = 20^\circ\text{C} + 19,56^\circ\text{C}$$

$$T_2 = 39,56^\circ\text{C}$$

➤ Cálculo del caudal de aire

Para calcular el caudal de aire que ingresa al sistema de tratamiento del agua residual se calcula a partir de estudios realizados por Salas (2005) quien menciona que por cada metro cúbico de agua residual con gran cantidad de sulfuros se necesita 120 m³ de aire; valor que se toma como referencia para disminuir la DBO₅.

$$Q_{\text{aire}} = \frac{120 \text{ m}^3 \text{ aire}}{\text{m}^3 \text{ agua residual}} * \frac{7,31 \text{ m}^3}{\text{tratamiento}} * \frac{1 \text{ tratamiento}}{6 \text{ h}}$$

$$Q_{\text{aire}} = 146,2 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{h}}$$

Donde:

Q_{aire}: Caudal de aire a suministrar; m³ /día

$$Q_{\text{aire}} = 146,2 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{\text{min}} * \frac{\text{ft}^3}{(0,3048 \text{ m})^3} * \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}}$$

$$Q_{\text{aire}} = 86,05 \frac{\text{ft}^3 \text{ aire}}{\text{min}}$$

➤ Cálculo de la densidad del aire

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

(22)

Donde:

ρ_a: Densidad del aire; kg/m³

P_{abs}: Presión absoluta; 17,47 psi

T₂: Temperatura de gas a la salida; 39,56 °C

$$\rho_a = \frac{1,293}{1 + 0,00367 * 39,56^\circ\text{C}} \left(\frac{17,47 \text{ psi}}{14,7} \right)$$

$$\rho_a = 1,34 \text{ kg/m}^3$$

- Cálculo del diámetro de los orificios

$$d_o = \frac{d_b^3 * g * (\rho_{H2O} - \rho_a)}{6 * \sigma} \quad (23)$$

Donde:

d_o : Diámetro del orificio; m

d_b : Diámetro de burbuja; 0,005 m

ρ_{H2O} : Densidad del agua; 1000 kg/m³

ρ_a : Densidad del aire; 1,34 kg/m³

σ : Tensión superficial; 0 00087 N/m

g : Aceleración gravitacional; m/s²

$$d_o = \frac{(0,005m)^3 * (9,81 \frac{m}{s^2}) * (\frac{1000kg}{m^3} - 1,34kg/m^3)}{6 * 0,08 N/m}$$

$$d_o = 0,003 m$$

- Cálculo del número de difusores

En la tabla 38-3 se muestra los valores establecidos para el difusor de burbuja fina modelo oxyplate 9S.

Tabla 38-3: Datos técnicos del difusor de burbuja fina

Modelo	Material	Diámetro	Conector de entrada de aire	Flujo de aire
Oxyplate 9S	Caucho de etileno propileno dieno (EPDM)	9"	NPT 3/4	Caudal límite: 10 m ³ /h

Fuente: ZENIT

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

$$N_{dif} = \frac{Q_{aire\ necesario}}{Q_{aire\ dif}}$$

Donde:

N_{dif} : Número de difusores necesario; adimensional

$Q_{aire\ necesario}$: Caudal de aire necesario; 146,2 m³/h

$Q_{aire\ dif}$: Caudal o flujo de aire del difusor a emplear; 10 m³/h (Valor tomado de la Tabla 38-3)

$$N_{dif} = \frac{146,2 \text{ m}^3/h}{10 \text{ m}^3/h}$$

$$N_{dif} = 14,6 \approx 15$$

➤ Cálculo de la potencia del soplador

$$P_c = \frac{0,22 Q_{aire}}{\eta} \left[\left(\frac{P_{abs}}{P_{atm}} \right)^{0,283} - 1 \right] \quad (24)$$

Donde:

P_c : Potencia del compresor; Hp

Q_{aire} : Caudal de aire; 146,2 m³/h; 86,05 ft³/min

η : Eficiencia asumida de compresión; 75%

P_{abs} : Presión absoluta; 17,47 psi

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

$$P_c = \frac{0,22 * 86,05 \text{ ft}^3/\text{min}}{0,75} \left[\left(\frac{17,47 \text{ psi}}{14,7 \text{ psi}} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

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

➤ Cálculo de la potencia con factor de seguridad del soplador

$$P_c = 1,2 \text{ hp} + (1,2 \text{ hp}) * 0,3$$

$$P_c = 1,6 \text{ hp} \approx 2 \text{ hp}$$

3.1.7.5 Dimensionamiento del tanque de floculación – coagulación

En la tabla 39-3 se muestra el valor de carga de superficie para el agua residual cruda.

Tabla 39-3: Cargas de superficie para diversas suspensiones químicas

Suspensión	Intervalo	Carga de superficie (m ³ /m ² d) - Caudal punta
Floculo de cal	30 – 60	60
Floculo y hierro	25 – 50	50
Floculo de alúmina	25 – 50	50
Agua residual cruda	25 – 50	50

Fuente: Eddy, 1995

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ **Área del tanque**

$$A_{TF} = \frac{Q_D}{C_s} \quad (25)$$

Donde:

A_{TF} : Área del tanque; m²

Q_D : Caudal de diseño; 73,5 m³/día

C_s : Carga superficial; 50 m³/m²-día (Valor tomado de la tabla 39-3)

$$A_{TF} = \frac{73,5 \text{ m}^3/\text{día}}{50 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}}$$
$$A_{TF} = 1,47 \text{ m}^2$$

➤ **Ancho del tanque**

$$b_{TF} = \sqrt{\frac{A_{TF}}{2}} \quad (26)$$

Donde:

b_{TF} : Ancho del tanque floculador; m

A_{TF} : Área del tanque; 1,47 m²

$$b_{TF} = \sqrt{\frac{1,47 \text{ m}^2}{2}}$$
$$b_{TF} = 0,86 \text{ m}$$

➤ **Largo del tanque**

$$L_g = 2b_{TF} \quad (27)$$

Donde:

L_g : Largo del tanque; m

b_{TF} : Ancho del tanque floculador; 0,86 m

$$L_g = 2(0,86 \text{ m})$$

$$L_g = 1,71 \text{ m}$$

- Volumen del tanque

$$V = Lg * b_{TF} * h_{TF} \quad (28)$$

Donde:

V : Volumen del tanque floculador (m^3)

Lg : Largo del tanque; 1,71 m

b_{TF} : Ancho del tanque floculador; 0,86 m

h_{TF} : Altura del tanque; 1,5 m (se considera en base a PTAR)

$$V = 1,71 m * 0,86 m * 1,5 m$$
$$V = 2,21 m^3$$

- Longitud de las paletas de agitación

$$L_p = \frac{b_{TF}}{4} \quad (29)$$

Donde:

L_p : Longitud de la paleta; m

b_{TF} : Ancho del tanque floculador; 0,86 m

$$L_p = \frac{0,86 m}{4}$$
$$L_p = 0,21 m$$

- Altura de paleta

$$h_p = \frac{b_{TF}}{4} \quad (30)$$

Donde:

h_p : Altura de la paleta; m

b_{TF} : Ancho del tanque floculador; 0,44 m

$$h_p = \frac{0,44 m}{4}$$
$$h_p = 0,21 m$$

➤ Potencia disipada

En la tabla 40-3 se muestra el valor de la densidad del agua a la temperatura de 15°C.

Tabla 40-3: Propiedades del agua a diferentes temperaturas

Propiedades Físicas Del Agua			
Temperatura (°C)	Densidad (Kg/m³)	Viscosidad Dinámica (N.s/m²)	Viscosidad Cinemática (m²/s)
0	999,8	1,781*10 ⁻³	1,785*10 ⁻⁶
5	1000,0	1,518*10 ⁻³	1,519*10 ⁻⁶
10	999,7	1,307*10 ⁻³	1,306*10 ⁻⁶
15	999,1	1,139*10 ⁻³	1,139*10 ⁻⁶
20	998,2	1,102*10 ⁻³	1,003*10 ⁻⁶
25	997,0	0,890*10 ⁻³	0,893*10 ⁻⁶
30	995,7	0,708*10 ⁻³	0,800*10 ⁻⁶

Fuente: Eddy, 1995

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

En la tabla 41-3 se muestra el valor de la velocidad del líquido adecuada para el diseño del floculador.

Tabla 41-3: Criterios de diseño de floculadores mecánicos

Tiempo de retención (min)	Gradiente medio de velocidad (s⁻¹)	Velocidad (m/s)
20-40	150-750	0,3-0,75

Fuente: RAS 2000

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

En la tabla 42-3 se muestra el valor del coeficiente de arrastre para el diseño de la paleta.

Tabla 42-3: Valores de CD

CANTIDAD	CD
1	1,16
5	1,20
20	1,50
∞	1,95

Fuente: ROUSE., 2003

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

$$P = G^2 * \mu * V \quad (31)$$

Donde:

P: Potencia disipada; Watt

G: Gradiente medio de velocidad; $750s^{-1}$. (Valor considerado en la Tabla 41-3)

μ : Viscosidad dinámica; $1,139 \cdot 10^{-3} N \cdot s/m^2$ (Valor considerado en la Tabla 36-3)

V: Volumen del floculador; $2,21 m^3$

$$P = (750s^{-1})^2 * 0,001139 \frac{kg}{m^3} * 2,21 m^3$$

$$P = 1415,9 Watt$$

$$P = 1,9 hp \sim 2 hp$$

➤ Área de las paletas

$$A_p = \frac{2P}{C_d * \delta * v^3} \quad (32)$$

Donde:

A_p : Área de las paletas; m^2

P: Potencia disipada; 1415,9 W

δ : Densidad de fluido; $999,1 Kg/m^3$ (Tabla 40-3)

v: Velocidad; 0,75 m/s (Tabla 41-3)

C_d : Valores de CD; 1,2 (Tabla 42-3)

$$A_p = \frac{2(1415,9 W)}{1,2 * 999,1 kg/m^3 * (0,75 m)^3}$$

$$A_p = \frac{2(3,71 W)}{1,2 * 999,1 * (0,75)^3}$$

$$A_p = 0,0145 m^2$$

3.1.7.6 Dimensionamiento del tanque de sedimentación secundario

Un tercer tanque se encuentra en construcción por lo cual se toma como referencias las medidas provistas; las cuales se detallan a continuación en la tabla 43-3.:

Tabla 43-3: Dimensiones del tanque provisto para sedimentación secundaria

Variable	Valor	Unidad
Longitud	3,6	m
Ancho	1,5	m
Profundidad	1,7	m

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

Los parámetros de diseño para sedimentadores rectangulares se presentan a continuación en la tabla 44-3:

Tabla 44-3: Parámetros de diseño para pantalla difusora

Parámetro	Rango	Símbolo
Distancia desde la pared de entrada	0,7-1	<i>m</i>
Distancia de la pared inferior del sedimentador	0,80	<i>m</i>
Los orificios más altos a partir de la superficie	1/5-1/6	<i>m</i>
Los orificios más bajos a partir de la superficie del fondo	¼-1/5	<i>m</i>
Velocidad inicial	≤0,15	<i>m/s</i>
Los orificios deben ser aboquillados en el sentido del flujo	15	°

Fuente: CEPIS, 2012.

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ Área total de orificios

$$A_o = \frac{Q_D}{v_o} \quad (33)$$

Donde:

A_o : Área total de orificios; m^2

Q_D : Caudal del diseño; $0,0075 m^3/s$

v_o : Velocidad paso entre orificios; $0,1 m/s$ (Valor considerado en la Tabla 44-3)

$$A_o = \frac{0,0075 m^3/s}{0,1 m/s}$$
$$A_o = 0,075 m^2$$

➤ Área de sección circular

$$a_o = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (34)$$

Donde:

a_o : Área de sección circular; m^2

D : Diámetro del orificio asumido; $0,04 m^2$

$$a_o = \frac{\pi * (0,04)^2}{4}$$
$$a_o = 1,2x10^{-3}m^2$$

➤ Número de orificio

$$n_o = \frac{A_o}{a_o} \quad (35)$$

Donde:

n_o : Número de orificios

a_o : Área de sección circular; $1,2x10^{-3}m^2$

A_o : Área total de orificios; $0,0075 m^2$

$$n_o = \frac{0,0075 m^2}{1,2x10^{-3}m^2}$$
$$n_o = 6,25 \sim 6$$

Zona de sedimentación:

➤ Área del tanque

$$A_{TS} = \frac{Q_D}{Cs_2} \quad (36)$$

Donde:

A_{TS} : Área del tanque de sedimentación; m^2

Q_D : Caudal de diseño; $73,5 m^3/día$

Cs_2 : Carga superficial; $40 m^3/m^2-día$

$$A_{TS} = \frac{73,5 \text{ m}^3/\text{día}}{40 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{día}}$$

$$A_{TS} = 1,83 \text{ m}^2$$

➤ Longitud total

$$L_s = L_t + L_{pd} \tag{37}$$

Donde:

L_t : Longitud total; m

L_s : Longitud del sedimentador; 1,92 m

L_{pd} : Longitud entre la pantalla difusora y la pared de entrada; 0,8m (Valor considerado de la Tabla 44-3)

$$L_s = 3,6 \text{ m} - 0,8 \text{ m}$$

$$L_s = 2,8 \text{ m}$$

➤ Velocidad de sedimentación

$$v_s = \frac{Q_D}{L_t * b_{TS}} \tag{38}$$

Donde:

v_s : Velocidad de sedimentación; m/s

Q_D : Caudal de diseño; 0,0075 m³/s

L_t Longitud total; 3,6 m

b_{TS} : Ancho del sedimentador; 1,7 m

$$v_s = \frac{0,0075 \text{ m}^3/\text{s}}{3,6 \text{ m} * 1,7 \text{ m}}$$

$$v_s = 0,0012 \text{ m/s}$$

➤ Carga Hidráulica

$$C_H = \frac{Q_D}{b_{TS}} \tag{39}$$

Donde:

C_H : Carga Hidráulica; m/s

Q_D : Caudal de diseño; $0,0075 \text{ m}^3/\text{s}$

B_S : Ancho del sedimentador; $1,7 \text{ m}$

$$C_H = \frac{0,0075 \text{ m}^3/\text{s}}{1,7 \text{ m}}$$

$$C_H = 0,0044 \text{ m/s}$$

➤ Volumen del tanque sedimentador

$$V_S = b_{TS} * L_t * P_s$$

Donde:

V_S : Volumen del tanque sedimentador

b_{TS} : Ancho del sedimentador; $1,7 \text{ m}$

L_t : Longitud total; $3,6 \text{ m}$

P_s : Profundidad del sedimentador; $1,5 \text{ m}$

$$V_S = 1,7 \text{ m} * 3,6 \text{ m} * 1,5 \text{ m}$$

$$V_S = 9,18 \text{ m}^3$$

➤ Periodo de retención hidráulica

$$P_{RH} = \frac{V_S}{Q_D}$$

(40)

Donde:

P_{RH} : Periodo de retención hidráulica; h

V_S : Volumen de sedimentación: $3,5 \text{ m}^3$

Q_D : Caudal de diseño; $0,0075 \text{ m}^3/\text{s}$

$$P_{RH} = \frac{9,18 \text{ m}^3}{0,0075 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$P_{RH} = 1224 \text{ s} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 0,34 \text{ h}$$

➤ Cálculo para la dosificación de productos químicos

En la tabla 45-3 se muestra la dosificación de químicos resultante de las pruebas de tratabilidad.

Tabla 45-3: Dosificación de químicos

Parámetro	Unidad	Resultado
Dosis sulfato de manganeso	Ppm	100
Dosis sulfato de aluminio	Ppm	250
Dosis Polielectrolito aniónico	Ppm	10
Turbiedad inicial	NTU	791
Turbiedad final	NTU	31
pH inicial	-	11,91

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ Dosificación de Sulfato de Manganeso

A partir de las pruebas de tratabilidad en el proceso de aireación se preparó 5g en 100 ml de agua destilada, donde la dosis óptima para una muestra de 1000 mL es de 5 mL.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2 \quad (41)$$

Donde:

C₁: Concentración de Sulfato de Manganeso de la solución; 1 g sulfato de manganeso

C₂: Concentración de Sulfato de Manganeso en la dosificación óptima;

V₁: Volumen de la dosificación óptima de la solución; 10 mL

V₂: Volumen del tanque de coagulación; 1000 mL

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

$$C_2 = \frac{0,01 \frac{g}{mL} * 10 mL}{1000 mL}$$

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

$$C_2 = 0,1 g/L$$

Cantidad de Sulfato de Manganeso requerida por día

$$D_{MNSO_4} = QD * C_2 \quad (42)$$

Donde:

D_{MNSO_4} : Dosificación de Sulfato de Manganeso

Q_2 : Caudal de diseño; 73500 L/día

C_2 : Concentración de Sulfato de Manganeso en la dosificación óptima; 0,1 g/L

$$D_{MNSO_4} = 73500 \frac{L}{día} * 0,1 \frac{g}{L} * \frac{1Kg}{1000g}$$
$$D_{MNSO_4} = 7,35 \frac{Kg}{día}$$

➤ Dosificación del Sulfato de Aluminio

A partir de las pruebas de tratabilidad en el proceso de coagulación se preparó 5g en 100 ml de agua destilada, donde la dosis óptima para una muestra de 1000 mL es de 5 mL.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

(43)

Donde:

C_1 : Concentración de Sulfato de Aluminio de la solución; 5 g sulfato de aluminio

C_2 : Concentración de Sulfato de Aluminio en la dosificación óptima;

V_1 : Volumen de la dosificación óptima de la solución; 5 mL

V_2 : Volumen del tanque de coagulación; 1000 mL

$$C_2 = \frac{C_1 * V_1}{V_2}$$
$$C_2 = \frac{0,05 \frac{g}{mL} * 5 mL}{1000 mL}$$
$$C_2 = 2,5 \times 10^{-4} \frac{g}{mL} * \frac{1000 mL}{1 L}$$
$$C_2 = 0,25 \frac{g}{L}$$

Cantidad de Sulfato de Aluminio requerida por día

$$D_{Al_2(SO_4)_3} = QD * C_2$$

(44)

Donde:

$D_{Al_2(SO_4)_3}$: Dosificación de Sulfato de Aluminio

Q_D : Caudal de diseño; 73500 L/día

C_2 : Concentración de Sulfato de Aluminio en la dosificación óptima; 0,25 g/L

$$D_{Al_2(SO_4)_3} = 73500 \frac{L}{día} * 0,25 \frac{g}{L} * \frac{1Kg}{1000g}$$

$$D_{MNSO_4} = 18,38 \frac{Kg}{día}$$

➤ Dosificación de floculante aniónico

A partir de las pruebas de tratabilidad en el proceso de coagulación se preparó 1g en 100 ml de agua destilada, donde la dosis óptima para una muestra de 1000 mL es de 1 mL.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

(45)

Donde:

C_2 : Dosificación óptima de floculante aniónico

C_1 : Concentración de floculante aniónico de la solución; 0,01g

V_1 : Volumen de la dosificación óptima de la solución; 1 mL

V_2 : Volumen de la dosificación óptima de la solución; 1000mL

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

$$C_2 = \frac{0,01 \frac{g}{mL} * 1 mL}{1000 mL}$$

$$C_2 = 2,5 \times 10^{-4} \frac{g}{mL} * \frac{1000 mL}{1 L}$$

$$C_2 = 0,01 \frac{g}{L}$$

Cantidad de floculante aniónico requerida por día

$$D_{floculante} = Q_D * C_2$$

(46)

Donde:

$D_{floculante}$: Dosificación de floculante aniónico

Q_D : Caudal de diseño; 73500 $\frac{L}{día}$

C_2 : Dosificación óptima de floculante aniónico; 0,01 $\frac{g}{L}$

$$D_{Al_2(SO_4)_3} = 73500 \frac{L}{\text{día}} * 0,01 \frac{g}{L} * \frac{1Kg}{1000g}$$

$$D_{MNSO_4} = 0,753 \frac{Kg}{\text{día}}$$

- Dimensionamiento del tanque de filtración

Tabla 46-3: Parámetros diseño de filtro

Parámetro	Valor	Valor típico
Tasa de filtración (m3/día)	120-150	120
Altura de agua sobre el lecho	1-1,5	1,25
Altura de drenaje	0,2-0,7	0,55

Fuente: Maldonado, 2004

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

Debido a la remoción de sólidos en el proceso anterior, el caudal disminuye en un 5%.

$$Q_D = 73,5 \frac{m^3}{\text{día}} * 0,95 \tag{47}$$

$$Q_D = 69,83 \frac{m^3}{\text{día}}$$

- Numero de filtros

$$n = 0,044 * \sqrt{Q_D} \tag{48}$$

Donde:

n: Número de filtros

Q_D : Caudal de diseño; $33,45 \frac{m^3}{\text{día}}$

$$n = 0,044 * \sqrt{69,83 \frac{m^3}{\text{día}}}$$

$$n = 0,5 \sim 1$$

- Caudal de diseño de filtración

$$Q_f = \frac{Q_D}{n}$$

Donde:

Q_f : Caudal de diseño de filtración

Q_D : Caudal de diseño; $69,83 \frac{m^3}{día}$

n : Número de filtros; 1

$$Q_f = \frac{69,83 \frac{m^3}{día}}{1}$$

$$Q_f = 69,83 \frac{m^3}{día}$$

➤ Área del filtro

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

Donde:

Q_f : Caudal de diseño de filtración; $69,83 \frac{m^3}{día}$

T_f : Tasa de filtración; $120 \frac{m^3}{día}$ (Valor considerado en la Tabla 46-3)

$$A_f = \frac{69,83 \frac{m^3}{día}}{120 \frac{m^3}{día}}$$

$$A_f = 0,58 m^2$$

➤ Coeficiente de costo mínimo

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

(49)

Donde:

K_c : Coeficiente de mínimo costo (adimensional)

n : Número de filtros; 1

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

$$K_c = 1$$

➤ Diámetro del filtro

$$d_f = \sqrt{\frac{4 * A_f}{\pi}}$$

(50)

Donde:

d_f : Diámetro del filtro; m

A_f : Área del filtro, $7,76 \text{ m}^2$

$$d_f = \sqrt{\frac{4 * 0,58 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$d_f = 0,86 \text{ m}$$

➤ Altura del lecho filtrado

El lecho filtrante está compuesto por zeolita, carbón activado, arena y grava con las siguientes profundidades para cada material mostrado en la tabla 47-3:

Tabla 47-3: Materiales para el lecho filtrante

Material	Tamaño de partícula (mm)	Profundidad (cm)
Grava	10-15	10
Zeolita	1,18	20
Carbón activado	0,25	10
Arena fina	0,5-1	20

Fuente: Samal, et al. 2020

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

$$H_{LF} = e_{af} + e_z + e_c + e_g$$

(51)

Donde:

H_{LF} : Altura del lecho filtrado; cm

e_{af} : Espesor de la capa de arena fina; 20 cm

e_z : Espesor de la paca de zeolita; 20cm

e_c : Espesor de la capa de carbón activado; 10cm

e_g : Espesor de la capa de grava; 10 cm

$$H_{LF} = 20\text{cm} + 20\text{cm} + 10\text{cm} + 10\text{cm}$$

$$H_{LF} = 60 \text{ cm}$$

➤ Altura del filtro

Para evitar el desbordamiento de agua en el filtro, se utiliza el 10% como factor de seguridad a la altura del filtro.

$$Z_f = f_s(C_a + H_{LF} + F_C)$$

(52)

Donde:

Z_f : Altura del filtro; m

f_s : Factor de seguridad, 10%

H_{LF} : Altura del lecho filtrante; 0,60 m

C_a : Altura de la capa de agua; 1m

F_C : Altura de drenaje; 0,2m

$$Z_f = 1,10(1\text{m} + 0,6\text{m} + 0,10\text{m} + 0,2\text{m})$$

$$Z_f = 2.1 \text{ m}$$

➤ Volumen del filtro

$$V_f = A_f * Z_f$$

(53)

Donde:

V_f : Volumen del filtro

Z_f : Altura del filtro; 2,1 m

A_f : Área del filtro

$$V_f = 2,1 \text{ m} * 0,58 \text{ m}^2$$

$$V_f = 1,22 \text{ m}^3$$

➤ Determinación del sistema de drenaje

La tubería perforada para la estructura del sistema de drenaje es de 110mm. En la tabla 48-3 se muestra el valor del diámetro de los orificios de los laterales para el sistema de drenaje.

Tabla 48-3: Parámetro de diseño de laterales

Parámetro	Valor	Valor típico
Espaciamiento de los laterales (m)	1,5-2,0	1,5
Diámetro de los orificios de los laterales (mm)	2-4	4
Espaciamiento de los orificios de los laterales (cm)	10-30	20
Velocidad en el orificio (m/s)	0,3	0,3

Fuente: Vigneswaran, 1995

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ Área de cada orificio

$$A_o = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (54)$$

Donde:

A_o : Área de cada orificio; m^2

D : Diámetro de cada orificio; 4mm (Valor considerado en la Tabla 48-3)

$$A_o = \frac{\pi * (0,004)^2}{4}$$

$$A_o = 1,26 \times 10^{-5} m^2$$

➤ Caudal que ingresa a cada orificio

➤

$$Q_o = A_o * v_o \quad (55)$$

Donde:

Q_o : Caudal que ingresa a cada orificio

A_o : Área de cada orificio; $1,26 \times 10^{-5} m^2$

v_o : Velocidad en el orificio; 0,3 m/s (Valor considerado en la Tabla 43-3)

$$Q_o = 1,26 \times 10^{-5} m^2 * 0,3 m/s$$

$$Q_o = 3,7710^{-6} m^3/s$$

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Dimensionamiento del Diseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales

➤ Sistema de Rejillas

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el dimensionamiento del sistema de rejillas en la tabla 49-4.

Tabla 49-4: Dimensionamiento de sistema de rejillas

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Rejillas			
Ancho del canal	b	m	0,55
Alto de tirante de construcción	h	m	0,65
Longitud de las barras	L_b	m	0,75
Ángulo de inclinación de las barras	θ	$^{\circ}$	60
Separación entre barras	S	m	0,025
Espesor de las barras	e	m	$1,00 \times 10^{-2}$
Número de barras	N_b	–	15
Pérdida de carga	H	m	0,01

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ Sedimentador Primario

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el dimensionamiento del sedimentador primario en la tabla 50-4.

Tabla 50-4: Dimensionamiento sistema de sedimentación primaria

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Pantalla difusora			
Área total de orificios	A_o	m^2	$7,5 \times 10^{-2}$
Velocidad paso entre orificios	v_o	m/s	0,1
Área de sección circular	a_o	m^2	$1,2 \times 10^{-3}$
Número de orificios	n_o	–	6
Zona de sedimentación			
Longitud sedimentador	L_s	m	1,7
Longitud entre la pantalla difusora y la pared de entrada	L_{pd}	m	0,8
Longitud total	L_t	m	2,5
Ancho de sedimentador	b_{TS}	m	1,5

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ Aireador

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el dimensionamiento del aireador en la tabla 51-4.

Tabla 51-4: Dimensionamiento de un sistema de aireación

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Tanque de aireación			
Ancho del tanque de aireación	b_{TA}	m	1,5
Largo del tanque de aireación	L_{TA}	m	2,5
Altura del tanque de aireación	h_{TA}	m	1,95
Volumen del tanque de aireación	V_{TA}	m^3	7,31
Caudal de aire	Q_{aire}	m^3/min	146,2
Presión hidrostática	P_H	psi	2,77
Presión absoluta	P_{abs}	psi	17,47
Variación térmica del aire de compresión	ΔT_{ad}	$^{\circ}C$	19,56
Temperatura de salida del aire	T_2	$^{\circ}C$	39,56
Diámetro del orificio del difusor	d_o	m	0,003
Número de difusores	N_{dif}	-	15
Potencia del compresor	P_c	HP	2

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ Tanque de coagulación - floculación

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el dimensionamiento del tanque de coagulación – floculación en la tabla 52-4.

Tabla 52-4: Diseño sistema de agitación en el tanque de floculación y coagulación

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Tanque de floculación y coagulación			
Ancho del tanque	b_{TF}	m	0,86
Largo del tanque	A_{TF}	m	1,71
Altura del tanque	h_{TF}	m	1,5
Volumen del tanque	V_{TF}	m^3	2,21
Longitud de la paleta	L_p	m	0,21
Alto de la paleta	W	m	0,21
Gradiente de velocidad	G	s^{-1}	750
Potencia aplicada al agua residual	P	HP	2

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ Sedimentador Secundario

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el dimensionamiento del sedimentador secundario en la tabla 53-4.

Tabla 53-4: Dimensionamiento sistema de sedimentación secundario

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Pantalla difusora			
Área total de orificios	A_o	m^2	$7,5 \times 10^{-2}$
Velocidad paso entre orificios	v_o	m/s	0,1
Área de sección circular	a_o	m^2	$1,2 \times 10^{-3}$
Número de orificios	n_o	–	6
Zona de sedimentación			
Longitud sedimentador	L_s	m	2,8
Longitud entre la pantalla difusora y la pared de entrada	L_{pd}	m	0,8
Longitud total	L_t	m	3,6
Ancho de sedimentador	b_{TS}	m	1,5

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

➤ Filtro

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para el dimensionamiento del filtro en la tabla 54-4.

Tabla 54-4: Dimensionamiento tanque de filtración

Parámetros	Simbología	Unidad	Valor
Tanque de filtración			
Número de filtros	n	–	1
Área del filtro	A_f	m^2	0,58
Diámetro del filtro	d_f	m	0,86
Altura de capa de agua	C_a	m	1
Altura de capa se soporte de grava	C_s	m	0,10
Altura de drenaje	F_C	m	0,2
Altura de lecho filtrante	H_{LF}	m	0,6
Altura total	Z_f	m	2,1
Volumen tanque de filtración	V_f	m^3	1,22
Composición del lecho filtrante			
Espesor de la capa de arena	e_{af}	cm	20
Espesor de la capa de zeolita fina	e_z	cm	20
Espesor de la capa de carbón activado	e_c	cm	10
Espesor de la capa de grava	e_g	cm	10
Sistema de drenaje			
Área de cada orificio	A_o	m^2	$1,26 \times 10^{-5}$
Caudal que ingresa a cada orificio	Q_o	m^3/s	$3,77 \times 10^{-6}$

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

4.2 Resultado de la caracterización de agua residual después del tratamiento

La curtiduría Curtial descarga efluentes derivados del proceso de ribera, teniendo en su caracterización valores fuera de la norma ambiental vigente; por lo cual se propuso un diseño de un sistema de tratamiento de agua residual con la finalidad de reducir la carga contaminante. La siguiente tabla 55-4 muestra los valores obtenidos en la caracterización del agua tratada en comparación a los límites permisibles de la normativa; cumpliendo con la misma excepto en los sulfuros, pero se logró disminuir en gran cantidad.

Tabla 55-4: Caracterización del agua residual de Pelambre después del tratamiento

Parámetros	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio	Límite máximo permisible (Reforma 097-A)
		22/12/2020	05/01/2021	12/01/2021		
pH	-	6,84	6,63	6,57	6,50	6-9
Turbiedad	NTU	35,00	26,00	32,00	31,00	-
Temperatura	°C	21,00	21,00	21,00	21,00	Condición natural ±3
Conductividad	µS/cm	6500,00	6 320,00	6 310,00	6 400,00	-
DBO₅	mg/L	139,00	135,00	136,00	137,00	250,00
DQO	mg/L	300,00	270,00	280,00	280,00	500,00
Sólidos Sedimentables	mL/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	20,00
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	85,00	68,00	72,00	75,00	220,00
Sólidos Totales	mg/L	260,00	224,00	245,00	243,00	1 600,00
Sulfatos	mg/L	90,00	73,00	86,00	83,00	400,00
Sulfuros	mg/L	33,00	31,00	33,00	32,00	1,00
Aceites y grasas	mg/L	8,00	6,62	7,10	7,20	70,00

Fuente: Laboratorio de Calidad de agua-ESPOCH

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

4.3 Comparación de resultados de Agua Residual antes y después del Tratamiento

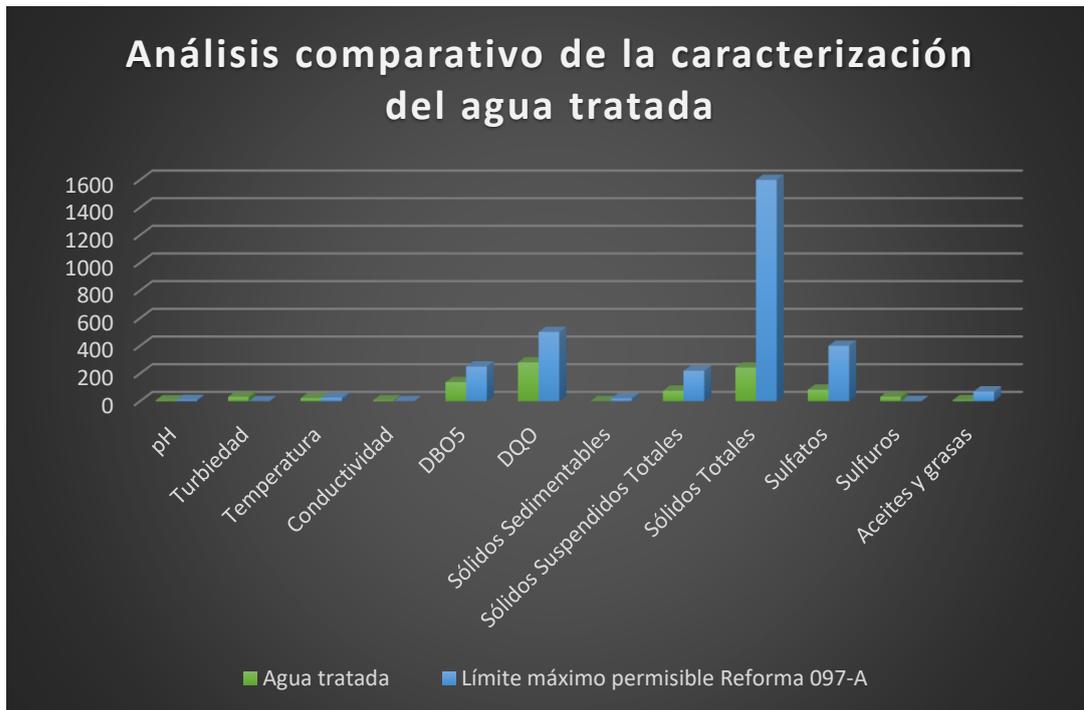
A continuación, se muestran en la tabla 56-4 los datos obtenidos del agua residual antes y después del tratamiento observando una notable disminución.

Tabla 56-4: Comparación del agua antes y después del tratamiento

Determinación	Unidades	Agua sin tratar	Agua tratada	Límite máximo permisible Reforma 097-A
pH	-	11,91	6,50	6-9
Turbiedad	NTU	791,00	31,00	-
Temperatura	°C	21,00	21,00	Condición natural ±3
Conductividad	mS/cm	9570,00	6 400,00	-
DBO ₅	mg/L	8 400,00	137,00	250
DQO	mg/L	20 100,00	280,00	500
Sólidos Sedimentables	mL/L	2,00	<0,1	20
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	849,00	75,00	220
Sólidos Totales	mg/L	2 220,00	243,00	1600
Sulfatos	mg/L	900,00	83,00	400
Sulfuros	mg/L	449,00	32,00	1
Aceites y grasas	mg/L	14,00	7,20	70

Fuente: Laboratorio de Calidad de agua-ESPOCH

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021



Gráfica 2-4: Análisis comparativo de los resultados de la caracterización del agua tratada con el AM 097-A

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

4.4 Porcentaje de remoción

Para demostrar la eficiencia del tratamiento propuesto se obtiene el porcentaje de remoción de cada parámetro mostrados en la tabla 57-4 logrando altos porcentajes lo que significa una gran remoción de contaminantes.

Tabla 57-4: Comparación del agua antes y después del tratamiento

Determinación	Unidades	Agua sin tratar	Agua tratada	Porcentaje de Remoción (%)
pH	-	11,91	6,50	43,32
Turbiedad	NTU	791,00	31,00	96,08
Temperatura	°C	21,00	21,00	Condición natural ± 3
Conductividad	mS/cm	9570,00	6 400,00	33,12
DBO ₅	mg/L	8 400,00	137,00	98,37
DQO	mg/L	20 100,00	280,00	98,61
Sólidos Sedimentables	mL/L	2,00	<0,1	99,95
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	849,00	75,00	91,17
Sólidos Totales	mg/L	2 220,00	243,00	89,05
Sulfatos	mg/L	900,00	83,00	91,26
Sulfuros	mg/L	449,00	32,00	92,87
Aceites y grasas	mg/L	14,00	7,20	48,57

Fuente: Laboratorio de Calidad de agua-ESPOCH

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021



Gráfica 3-4: Porcentaje de remoción de parámetros contaminantes

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

4.5 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

4.5.1 Materiales y equipos para el monitoreo y muestreo de aguas residuales

El muestreo del agua residual de la curtiembre se realizó bajo normativa, ver tabla 52-4:

Tabla 58-4: Procedimiento para el monitoreo y muestreo del caudal

Materiales	Procedimiento	Normativa
Frascos de vidrio color ámbar con tapa Etiquetas con fecha y hora del muestreo	Recolección de agua residual en los frascos ámbar directamente de la descarga Tapar el frasco Colocar en un contenedor con hielo para su transporte.	NTE INEN 2169:2013. Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y Conservación de muestras.

Fuente: Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 2013

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

4.5.2 Requerimientos tecnológicos para caracterización físico- químico del agua residual

Tabla 59-4: Otros equipos usados en el laboratorio

Equipo	Determinación o Actividad que realiza
Test de jarras	
Potenciómetro	Determinación del pH
Balanza	Determinación de la masa de reactivos
Balones de aforo	Determinación del volumen de soluciones
Matraces Erlenmeyer	Lavado de las muestras
Agitador	Prueba de jarras
Análisis de Laboratorio	
Mufla	Determinación de DBO ₅
Microdigestor para micro DQO	Determinación de DBO ₅
Termoreactor	Determinación de DQO
Espectrofotómetro	Determinación de cromo hexavalente

Fuente: Laboratorio de calidad de agua ESPOCH, 2019

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

4.5.3 Costo aproximado del diseño del sistema de tratamiento de agua residual

Tabla 60-4: Costos del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales de Pelambr

Rubro/Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (\$)	Precio Total (\$)
REJILLAS				
Rejillas metálicas de acero inoxidable con 15 barras	Unidad	2	30,00	60,00
			Subtotal	60,00
TANQUE DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA				
Replanteo y nivelación	m ²	1,7	12,00	20,40
Hormigón simple F'C= 210Kg/cm ²	m ³	1,3	120,20	156,26.
			Subtotal	176,66
TANQUES DE AIREACIÓN				
Difusor	U	15	75,00	1125,00
Tubo de acero al carbono SCH 40 ASTM-53 de 200mmx2500mm	U	1	340,00	340,00
Codo 90° ASTM A234 WPB 8"	U	2	45,00	90,00
Compresor 2 HP	U	1	350,00	350,00
			Subtotal	1705,00
TANQUE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN				
Replanteo H.S. 140 Kg/cm ²	m ²	3,0	20,50	61,50
Hormigón simple F'C= 210Kg/cm ²	m ³	2,2	120,20	264,44
Enlucido vertical con impermeabilización	m ³	20	9,45	189,00
Láminas de acero PL e=6mm (Paletas)	Kg	30,80	1,90	58,52
Acero AISI 1018 L=1500mm, D=40mm (Eje)	Kg	10,50	1,50	15,75
Suministro e instalación de motor de 1HP	U	1	200,00	200,00
			Subtotal	789,21
TANQUE DE SEDIMENTACIÓN				
Hormigón simple F'C= 210Kg/cm ²	m ³	1,75	120,20	210,35
Enlucido vertical con impermeabilización	m ³	20	9,45	189,00
			Subtotal	399,35
FILTRO				
Estructura circular de acero inoxidable	m ³	1,2	120,20	144,24
Empedrado en contrapiso c=20cm (piedra de mina)	m ³	1	4,5	4,5
Relleno grava	m ³	0,3	30,00	9,00
Relleno de arena	m ³	0,5	30,00	15,00
Relleno de carbón activado	m ³	0,79	80,00	63,20
Relleno de zeolita	m ³	0,5	70,00	35,00
Tubería PVC D=110mm desagüe + válvula	U	1,00	16,00	16,00
			Subtotal	286,94
Otros				
Mano de obra (Técnico responsable)	U	1	500,00	500,00
Mano de obra (Operarios)	U	2	200,00	400,00
			Subtotal	900,00
PRECIO TOTAL DEL SISTEMA FÍSICO-QUÍMICO DEL TRATAMIENTO				4 317,16

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

4.6 Costos de Químicos

Tabla 61-4: Costos Químicos

Detalle	Dosificación (Kg/día)	Presentación (Kg)	Costo por unidad (\$)	Costo por día (\$)
Sulfato de Manganeso	7,35	25	36,25	10,66
Sulfato de Aluminio	18,38	25	9,50	6,98
Polielectrolito aniónico	0,753	25	162,50	4,89
			Total	22,53

Realizado por: Acosta Guamán, Karen, 2021

4.7 Discusión de resultados

Los resultados obtenidos a partir de la caracterización del efluente de la descarga de la etapa de pelambre de la curtiduría “Curtial” especificados en la tabla 17-3, fueron comparados con la normativa vigente que hace referencia a los límites máximos permisibles de descarga de efluentes al sistema de alcantarillado, teniendo parámetros que no cumplen con la norma debido a que la empresa no cuenta con un tratamiento adecuado de aguas residuales con alta carga contaminante que se desprende al tratar el cuero con químicos. Dicho efluente descargado del proceso de pelambre genera un problema ambiental que debe ser tomado en consideración, no obstante, se empezó con el monitoreo del caudal mediante el método volumétrico especificado en la Tabla 30-3 obteniendo un caudal promedio de 7,45 m³/s.

Para conocer el tipo de tratamiento a aplicar se calculó el índice de biodegradabilidad resultando 0,42; valor correspondiente a un tratamiento físico químico y/o biológico, por lo cual se optó solo por el tratamiento físico – químico por cuestiones económicas de la empresa.

Se realizó la caracterización físico-química de las muestras tomadas en diferentes días para establecer un promedio y por ende reducir el porcentaje de error, identificando los parámetros fuera de los límites máximos permisibles de descarga según la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A, Reforma del Libro VI del TULSMA, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público, los cuales fueron pH, Sulfatos, Sulfuros, Sólidos Suspendidos, Sólidos Totales, Sólidos Sedimentables, DBO₅ y DQO.

En la tratabilidad del agua residual se realizó diferentes pruebas utilizando sulfato de manganeso como catalizador y diferentes coagulantes - floculantes como se puede ver en la Tabla 20-3 y Tabla 23-3 respectivamente hasta obtener los químicos adecuados y posteriormente la dosis óptima que refleje eficiencia mediante el porcentaje de remoción de los diferentes parámetros. Resultando adecuado en la aireación 100 ppm de sulfato de manganeso debido a que se reduce la mayor cantidad sulfuros, posteriormente en el proceso de coagulación, el coagulante Sulfato de Aluminio con una concentración de 250 ppm como se puede observar en la Tabla 22-3 y el floculante aniónico con una concentración de 10 ppm mostrado en la Tabla 23-3. Además, se realizó una simulación a nivel de laboratorio de procesos de sedimentación primaria, aireación, coagulación- floculación, sedimentación secundaria y filtración logrando reducir los contaminantes presentes cumpliendo con los parámetros dentro norma vigente como se puede apreciar en la Tabla 49-4; además de obtener porcentajes de remoción aceptables del 98,37% para DQO y 98,61% para la DBO₅ que representan la eficiencia del sistema indicado en la tabla 54-4.

El dimensionamiento del sistema de tratamiento de agua residual se realizó en base al caudal medido; además de utilizarse información bibliográfica sobre consideraciones para su dimensionamiento. El sistema consta de un tanque de sedimentación primaria, un tanque de aireación, un tanque de floculación-coagulación- un tanque de sedimentación secundaria y finalmente un tanque de filtración.

CONCLUSIONES

- Se realizó la caracterización física – química del agua residual de pelambre de la Curtiduría “Curtial” identificando los parámetros fuera de norma, obteniendo los valores de pH 11,91, sólidos sedimentables 2 mL/L, sólidos suspendidos totales 849 mg/L, sólidos totales 2 220 mg/L, DQO 20 100 mg/L, DBO5 8 400 mg/L, sulfatos 950 mg/L y sulfuros 449 mg/L en comparación con la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso agua Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097-A, Reforma del Libro VI del TULSMA, Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado públicos.
- Mediante las pruebas de tratabilidad del agua residual, se encontró idóneos procesos de sedimentación primaria, aireación, coagulación – floculación, sedimentación secundaria y filtración aplicando ácido clorhídrico para regular el pH para luego agregar 100 ppm de sulfato de manganeso como catalizador en la aireación, 250 ppm de sulfato de aluminio y 10 ppm de polielectrolito aniónico en el proceso de coagulación – floculación. Finalmente, entre los componentes para el filtro se utilizó grava, arena, zeolita, arena y carbón activado.
- Las variables identificadas para llevar a cabo el diseño del sistema de tratamiento de agua residual de la etapa de pelambre son el caudal y la dosificación de coagulante - floculante diario tomando en consideración el índice de biodegradabilidad de 0,42 , el cual resultó adecuado para un tratamiento físico - químico.
- Se validó el diseño mediante la caracterización físico – química del agua residual tratada de pelambre, la cual muestra el cumplimiento de la normativa dentro de los límites máximos permisibles de descarga al sistema de alcantarillado públicos de los siguientes parámetros pH 6,50, sólidos sedimentables <0,1 mL/L, sólidos suspendidos totales 75 mg/L, sólidos totales 243 mg/L, DQO 280 mg/L, DBO5 137 mg/L, sulfatos 83 mg/L, excepto los sulfuros sin embargo se obtuvo un porcentaje de remoción aceptable del 92,87%.

RECOMENDACIONES

- Tomar en cuenta que para tener una mejor eficiencia se debe realizar el mantenimiento a los sedimentadores de forma manual según lo establecido para evitar una acumulación excesiva de lodos, lo cual puede afectar el funcionamiento del diseño establecido.
- Con respecto a la rejilla se recomienda realizar programadas semanalmente tanto del canal como de las barras para evitar estancamiento del efluente.
- Se recomienda que la empresa lleve un registro de la caracterización del efluente con el fin de tener avances en el tratamiento adecuado del agua residual en base a su porcentaje de remoción.
- Es importante que el personal sea capacitado sobre la utilización químicos con la finalidad de aplicar correctamente la dosificación en el proceso de tratamiento del agua residual.

BIBLIOGRAFÍA

BULJAN, J., et al. Introduction to treatment of tannery effluents. *UNIDO, Vienna*, 2011.
CEPIS. Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. Curso internacional: “Gestión Integral de tratamiento de aguas residuales”. Lima-Perú, 2005. pp. 19- 20.

CONGRESO NACIONAL DEL ECUADOR. Ley de Gestión Ambiental [en línea]. 2004.
[Consulta: 20 de diciembre de 2020]. Disponible en:
<http://www.ambiente.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2012/07/Ley-de-Gestio•n-Ambiental.pdf>

CONGRESO NACIONAL DEL ECUADOR. Ley de prevención y control de la contaminación ambiental [en línea]. 2004. [20 de diciembre de 2020] Disponible en:
<http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEY-DE-PREVENCIONY-CONTROL-DE-LA-CONTAMINACION-AMBIENTAL.pdf>

CONGRESO NACIONAL DEL ECUADOR. Ley organica de salud [en línea]. 2006.
[Consulta: 20 de diciembre de 2020] Disponible en: www.lexis.com.ec

DURAI, G., et al. Biological Treatment of Tannery Wastewater- A Review. *Journal of Environmental science and Technology*, 2011, vol. 4, no 1, p. 1-17.

ISLAM, B., et al. Evaluation and characterization of tannery wastewater. *Journal of Forest Products & Industries*, 2014, vol. 3, no 3, p. 141-150.

KOTHIYAL, M.; KAUR, M & DHIMAN, A. A comparative study on removal efficiency of Sulphide and COD from the tannery effluent by using oxygen injection and aeration. *International Journal of Environmental Research*, 2016, vol. 10, no 4, p. 525-530.

MALDONADO, V. Plantas de filtración rápida Manual I: Teoría. 2004.

METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales. tratamiento, vertido y reutilización. 3era ed. Madrid-España: McGraw-Hill, 1995. ISBN 0 07 041690 7. DOI 10.1036/0070418780, pp. 100-200

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Acuerdo Ministerial 097-A, Anexos De Normativa, Reforma Libro VI Del Texto Unificado De Legislacion Secundaria Del Ministerio Del Ambiente [En línea] 2015. [Consulta: 20 de diciembre de 2020.] Disponible en: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf

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

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

NAZER, D., et al. Reducing the environmental impact of the unhairing–liming process in the leather tanning industry. *Journal of cleaner production*, 2006, vol. 14, no 1, p. 65-74.

NOUSOPOULOS, C., et al. Greywater characterization and loadings - Physicochemical treatment to promote onsite reuse, *J Environ Manage*, 216 (2018), 337-346.

NÚÑEZ ORTIZ, Vinicio Fernando. Los costos de la materia prima y su incidencia en los niveles de producción de gelatina pura en Prodegel SA. 2015. Tesis de Maestría. Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Contabilidad y Auditoría. Dirección de Posgrado.

PATEL, P. et al. Treatment of greywater using waste biomass derived activated carbons and integrated sand column, *Sci Total Environ*, 711 (2020).

RAS, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. Tratamiento de Aguas Residuales. Sitio web de “Ministerio de Desarrollo Económico”. [En línea] Noviembre de 2000. [Consulta: 12 de Diciembre 2020.] Disponible en: http://cra.gov.co/apcafiles/37383832666265633962316339623934/7._Tratamiento_de_aguas_residuales.pdf.

ROMERO, J. Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de Diseño. Bogota : Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2010.

SAMAL, M., et al. A pilot scale study of greywater treatment using gravel sand followed by granular activated carbon. *Kathmandu University Journal of Science, Engineering and Technology*, 2020, vol. 14, no 2. Pp. 1-6

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

SONG, Z. et al. Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation. *Desalination*, 2004, vol. 164, no 3, p. 249-259.

SONUNE, A. & GHATE, R. Developments in wastewater treatment methods. *Desalination*, 2004, vol. 167, p. 55-63.

UBEROI NK. Environmental Management. Excel Books Publisher, New Delhi, 2003, p. 269.

ZHAO, C. & CHEN, W. A review for tannery wastewater treatment: some thoughts under stricter discharge requirements. *Environmental Science and Pollution Research*, 2019, vol. 26, no 25, p. 26102-2611

ANEXOS

ANEXO A: MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE

A	B	C	D									
												
<p>Notas</p> <ul style="list-style-type: none"> A. Toma de muestras B. Sólidos sedimentables C. Determinación de DQO D. Determinación de DBO 												
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">Dib.</td> <td style="width: 15%;">Fecha</td> <td style="width: 25%;">Nombre</td> </tr> <tr> <td>Rev.</td> <td>04/02/2021</td> <td>Acosta Karen</td> </tr> <tr> <td>Aprob</td> <td>03/09/2021</td> <td></td> </tr> </table>	Dib.	Fecha	Nombre	Rev.	04/02/2021	Acosta Karen	Aprob	03/09/2021		<p>Denominación: Muestreo y caracterización del agua residual de Pelambre</p>
Dib.	Fecha	Nombre										
Rev.	04/02/2021	Acosta Karen										
Aprob	03/09/2021											
		<p style="text-align: center;">  ESPOCH Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química </p>	<p>N° dibujo: 01 de 11</p>									
												

ANEXO B: PRUEBAS DE TRATABILIDAD

A



B



C



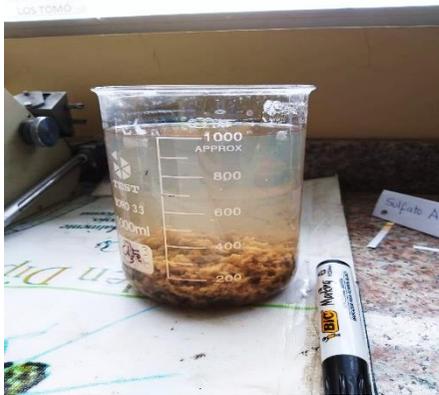
Notas

- A. Aireación del agua residual
- B. Test de jarras
- C. Elección del coagulante

Dib.	Fecha	Nombre	Denominación:
Rev.	04/02/2021	Acosta Karen	Pruebas de tratabilidad
Aprob.	03/09/2021		
 ESPOCH Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química			N° dibujo: 02 de 11



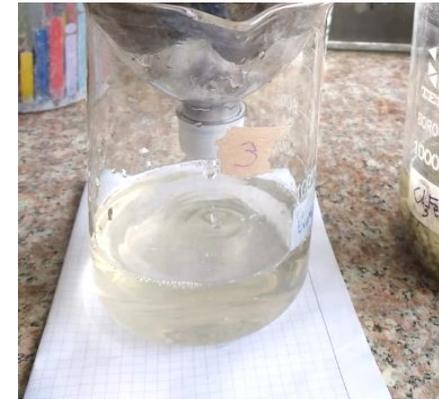
D



E



F



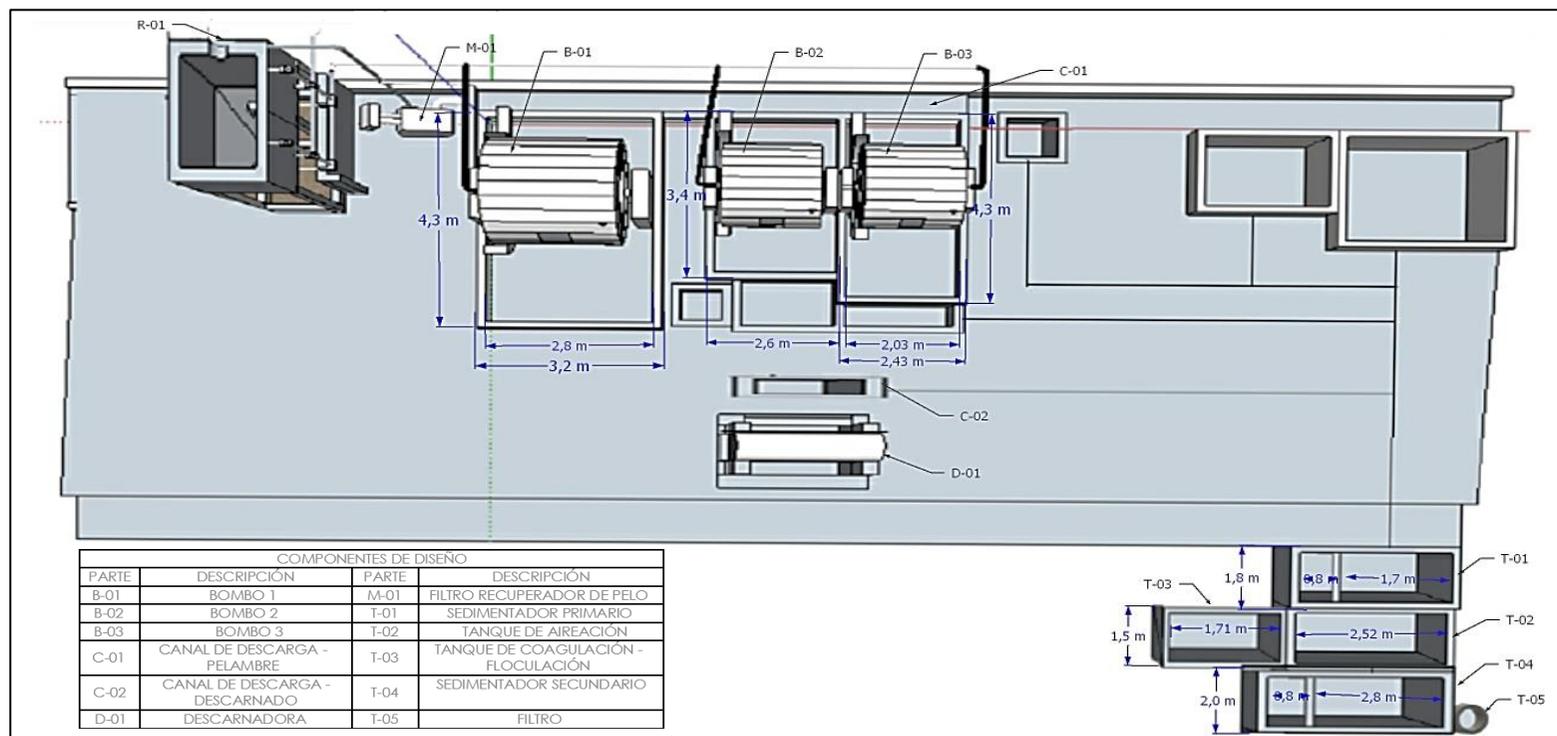
Notas

- D. Dosis óptima de coagulante - floculante
- E. Filtración del agua tratada
- F. Agua tratada

Dib.	Fecha	Nombre	Denominación:
Rev.	04/02/2021	Acosta Karen	Pruebas de tratabilidad
Aprob.	03/09/2021		

 ESPOCH Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química	N° dibujo:	03 de 11	

ANEXO C: SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL IMPLEMENTADO A LA CURTIDURÍA “CURTIAL”



Dib.	Fecha	Nombre
Rev.	04/02/2021	Acosta Karen
Aprob.	03/09/2021	

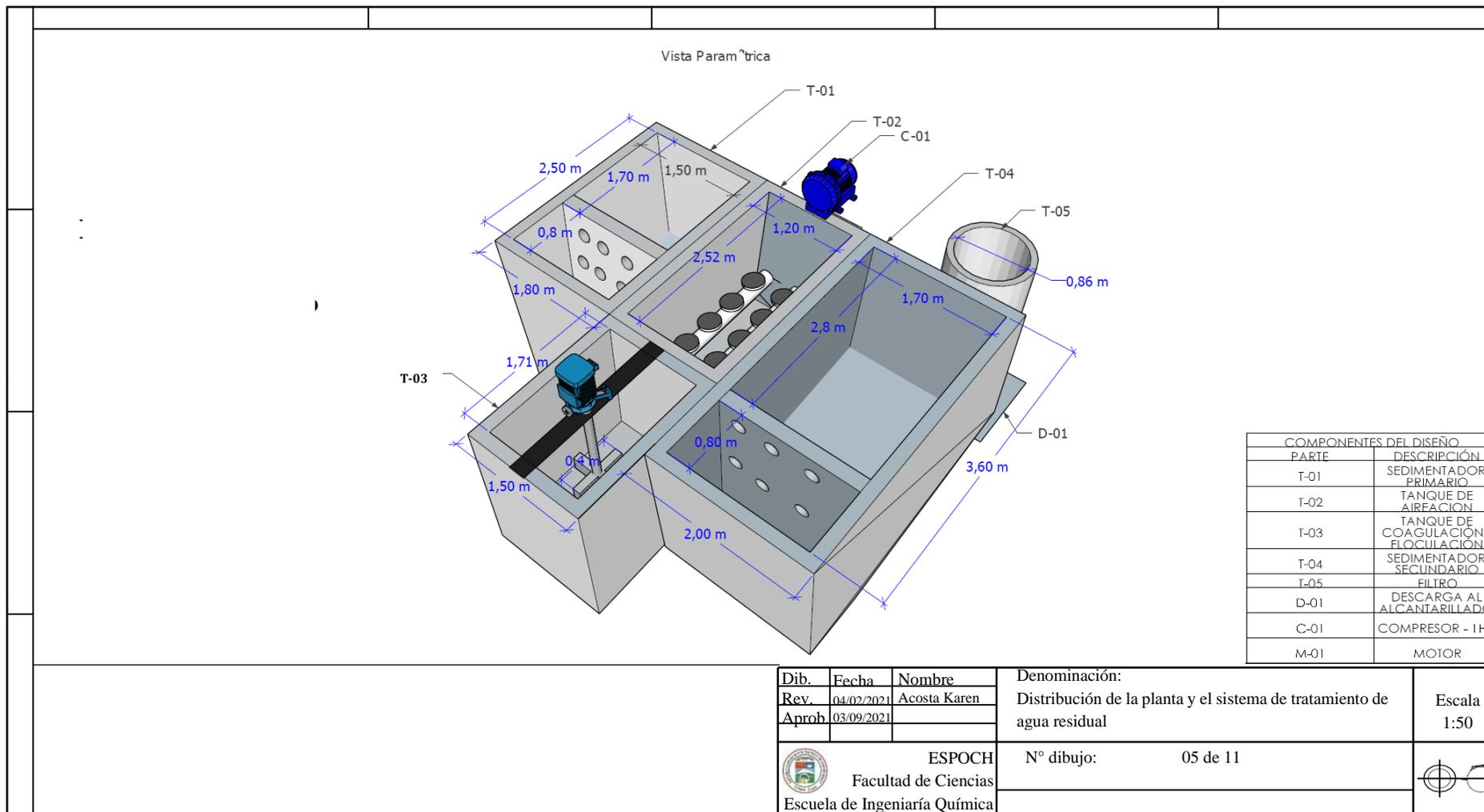

ESPOCH
 Facultad de Ciencias
 Escuela de Ingeniería Química

Denominación:
Distribución de la planta y el sistema de tratamiento de agua residual - Vista Superior

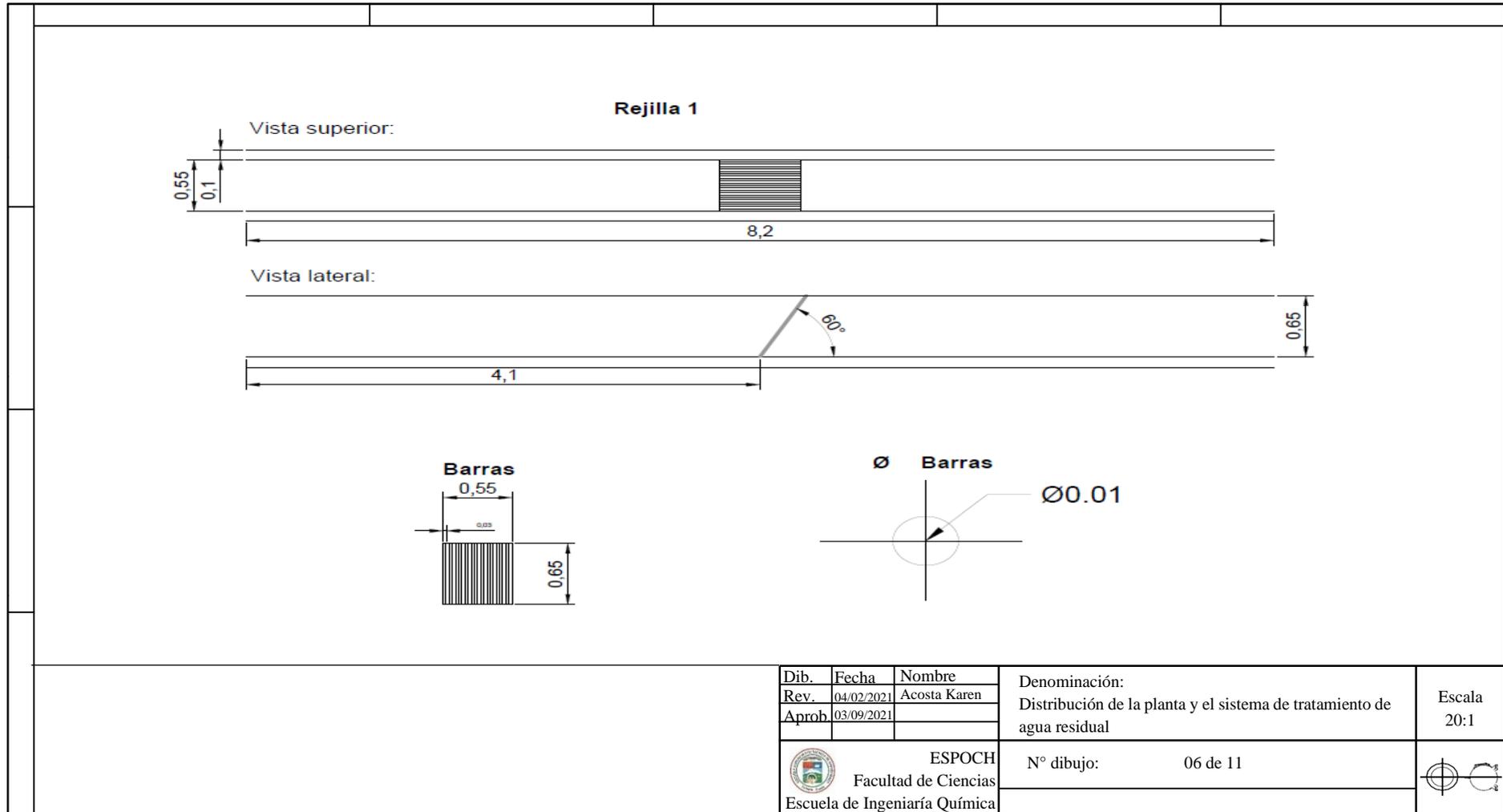
N° dibujo: 04 de 11



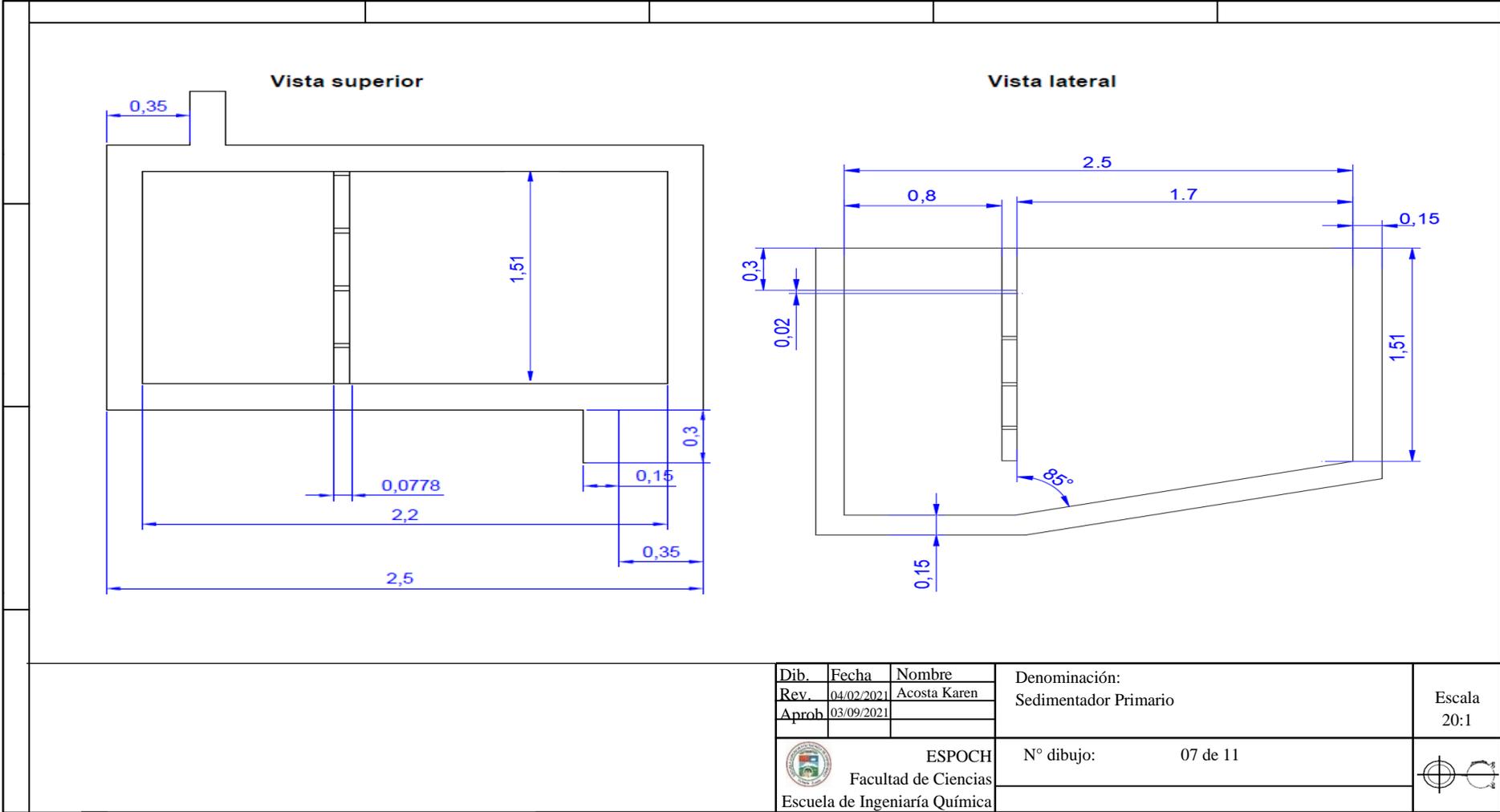
ANEXO D: DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE



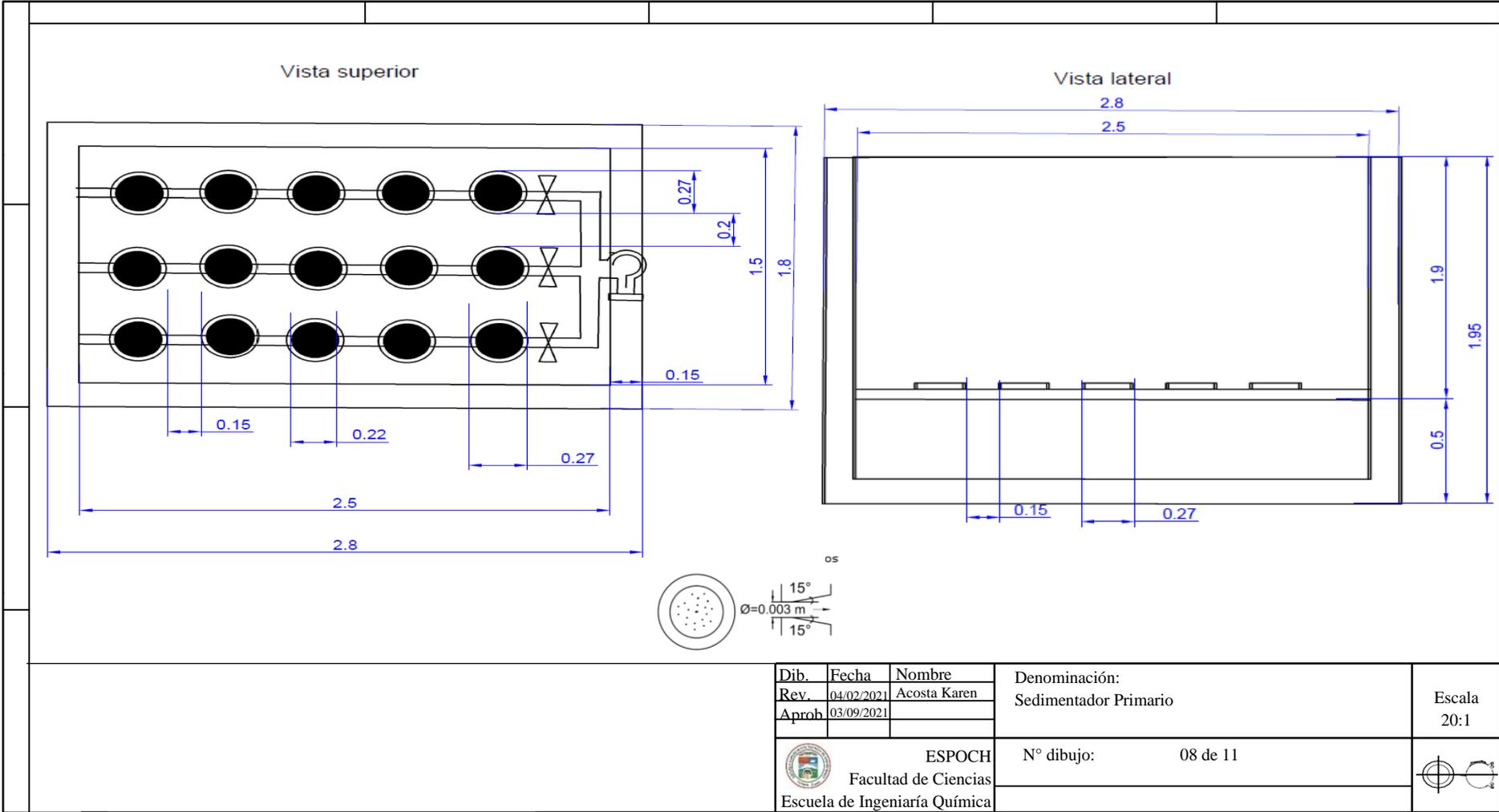
ANEXO E: CANAL Y REJILLAS PARA CAPTACIÓN DE AGUA RESIDUALES DE PELAMBRE



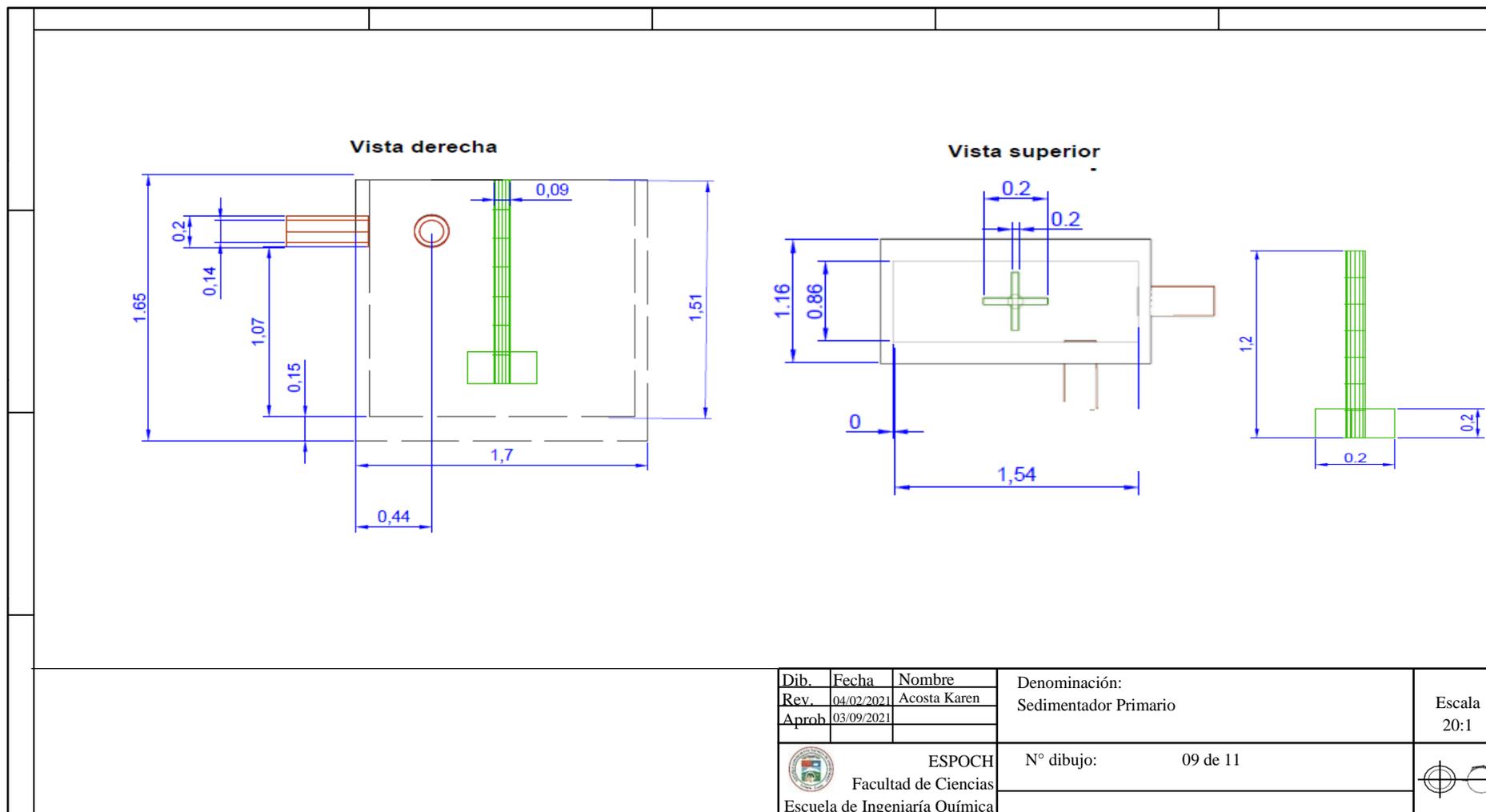
ANEXO F: DIMENSIONAMIENTO DEL SEDIMENTADOR PRIMARIO



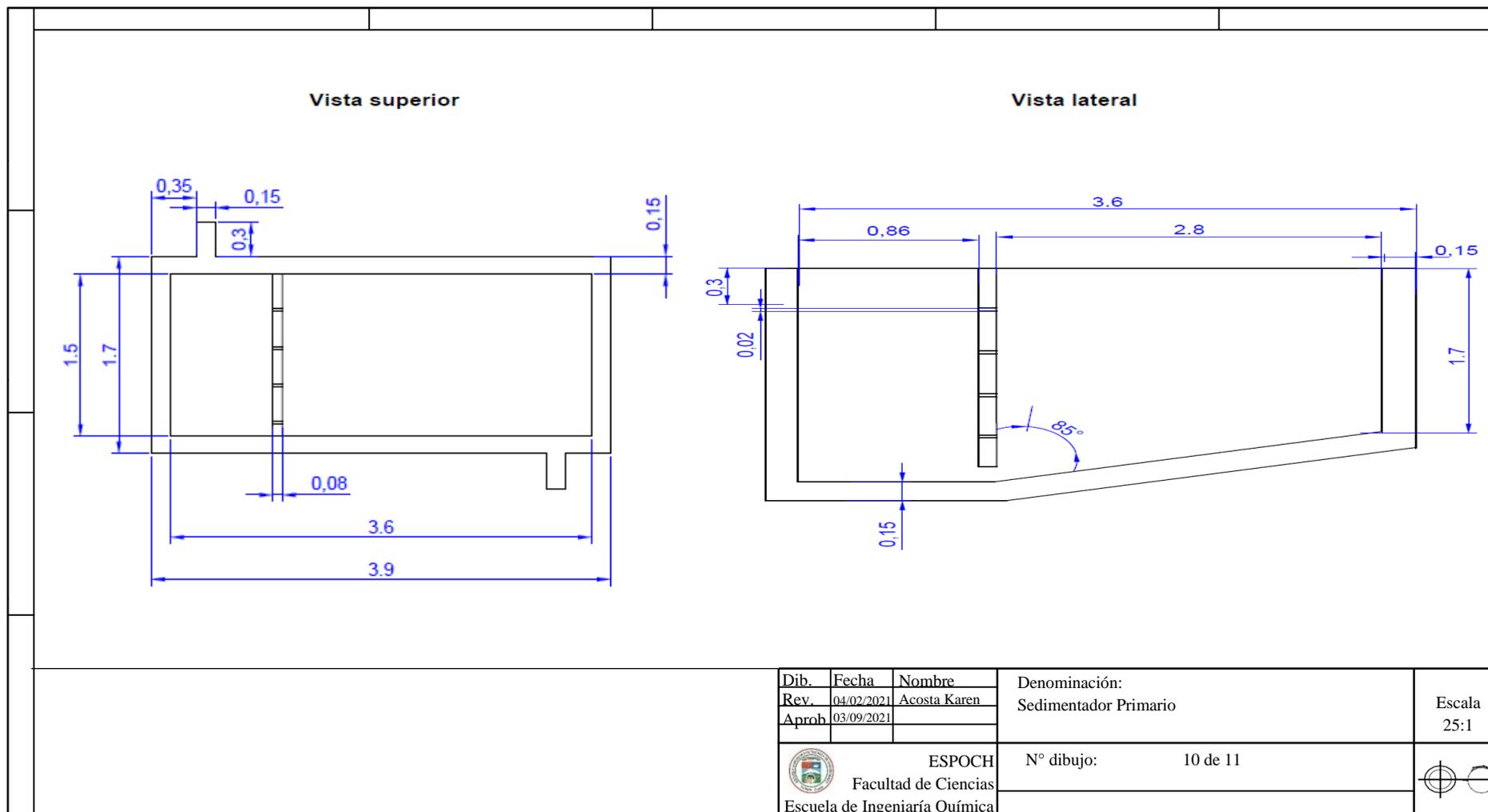
ANEXO G: DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE AIREACIÓN



ANEXO H: DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN

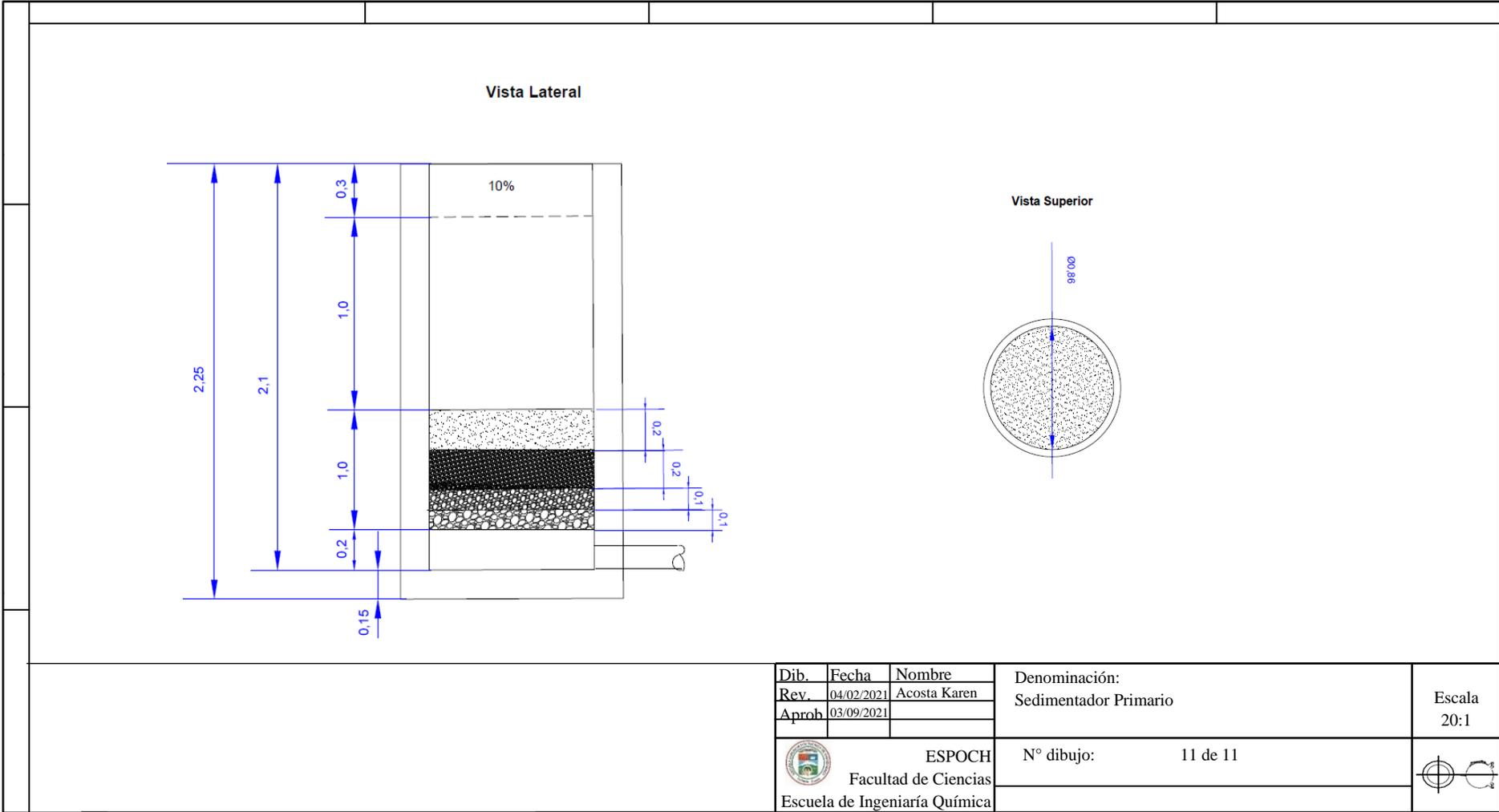


ANEXO I: DIMENSIONAMIENTO DEL SEDIMENTADOR SECUNDARIO



Dib.	Fecha	Nombre	Denominación: Sedimentador Primario	Escala 25:1
Rev.	04/02/2021	Acosta Karen		
Aprob.	03/09/2021			
 ESPOCH Facultad de Ciencias Escuela de Ingeniería Química			N° dibujo: 10 de 11	

ANEXO J: DIMENSIONAMIENTO DEL FILTRO VERTICAL



ANEXO K: FICHA TÉCNICA DEL DIFUSOR

OXYPLATE 9 EPDM LP

MEMBRANE: EPDM LP - PERFORATION: FINE BUBBLE

Features

Membrane thickness	mm	2,0±0,15
Active surface	m ²	0,038
Orifice	mm	6
Threaded connection		3/4" NPT
Weight	Kg	0,7



Membrane Features

Density (ISO 2781)	g/cm ³	1,06±0,02
Hardness (ISO 53505)	Shore A	60±5
Tensile strength	MPa	> 10,0
Tear resistance	N/mm	> 4,0
Elongation (ISO 37)	%	> 400
Tension set (ISO 2285) 24h at 100% extension	%	< 5,0

Materials

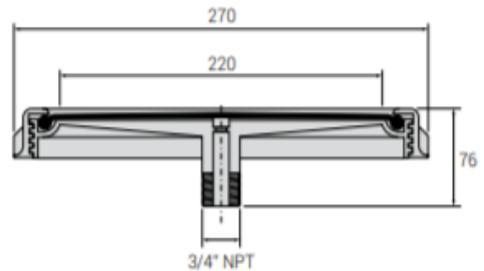
Membrane	EPDM low plasticizers
Support	PP GF 30
Ring nut	PP GF 30

Performances

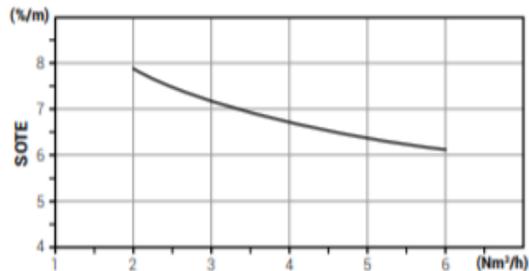
Min. operating flow	Nm ³ /h	2
Max. operating flow	Nm ³ /h	6
Max. overload flow*	Nm ³ /h	10
Operating temperature	°C	0-80
Operation mode		Intermittent / continuous
Application		Municipal & industrial

* max. 10 min. for membrane cleaning, test etc..

Dimensions

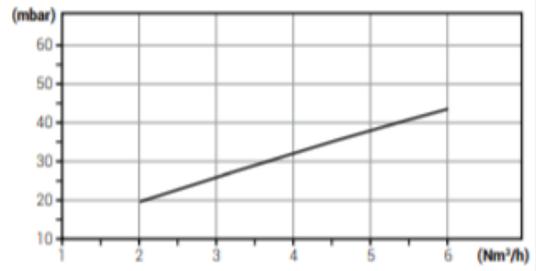


Oxygen transfer
density 7.5% - test according atv-m 209



Airflow per diffuser

Headloss



Airflow per diffuser

ANEXO L: FICHA TÉCNICA DEL SOPLADOR

SOPLADORES DE AIRE (AIR BLOWERS)

CARACTERÍSTICAS:

- Blowers compactos de aire y diesel de excelente calidad.
- Servicio continuo desde 1.5 a 9 kW (2.0 to 12 HP).
- Placas y revestimientos de alta gama para protección contra los ambientes más corrosivos.
- Diseñado para trabajar en altas temperaturas (hasta 50°C).
- Disponible en modelos de 50 - 60 Hz



EQUIPOS EN STOCK:



BLOWERS DE AIREACIÓN

Para acuicultura y otros usos industriales

BLOWERS	MARCA	VOLTAJE	CORRIENTE (AMP)	PRESIÓN DE AIRE MÁX. (Kpa)	FLUJO MÁX. (M3/H)	POTENCIA (KW)	POTENCIA (HP)	REV/MIN
Blower de 2HP Monofásico	HIDROTERMAL	110V-220V	11,8	26	180	1,5	2	2800
Blower de 2,4 HP Monofásico	HIDROTERMAL	220V	14,16	31	215	1,8	2,4	3400
Blower de 3HP Monofásico	HIDROTERMAL	220 V	8,52	36	210	2,2	3	2800
Blower de 4HP Monofásico	HIDROTERMAL	220 V	11,07	37	230	3	4	2800
Blower de 5.5 HP Trifásico 220V-440V	HIDROTERMAL	220 V	14,15	38	250	4	5,5	2800
Blower de 5 HP Monofásico	PENTAIR	220 V	6,39	44	276	3,6	5	3400
Blower de 5 HP Motor Baldor Monofásico 220V	HIDROTERMAL	220 V	6,39	44	276	3,6	5	3400
Blower de 7 HP con Motor a Diesel	HIDROTERMAL	220V	19,23	42	430	5,5	7	2800
Blower 10 HP motor Baldor trifasico	PENTAIR	220V	25,98 A	45	450	7,5	10	2800
Blower de 10 HP sin motor	HIDROTERMAL	220 V	25,98 A	45	450	7,5	10	2800
Blower 12 HP Eléctrico con motor	HIDROTERMAL	220 V	34,19	52	540	9	12	3400
Blower con motor a Diesel 10 HP	HIDROTERMAL	220 V	25,98	45	450	7,5	10	2800

NOTA: Medidas promedio: Ancho 40 cm x Largo 50 cm x Alto 37 cm

ANEXO M: FICHA TÉCNICA DEL MOTOR Y PALETAS

FLOCULADORES

SERIE FET
(Floculadores de dos palas)

FET



La gama FET son agitadores lentos utilizados generalmente para la floculación en potabilizadoras, depuradoras y plantas desaladoras.

Como elemento propulsor incorporan una turbina bipala de gran paso que a bajas velocidades aporta un elevado caudal de circulación al medio favoreciendo la rápida formación y crecimiento de los flóculos manteniendo unos consumos de energía reducidos.

La potencia del motor se transmite al eje a través de un reductor de engranajes helicoidales seleccionado con amplio factor de servicio que garantiza una larga vida útil de sus componentes reduciendo al mínimo las operaciones de mantenimiento.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Motorreductor de engranajes helicoidales.
Velocidad de 2 a 40 rpm.
Acoplamiento rígido.
Eje tubular.
Hélice turbina FET® de 2 palas.

APLICACIONES

Floculación.
Recirculación.

LÍMITES OPERACIONALES

Velocidad periférica < 1,5 m/s.
Se permite su funcionamiento durante el llenado o vaciado del depósito.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Motor trifásico.
Potencia mínima 0,18 kW.
Frecuencia 50/60 Hz.
Tensiones especiales.

MATERIAL DE FABRICACIÓN

Acero al carbono.
Acero inoxidable AISI304 o AISI316.
Aleaciones especiales.

OPCIONES

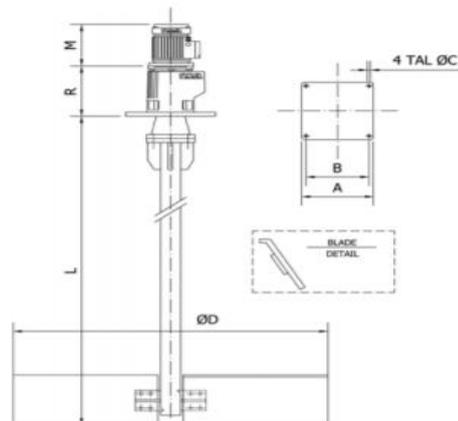
Variador de velocidad.
Revestimientos para eje y hélice.

* Los agitadores TIMSA están diseñados para trabajar 24 horas del día. Siete días a la semana.

* Somos conscientes de la importancia de la trazabilidad del material y elementos empleados en la fabricación de nuestros equipos. Junto con el suministro de cualquier agitador TIMSA se incluye un paquete completo de documentación con certificados de conformidad, certificados de calidad 3.1 y dossier de soldadura entre otros.

Volumen (m³) Aprox.	Modelo	kW	Rpm	Q (m3/h)	M (mm)	R (mm)	L (mm)	D (mm)	Peso (Kg)
5	FET-01 10 C 03	0,18	40	412	188	175	1.500	600	50
10	FET-01 10 C 05	0,18	36	727	188	175	1.700	800	70
30	FET-04 08 C 09	0,55	25	1.830	215	210	2.000	1.300	100
50	FET-06 07 C 10	0,75	22	2.700	232	272	2.200	1.600	140
100	FET-07 06 C 12	1,5	17	5.722	267	313	3.000	2.000	250
200	FET-08 06 C 13	2,2	15	7.400	305	405	4.000	2.400	400
300	FET-09 06 C 14	3	13	10.538	305	442	5.000	2.800	600

Placa de fijación	A (mm)	B (mm)	C (mm)
FET-01 10 C 03	280	230	16
FET-01 10 C 05	280	230	16
FET-04 08 C 09	300	250	16
FET-06 07 C 10	300	250	16
FET-07 06 C 12	400	350	18
FET-08 06 C 13	520	460	24
FET-09 06 C 14	620	560	28



* Los agitadores TIMSA están diseñados para trabajar 24 horas del día. Siete días a la semana.

* Somos conscientes de la importancia de la trazabilidad del material y elementos empleados en la fabricación de nuestros equipos. Junto con el suministro de cualquier agitador TIMSA se incluye un paquete completo de documentación con certificados de conformidad, certificados de calidad 3.1 y dossier de soldadura entre otros.

ANEXO N: RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE PELAMBRE



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA
FACULTAD DE CIENCIAS**
Casilla 06-01-4703 Telefax: 29980200 ext 332
Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Karen Estefanía Acosta Guamán

Fecha de Análisis: 12 – Enero - 2021

Tipo de muestras: Agua Residual Tratada de Pelambre / Curtiduría “CURTIAL”

Localidad: Parroquia Totoras – Cantón Ambato – Provincia de Tungurahua

TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	-	4500-B	6-9	6,50
Turbiedad	NTU	2130-B	-	31,00
Temperatura	°C	2510-B	Condición natural ±3	21,00
Conductividad	µS/cm	2510-B	-	6 400,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250,00	137,00
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500,00	280,00
Sólidos Sedimentables	ml/L	2540-B	20,00	< 0,1
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-D	220,00	75,00
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1 600,00	243,00
Sulfatos	mg/L	2400-SO4-B	400,00	83,00
Sulfuros	mg/L	4500-S-2-E	1,00	32,00
Aceites y grasas	mg/L	5520-B	70,00	7,20

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

**AM 0-97 A, Reforma TULSMA Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

ANEXO O: RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL TRATADA DE PELAMBRE



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

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

Casilla 06-01-4703 Telefax: 29980200 ext 332
Riobamba – Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Karen Estefanía Acosta Guamán

Fecha de Análisis: 21 – Diciembre - 2020

Tipo de muestras: Agua Residual de Pelambre / Curtiduría "CURTIAL"

Localidad: Parroquia Totoras – Cantón Ambato – Provincia de Tungurahua

TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
pH	-	4500-B	6-9	11,91
Turbiedad	NTU	2130-B	-	791,00
Temperatura	°C	2510-B	Condición natural ±3	21,00
Conductividad	µS/cm	2510-B	-	9 570,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	250,00	8 400,00
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	500,00	20 100,00
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	20,00	2,00
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2540-D	220,00	849,00
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1 600,00	2 220,00
Sulfatos	mg/L	2400-SO4-B	400,00	950,00
Sulfuros	mg/L	4500-S-2-E	1,00	449,00
Aceites y grasas	mg/L	5520-B	70,00	14,00

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

**AM 0-97 A, Reforma TULSMA Tabla 8. Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



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

Fecha de entrega: 21 / 10 / 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)

Nombres – Apellidos: *Karen Estefanía Acosta Guamán*

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

Facultad: *Ciencias*

Carrera: *Ingeniería Química*

Título a optar: *Ingeniera Química*

f. Analista de Biblioteca responsable: *Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.*

LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS

Firmado digitalmente por LUIS
ALBERTO CAMINOS
VARGAS
DN: cn=LUIS ALBERTO
CAMINOS VARGAS o=EC
=CHIMBORAZO
Ubicación:
Fecha: 2021.10.21
16:19:05.00



0993-DBRAI-UTP-2021