



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

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

**Trabajo de Titulación**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar el grado académico de:

**INGENIERA QUÍMICA**

**AUTORA:** LISBETH XIOMARA DAQUILEMA SUCUNOTA

**DIRECTORA:** ING. MABEL MARIELA PARADA RIVERA, M.Sc

RIOBAMBA - ECUADOR

2019

**@2019, Lisbeth Xiomara Daquilema Sucunota**

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, Lisbeth Xiomara Daquilema Sucunota; 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 del trabajo de titulación.

Riobamba, 22 de Julio del 2019

-----  
Lisbeth Xiomara Daquilema Sucunota

C.I: 092118144-2

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

El Tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo técnico: “**Rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la Curtiembre Curtipiel Martínez de la ciudad de Ambato**”, de responsabilidad de la señorita Lisbeth Xiomara Daquilema Sucunota, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Titulación, quedando autorizada su presentación.

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Mabel Mariela Parada Rivera

**DIRECTORA DEL TRABAJO  
DE TITULACIÓN**

-----

-----

Ing. Daniel Antonio Chuquín

Vasco

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

-----

-----

## **DEDICATORIA**

Agradezco a Dios por haberme dado la vida y permitirme llegar hasta este momento tan importante de mi formación académica.

A mi madre por siempre estar conmigo en todo momento e inculcarme buenos valores. A mi padre por guiar mis pasos y su apoyo incondicional, quienes con su infinito amor, han sido mi mayor fortaleza en estos años de esfuerzo y dedicación académica, por su paciencia y por no haberme permitido decaer en mis peores momentos.

A mis hermanas por haber sido mi más grande inspiración para cumplir mis sueños y seguir mejorando día a día.

A mi mamita Zoila por ser una mujer que me ha inculcado la humildad y por su apoyo incondicional.

A mi compañero amigo y confidente Enrique, por su apoyo y amor infinito.

*Lisbeth Xiomara*

## AGRADECIMIENTO

A Dios por ser luz y guía en mi vida.

A mis padres por su dedicación y apoyo incondicional.

A mis hermanas quienes han sido mi mayor inspiración.

A la Familia Zavala López por guiarme por el camino del bien y su gran apoyo.

A Enrique que con paciencia y dedicación ha cuidado de mí y siempre con su apoyo y amor ha estado en cada paso que doy.

A la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO por mi formación académica.

A mis docentes quienes guiaron mi trabajo de titulación Ing. Mabel Parada, Ing. Daniel Chuquín.

A la doctora Gina Álvarez por todos los conocimientos impartidos durante mi trabajo de titulación, y por brindarme esa acogedora amistad.

Al Ing. Marco Chuiza por ser un docente excepcional, y brindarme su amistad.

A mis amigos que con su compañía y paciencia han estado en todo momento, quienes me han sido mi segunda familia especialmente: Sandra T, Oscar O, Verónica Q, Marcia G, Paola H, Liliana O, Maribel M, Jessenia Ch, Andrés L, Jannina B, Erika Z, siempre los llevare en mi corazón.

Agradezco a cada una de las personas que me han sabido apoyar en mi formación académica.

Lisbeth Xiomara

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN.....</b>	<b>xvii</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>xviii</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1. Identificación del problema .....	1
1.2. Justificación del proyecto .....	1
1.3. Línea Base del proyecto.....	2
1.3.1. <i>Antecedentes proyecto de investigación</i> .....	2
1.3.2. <i>Antecedentes del proceso de producción de curtiembre “CURTIPEL MARTINEZ”</i> .....	3
1.3.3. <i>Ubicación geográfica y división administrativa</i> .....	7
1.3.4. <i>Situación demográfica</i> .....	8
1.3.5. <i>Componente Económico</i> .....	8
1.3.6. <i>Componente Biofísico</i> .....	9
1.3.7. <i>Impacto ambiental generado por curtiembres</i> .....	11
1.3.8. <i>Curtiembres</i> .....	14
1.3.9. <i>Proceso de curtido</i> .....	15
1.3.10. <i>Estado actual descarga de efluentes</i> .....	22
1.3.11. <i>Tratamiento de efluentes</i> .....	23
1.4. Beneficiarios directos e indirectos.....	28
1.4.1. <i>Beneficiarios Directos</i> .....	28
1.4.2. <i>Beneficiarios Indirectos</i> .....	28
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>29</b>
2.1. Objetivo General.....	29
2.2. Objetivos específicos .....	29
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>3. ESTUDIO TÉCNICO .....</b>	<b>30</b>
3.1. Localización del proyecto.....	30
3.2. Ingeniería del proyecto .....	31
3.2.1. <i>Tipo de estudio</i> .....	31
3.2.2. <i>Métodos</i> .....	32

3.2.3.	<i>Técnicas</i> .....	32
3.2.4.	<i>Resultados</i> .....	47
3.2.5.	<i>Cálculos de ingeniería</i> .....	84
3.3.	Procesos de producción .....	112
3.3.1.	<i>Diagrama preexistente planta de tratamiento de aguas Curtipel Martinez</i> .....	112
3.3.2.	<i>Diagrama rediseño planta de tratamiento de aguas</i> .....	114
3.3.3.	<i>Descripción etapas planta de tratamientos</i> .....	116
3.3.4.	<i>Distribución de equipos</i> .....	118
3.4.	Requerimientos de Tecnología, equipos y maquinaria .....	119
3.5.	Análisis de costos .....	121
3.6.	Cronograma de actividades.....	125
	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b> .....	<b>126</b>
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>130</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>132</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b> Datos parroquia de Izamba .....	7
<b>Tabla 2-1:</b> Sectores parroquia de Izamba.....	7
<b>Tabla 3-1:</b> Pendientes parroquia de Izamba.....	9
<b>Tabla 4-1:</b> Usos del suelo parroquia de Izamba .....	10
<b>Tabla 5-1:</b> Factores climáticos parroquia de Izamba .....	10
<b>Tabla 6-1:</b> Nivel de contaminación parroquia de Izamba .....	11
<b>Tabla 7-1:</b> Contaminantes generados en efluentes.....	12
<b>Tabla 8-1:</b> Residuos generados en curtiembres.....	13
<b>Tabla 9-1:</b> Etapas generadoras de efluentes .....	14
<b>Tabla 10-1:</b> Tipos de pelambre .....	17
<b>Tabla 11-1:</b> Tabla 9 Límites de descarga aun cuerpo de agua dulce.....	27
<b>Tabla 1-3:</b> Condiciones meteorológicas.....	30
<b>Tabla 2-3:</b> Condiciones meteorológicas Riobamba .....	31
<b>Tabla 3-3:</b> Técnicas utilizadas en el proyecto.....	33
<b>Tabla 4-3:</b> Proceso de curtido .....	33
<b>Tabla 5-3:</b> Proceso de pelambre.....	34
<b>Tabla 6-3:</b> Preservación muestras .....	34
<b>Tabla 7-3:</b> Equipos y materiales para determinación del caudal.....	35
<b>Tabla 8-3:</b> Medición de caudales .....	36
<b>Tabla 9-3:</b> Caudal promedio .....	36
<b>Tabla 10-3:</b> Medición de caudales .....	37
<b>Tabla 11-3:</b> Caudal promedio del agua .....	37
<b>Tabla 12-3:</b> Métodos Estándar para la caracterización físico-química del agua residual .....	39
<b>Tabla 13-3:</b> Cromo (hexavalente y total) .....	40
<b>Tabla 14-3:</b> DBO.....	41
<b>Tabla 15-3:</b> DQO .....	42
<b>Tabla 16-3:</b> Sólidos sedimentables .....	42
<b>Tabla 17-3:</b> Potencial de hidrógeno .....	43
<b>Tabla 18-3:</b> Sólidos suspendidos totales .....	43
<b>Tabla 19-3:</b> Sólidos totales.....	44
<b>Tabla 20-3:</b> Temperatura.....	44
<b>Tabla 21-3:</b> Turbiedad.....	45
<b>Tabla 22-3:</b> Sólidos totales disueltos .....	45
<b>Tabla 23-3:</b> Conductividad.....	46
<b>Tabla 24-3:</b> Sulfuros .....	46

<b>Tabla 25-3:</b> Índice de biodegradabilidad .....	47
<b>Tabla 26-3:</b> Caracterización inicial de la PTAR existente del efluente de curtido .....	47
<b>Tabla 27-3:</b> Caracterización inicial de la PTAR existente del efluente de Pelambre.....	47
<b>Tabla 28-3:</b> Caracterización inicial del efluente de curtido .....	48
<b>Tabla 29-3:</b> Caracterización inicial del efluente de pelambre.....	48
<b>Tabla 30-3:</b> Calculo de eficiencia del agua de curtido .....	48
<b>Tabla 31-3:</b> Calculo de eficiencia del agua de pelambre .....	48
<b>Tabla 32-3:</b> Datos para determinación del índice de biodegradabilidad efluente curtido.....	49
<b>Tabla 33-3:</b> Datos para determinación del índice de biodegradabilidad efluente pelambre .....	49
<b>Tabla 34-3:</b> Coagulantes y floculantes (curtido y pelambre) .....	51
<b>Tabla 35-3:</b> Selección de coagulante .....	51
<b>Tabla 36-3:</b> Prueba de jarras sobre muestra de agua del proceso de curtido .....	51
<b>Tabla 37-3:</b> Floculante con mejor remoción de turbidez .....	52
<b>Tabla 38-3:</b> Dosis óptima de floculante para tratamiento de efluente de curtido .....	53
<b>Tabla 39-3:</b> Tiempo de aireación según la concentración de sulfato de manganeso .....	54
<b>Tabla 40-3:</b> Selección de coagulante .....	54
<b>Tabla 41-3:</b> Prueba de jarras en la muestra de agua del proceso de pelambre .....	55
<b>Tabla 42-3:</b> Selección de floculante.....	55
<b>Tabla 43-3:</b> Dosis óptima de floculante para tratamiento del agua residual de pelambre.....	56
<b>Tabla 44-3:</b> Filtro para tratamiento .....	57
<b>Tabla 45-3:</b> Parámetros del efluente de curtido una vez aplicado los tratamientos de coagulación-floculación.....	57
<b>Tabla 46-3:</b> Parámetros del efluente de curtido una vez aplicado el filtrado.....	58
<b>Tabla 47-3:</b> Parámetros del efluente de curtido post-tratamientos.....	59
<b>Tabla 48-3:</b> Porcentaje de remoción de contaminantes del efluente de curtido.....	59
<b>Tabla 49-3:</b> Remoción turbiedad efluente de curtido.....	60
<b>Tabla 50-3:</b> Remoción DBO efluente de curtido .....	61
<b>Tabla 51-3:</b> Remoción DQO efluente de curtido .....	61
<b>Tabla 52-3:</b> Remoción cromo hexavalente efluente de curtido.....	62
<b>Tabla 53-3:</b> Remoción cromo total efluente de curtido .....	63
<b>Tabla 54-3:</b> Remoción sólidos suspendidos totales efluente de curtido.....	64
<b>Tabla 55-3:</b> Remoción sólidos totales efluente de curtido .....	65
<b>Tabla 56-3:</b> pH efluente de curtido .....	66
<b>Tabla 57-3:</b> Conductividad efluente de curtido.....	67
<b>Tabla 58-3:</b> Sólidos totales disueltos efluente de curtido.....	68
<b>Tabla 59-3:</b> Temperatura disueltos efluente de curtido.....	69

<b>Tabla 60-3:</b> Parámetros del efluente de pelambre una vez aplicado los tratamientos de coagulación-floculación.....	70
<b>Tabla 61-3:</b> Parámetros del efluente de pelambre una vez aplicado aireación y filtrado.....	71
<b>Tabla 62-3: Parámetros</b> del efluente de pelambre post-tratamientos .....	72
<b>Tabla 63-3:</b> Porcentaje de remoción de contaminantes del efluente de pelambre .....	72
<b>Tabla 64-3:</b> Remoción turbiedad efluente de pelambre .....	73
<b>Tabla 65-3:</b> Remoción DBO efluente de pelambre.....	74
<b>Tabla 66-3:</b> Remoción DQO efluente de pelambre.....	75
<b>Tabla 67-3:</b> Remoción sólidos suspendidos totales efluente de pelambre .....	76
<b>Tabla 68-3:</b> Remoción sólidos totales efluente de pelambre .....	77
<b>Tabla 69-3:</b> Remoción sulfuros efluente de pelambre .....	78
<b>Tabla 70-3:</b> pH efluente de pelambre.....	79
<b>Tabla 71-3:</b> conductividad efluente de pelambre .....	80
<b>Tabla 72-3:</b> Sólidos totales disueltos efluente de pelambre .....	81
<b>Tabla 73-3:</b> Temperatura disueltos efluente de pelambre .....	82
<b>Tabla 74-3:</b> Calculo de eficiencia del agua de curtido .....	83
<b>Tabla 75-3:</b> Calculo de eficiencia del agua de pelambre .....	83
<b>Tabla 76-3:</b> Diseño de tanque de almacenamiento (TQ-001) .....	85
<b>Tabla 77-3:</b> Diseño de tanque de almacenamiento (TQ-002) .....	86
<b>Tabla 78-3:</b> Diseño de alimentador químico (I-001).....	88
<b>Tabla 79-3:</b> Diseño de alimentador químico (I-002).....	89
<b>Tabla 80-3:</b> Diseño de alimentador químico (I-004).....	89
<b>Tabla 81-3:</b> Diseño de alimentador químico (I-003).....	90
<b>Tabla 82-3:</b> Diseño de alimentador químico (I-005).....	90
<b>Tabla 83-3:</b> Diseño de alimentador químico (I-006).....	91
<b>Tabla 84-3:</b> Diseño de dosificador de solidos (MX-001).....	92
<b>Tabla 85-3:</b> Diseño de tanque mezclador (TK-001). .....	94
<b>Tabla 86-3:</b> Dimensionamiento de motor para tanque (TK-001).....	95
<b>Tabla 87-3:</b> Diseño de tanque mezclador (TK-002). .....	95
<b>Tabla 88-3:</b> Dimensionamiento de motor para tanque (TK-002).....	96
<b>Tabla 89-3:</b> Diseño de tanque mezclador (TK-003). .....	96
<b>Tabla 90-3:</b> Dimensionamiento de motor para tanque (TK-003).....	97
<b>Tabla 91-3:</b> Diseño de tanque mezclador (TK-004). .....	97
<b>Tabla 92-3:</b> Dimensionamiento de motor para tanque (TK-004).....	98
<b>Tabla 93-3:</b> Dimensionamiento de tanque de almacenamiento (TQ-003). .....	99
<b>Tabla 94-3:</b> Diseño de tanque floculador (MF-001). .....	100
<b>Tabla 95-3:</b> Dimensionamiento compresor para de tanque floculador (MF-001).....	100

<b>Tabla 96-3:</b> Diseño de tanque floculador (MF-002).....	101
<b>Tabla 97-3:</b> Dimensionamiento compresor para de tanque floculador (MF-002).....	102
<b>Tabla 98-3:</b> Diseño de sedimentador (SD-001). ....	104
<b>Tabla 99-3:</b> Diseño de sedimentador (SD-002). ....	105
<b>Tabla 100-3:</b> Diseño de tanque de aireación (LA-001).....	107
<b>Tabla 101-3:</b> Diseño de tanque aireador y mezclador. (LA-002). ....	108
<b>Tabla 102-3:</b> Dimensionamiento compresor para de t Tanque aireador y mezclador (LA-002). .....	109
<b>Tabla 103-3:</b> Distribución de filtro experimental.....	110
<b>Tabla 104-3:</b> Diseño de filtro descendente (FT-001).....	111
<b>Tabla 105-3:</b> Tanques de almacenamiento.....	116
<b>Tabla 106-3:</b> Tanques mezcladores.....	117
<b>Tabla 107-3:</b> Floculadores .....	117
<b>Tabla 108-3:</b> Sedimentadores.....	117
<b>Tabla 109-3:</b> Laguna de aeración.....	117
<b>Tabla 110-3:</b> Laguna de aeración.....	118
<b>Tabla 111-3:</b> Materiales a implementar en el rediseño .....	119
<b>Tabla 112-3:</b> Consumo de reactivo por ciclo operativo y anual. (Costos anuales).....	121
<b>Tabla 113-3:</b> Costos por adquisición de equipos y maquinaria (Costo estimado de inversión inicial) .....	122
<b>Tabla 114-3:</b> Costos por inhalaciones de servicios y obras de adecuación (Inversión inicial). 123	
<b>Tabla 115-3:</b> Costos por personal. (Costos anuales).....	123
<b>Tabla 116-3:</b> Costos por personal. (Costos anuales).....	123

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b> Ubicación y Limites parroquia Izamba.....	8
<b>Figura 2-1:</b> Proceso general de Curtiembres.....	15
<b>Figura 3-1:</b> Recepción Materia Prima.....	16
<b>Figura 4-1:</b> Pre-tratamiento.....	16
<b>Figura 5-1:</b> Pre-tratamiento.....	17
<b>Figura 6-1:</b> Piel con epidermis.....	17
<b>Figura 7-1:</b> Secado.....	18
<b>Figura 8-1:</b> Descarnado.....	18
<b>Figura 9-1:</b> Desengrasado.....	19
<b>Figura 10-1:</b> Piquelado.....	19
<b>Figura 11-1:</b> Curtidora.....	20
<b>Figura 12-1:</b> Secado.....	20
<b>Figura 13-1:</b> Secado.....	21
<b>Figura 14-1:</b> Planchado del cuero.....	21
<b>Figura 15-1:</b> Clasificado del cuero.....	22
<b>Figura 16-1:</b> Almacenamiento del cuero.....	22
<b>Figura 17-1:</b> Desbaste.....	24
<b>Figura 18-1:</b> Rejillas.....	24
<b>Figura 19-1:</b> Tamices para efluentes.....	24
<b>Figura 20-1:</b> Trampas de grasa.....	25
<b>Figura 21-1:</b> Sedimentador.....	25
<b>Figura 22-1:</b> Sedimentador.....	25
<b>Figura 23-1:</b> Coagulación.....	26
<b>Figura 24-1:</b> Floculación.....	26
<b>Figura 1- 3:</b> Georreferencia Curtipiel Martínez.....	30
<b>Figura 2- 3:</b> Georreferencia Laboratorio calidad del agua.....	31
<b>Figura 3- 3:</b> Tanque de almacenamiento de agua con cromo (TQ-001), dimensiones en mm. .	86
<b>Figura 4- 3:</b> Tanque de almacenamiento de agua con sulfuro (TQ-002), dimensiones en mm.	86
<b>Figura 5- 3:</b> Esquema de diseño para tanque mezcladores verticales.....	93
<b>Figura 6- 3:</b> Tanque mezclador de ácido sulfúrico (TK-001), dimensiones en mm. ....	98
<b>Figura 7- 3:</b> Distribución de tanques mezcladores (TK-001, TK-002, TK-003, TK-004).....	99
<b>Figura 8- 3:</b> Tanque floculador para agua con cromo (MF-001), dimensiones en mm. ....	101
<b>Figura 9- 3:</b> Tanque floculador para agua con sulfuro (MF-002), dimensiones en mm. ....	102

<b>Figura 10- 3:</b> Tanque sedimentador de flujo horizontal para agua con cromo (SD-001). Dimensiones en mm. ....	105
<b>Figura 11- 3:</b> Tanque sedimentador de flujo horizontal para agua con sulfuro (SD-002). Dimensiones en mm. ....	106
<b>Figura 12- 3:</b> Tanque de aireación (LA-001). Dimensiones en mm. ....	108
<b>Figura 13- 3:</b> Tanque de aireación y dosificación de sulfato de aluminio (LA-001). ....	109
<b>Figura 14- 3:</b> Filtro de flujo descendente (FT-001). Dimensiones en mm. ....	111
<b>Figura 15- 3:</b> Distribución del proceso de tratamiento preexistente. ....	113
<b>Figura 16- 3:</b> Distribución del proceso de tratamiento preexistente. ....	115
<b>Figura 17- 3:</b> Vista general de posible distribución de planta, dimensiones en mm. ....	118

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-3:</b> Dosis de sulfato de aluminio .....	52
<b>Gráfico 2-3:</b> Dosis de floculante para efluente de curtido .....	53
<b>Gráfico 3-3:</b> Dosis de sulfato de aluminio efluente de pelambre.....	55
<b>Gráfico 4-3:</b> Dosis de floculante efluente de pelambre.....	56
<b>Gráfico 5-3:</b> Remoción turbiedad .....	60
<b>Gráfico 6-3:</b> Remoción DBO .....	61
<b>Gráfico 7-3:</b> Remoción DQO.....	62
<b>Gráfico 8-3:</b> Cromo hexavalente.....	63
<b>Gráfico 9-3:</b> Cromo total.....	64
<b>Gráfico 10-3:</b> Sólidos suspendidos totales .....	65
<b>Gráfico 11-3:</b> Sólidos totales.....	66
<b>Gráfico 12-3:</b> pH.....	67
<b>Gráfico 13-3:</b> Conductividad .....	68
<b>Gráfico 14-3:</b> Sólidos totales disueltos .....	69
<b>Gráfico 15-3:</b> Temperatura.....	70
<b>Gráfico 16-3:</b> Remoción de turbiedad.....	74
<b>Gráfico 17-3:</b> Remoción DBO .....	75
<b>Gráfico 18-3:</b> Remoción DQO.....	76
<b>Gráfico 19-3:</b> Remoción de sólidos suspendidos totales.....	77
<b>Gráfico 20-3:</b> Remoción de sólidos totales .....	78
<b>Gráfico 21-3:</b> Remoción de sulfuros .....	79
<b>Gráfico 22-3:</b> Remoción de sulfuros.....	80
<b>Gráfico 23-3:</b> Remoción de conductividad .....	81
<b>Gráfico 24-3:</b> Remoción de sólidos totales disueltos.....	82
<b>Gráfico 25-3:</b> Remoción de temperatura.....	83

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** Caracterización inicial del agua de Curtido.

**ANEXO B:** Caracterización inicial del agua de Pelambre.

**ANEXO C:** Caracterización inicial de cromo Hexavalente y Total.

**ANEXO D:** Muestreo.

**ANEXO E:** Test de Jarras

**ANEXO F:** Caracterización del agua residual de Curtido tratada (Coagulación-Floculación).

**ANEXO G:** Caracterización del agua residual de Curtido tratada (Coagulación-Floculación+ Aireación y Filtro).

**ANEXO H:** Caracterización del agua residual de Pelambre tratada (Coagulación-Floculación).

**ANEXO I:** Caracterización del agua residual de Pelambre tratada (Coagulación-Floculación+ Aireación y Filtro).

**ANEXO J:** Distribución del Rediseño de PTAR

**ANEXO K:** Dimensionamiento del tanque de almacenamiento de agua residual.

**ANEXO L:** Dimensionamiento del Floculador.

**ANEXO M:** Dimensionamiento del Sedimentador Rectangular

**ANEXO N:** Dimensionamiento del tanque de almacenamiento de Reactivos.

**ANEXO O:** Descripción de la PTAR del Rediseño

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de titulación es rediseñar la planta de tratamientos de aguas de la empresa “CURTIPIEL MARTÍNEZ” ya que la planta no cuenta con un sistema adecuado para la reducción de contaminantes, se inició con el muestreo del efluente tomando las muestras directamente de los bombos de las etapa del curtido y pelambre, luego se procede a realizar la caracterización físico-química de agua de curtido y pelambre, para el agua residual de curtido se caracterizó los parámetros de DBO, DQO, turbidez, sólidos disueltos, sólidos totales, sólidos totales suspendidos, temperatura, pH, cromo hexavalente y cromo total para el agua residual de pelambre se evaluaron los mismos parámetros a excepción del cromo hexavalente y total, en el análisis del efluente de pelambre se incluyó el análisis de sulfuros, una vez caracterizada las muestras se determina los índices de biodegradabilidad, luego se procede a realizar la prueba de jarras donde se determinó que el coagulante  $Al_2(SO_4)_3$  y el floculante aniónico eran las sustancias idóneas para tratar ambos efluentes, en el caso del agua residual de pelambre se realiza un proceso de aireación para disminuir los sulfuros, posteriormente a ambos efluentes se les aplica un proceso de filtrado, después se caracteriza los efluentes tratados y se determina una reducción de todos los parámetros a excepción de la temperatura, Sólidos totales disueltos, conductividad, pH que en el caso del efluente de curtido se da un aumento de estos parámetros pero sin salirse de los límites dados por la norma, una vez caracterizada la muestra se realiza el rediseño de la planta la cual constará de: Cilindros curtidores, trampas de grasas, tanques de almacenamiento, Alimentadores químicos, floculadores, mezcladores, clarificador y un filtro descendente llegando a la conclusión que el rediseño propuesto ayudará a la empresa a tratar de mejor manera sus efluentes.

**Palabras clave:** <INGENIERIA Y TECNOLOGIA QUIMICA>, <EFLUENTE DE CURTIDO>, <EFLUENTE DE PELAMBRE>, <CARACTERIZACIÓN FISICO-QUIMICA>, <INDICE DE BIODEGRADABILIDAD>, <REDISEÑO >

## SUMMARY

This thesis project is aimed at redesigning the water treatment plant of “CURTIPIEL MENTÍNEZ” Company since the plant does not have an adequate system for the pollutants reduction, it has started with the sampling of the effluent taking samples directly from the drums of the tanning and liming stage, then it is quickly proceeded to carry out the physical-chemical characterization of water liming and tanning, for the tanning residual water the BOD(Biochemical Oxygen Demand, COD(Chemical Oxygen Demand) parameters were characterized, as well as turbidity dissolved solids, total solids, total suspended solids, temperature, pH, hexavalente chromium and total chromium for the residual wastewater were evaluated with the same parameters except for hexavalent chromium and total, in the effluent analysis of the liming process the analysis of sulfides were included, once the samples have been characterized the biodegradability indexes are determined, afterwards it is proceeded to perform the jar test where it was determined that the coagulant A12 (SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> and the anionic flocculants were the ideal substances to treat both effluents, in the case of wastewater from wash lime, an aeration process is carried out to reduce the sulfides, subsequently a filtering process is applied to both effluents, then the treated effluents are characterized and a reduction of all parameters is determined with the exception of the temperatura, total dissolved solids, conductivity, pH, which in the case of the tannery effluent has a rise on these parameters but without going beyond the fixed limits by the book, once the sample is characterized, the plant redesing will be carried out, which will include: Tanning cylinders, grease traps, storage tanks, chemical feeders, flocculators, mixers, water clarifier and a downward- continuation filter, while concluding that the proposed redesign approach will help the company to improve its effluents treatment en a more efficient manner.

**KEY WORDS:** <CHEMICAL ENGINEERING AND TECHNOLOGY>, <TANNING PROCESS EFFLUENT>, <LIMING PROCESS EFFLUENT>, <PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION>, <BIODEGRADABILITY INDEX>, <REDESIGN>.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1. Identificación del problema

En la provincia de Tungurahua la industria del cuero es el mayor factor económico, donde se estima que casi el 80% de las industrias curtidoras del país se encuentran en dicha provincia, siendo esta industria generadora de fuentes de trabajo.

El aspecto negativo de las curtiembres radica en la generación de contaminación debido al mal manejo de residuos y un inadecuado sistema de tratamiento de aguas residuales.

En la industria “CURTIPIEL MARTÍNEZ”, la cual se encuentra ubicada en la Ciudad de Ambato, dedicada a la producción de cueros curtidados y sin curtir de pieles bovinas mediante el proceso de pelambre y curtido. Esta empresa genera efluentes con una elevada cantidad de carga contaminante como resultado de las etapas de los procesos de curtido y pelambre.

Actualmente la empresa ha presentado diversos inconvenientes, debido a que la planta de tratamiento del agua residual no es eficaz al momento de tratarla, por lo que se propone un rediseño para mejorar la eficacia de la planta de tratamiento identificando los parámetros que se encuentran fuera de norma y proponiendo una adecuada tratabilidad del efluente; lo cual beneficiara a la empresa y al medio ambiente.

### 1.2. Justificación del proyecto

El proyecto tiene como propósito el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales en la curtiembre “CURTIPIEL MARTÍNEZ”, para dar cumplimiento en lo estipulado por el código orgánico ambiental y en referencia al acuerdo ministerial 061. Garantizando la soberanía alimentaria de las zonas bajas que usan el recurso hídrico utilizado para cultivos y actividades domésticas (Seoanoz, 2015, p.51).

La concentración de sustancias que presenta el agua residual como el cromo provoca afecciones a largo plazo en la salud de las personas debido a la toxicidad de este compuesto (Cuberos et al., 2009, pp.278-279), sustancias como los sulfuros producen inestabilidad en el ambiente como es

el daño de tierras de cultivo(Cortés,2016,pp.14-16), el agua residual también presenta una elevada concentración de carga orgánica provocando bioacumulación lo que provoca la contaminación del recurso hídrico de forma directa. (Morocho, 2017, pp.17-19)

Con el rediseño de la planta de tratamiento de agua residual se busca mejorar la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas de la empresa, garantizando su responsabilidad social y ambiental.

### **1.3. Línea Base del proyecto**

#### ***1.3.1. Antecedentes proyecto de investigación***

El proyecto se da a partir de la problemática ambiental generada por las curtiembres al descargar efluentes sin tratamiento previo en las fuentes de agua existentes en la provincia de Tungurahua entre las sustancias contaminantes que aquí se producen tenemos: cromo hexavalente y total, aceites y grasas, pH, sólidos suspendidos totales, sulfuros, detergentes y sulfuros.

Debido a la problemática anteriormente mencionada se origina el proyecto macro denominado “Asesoramiento técnico y capacitación continua al sector curtidor con la colaboración conjunta entre la carrera de ingeniería química de la ESPOCH y el GAD provincial de Tungurahua”, dicho proyecto busca con la intervención de la institución dar alternativas de diseño, rediseño y optimización de las PTRAs de las curtiembres para esto las personas que intervienen en el proyecto se encargan del diagnóstico de los sistemas actuales de tratamiento que presenten las curtiembres a la vez que se realiza la caracterización físico-química del efluente para identificar los parámetros que están fuera de la norma, los principales parámetros a analizar son: pH, DBO, DQO, SST, Sulfuros,  $Cr^{6+}$  y cromo total.

El proyecto busca garantizar los derechos de la naturaleza para actuales y futuras generaciones a su vez generar un impulso en la productividad y la competitividad logrando así un crecimiento sostenible de la economía.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Tungurahua busca que las industrias del cuero cumplan con la normativa para la descarga de efluentes por lo que el proyecto mencionado con anterioridad busca mejorar la calidad del agua que es descargada por CURTIPEL Martínez.

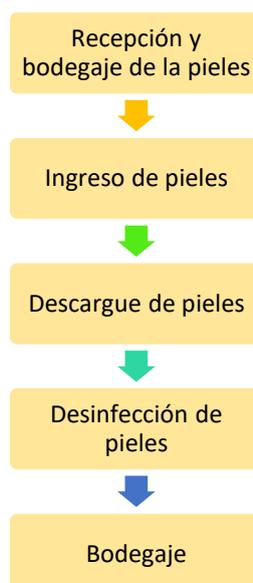
El lugar de estudio seleccionado fue la empresa ubicada en la Panamericana Norte Km 7 1/2 ciudad de Ambato Ecuador cuyas actividades comenzaron en el año de 1999. El personal con el que cuenta la empresa ronda en un número de 25 empleados, su misión mantener la eficiencia, efectividad, competitividad, calidad de nuestro producto en función a la realidad globalizada y de mercado existente y su visión seguir ofreciendo nuestro producto con calidad y eficiencia a nuestro cliente local, nacional e internacional, logrando de esta forma ser líderes en la producción y exportación de cueros.

La empresa implemento en el año 2014 sistemas de pretratamientos para aguas de pelambre y curtido con la finalidad de reducir la carga contaminante provocada por sulfuros y cromo, se instaló mecanismos para la retención de pelos y sólidos en el sistema de tratamiento para evitar la contaminación de una quebrada que se encuentra en los alrededores de la curtiembre.

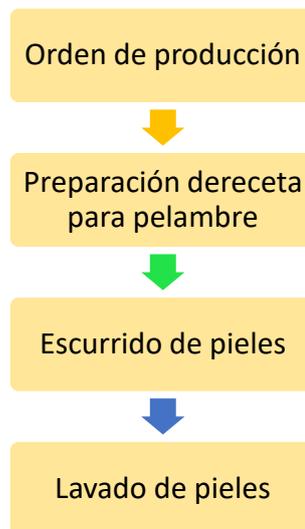
### ***1.3.2. Antecedentes del proceso de producción de curtiembre “CURTIPEL MARTINEZ”***

El proceso de producción la empresa radica en la transformación de pieles bovinas y ovinas en cuero, antes de llevarlas a sus respectivos procesos de transformación las pieles son llevadas a una etapa de lavado para eliminar todo tipo de impurezas que estas puedan presentar, las pieles son conservadas en piscinas a las cuales se les añade sal, posteriormente son llevadas al proceso de pelambre seguido de un proceso de descarnado, luego son llevadas al proceso de curtido y finalmente las pieles son empacadas

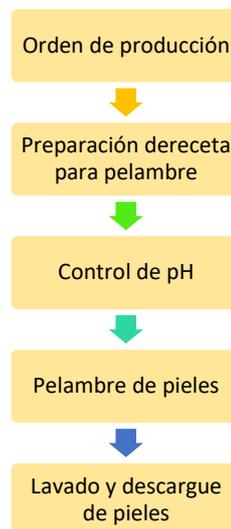
Los procesos de la curtiembre inician con la recepción y bodegaje de la materia prima (pieles).



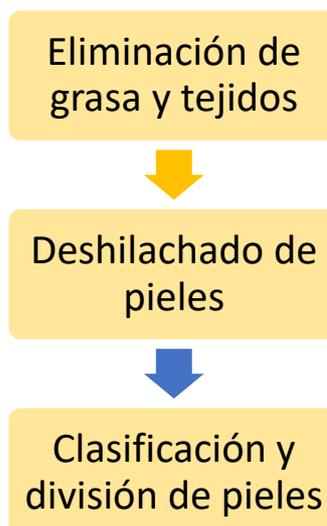
Después se lleva a las pieles a su respectivo lavado y remojo.



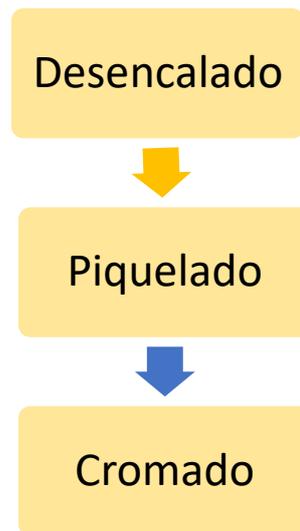
Luego del lavado de las pieles se las lleva a la etapa de pelambre



Luego del proceso de pelambre se prosigue con la etapa de descarnado



Finalmente tenemos el curtido donde se lleva a cabo el desencalado, piquelado y cromado.



A continuación se describe cada una de las etapas llevadas a cabo por la curtiembre.

### **Recepción y bodegaje**

En esta etapa se da la recepción de pieles y su clasificación para su posterior desinfección esto se realiza con la ayuda de una bomba manual para la fumigación de las pieles para posteriormente son llevadas a piscinas con sal para conservar las pieles.

### **Lavado y remojo de pieles**

El lavado tiene como finalidad quitar la sal de las pieles y restablecer su humedad además de remover distintos tipos de impurezas.

Las pieles son metidas en bombos donde las pieles son lavadas por 15 minutos luego de este período de tiempo las pieles son escurridas, luego se produce el remojo de las pieles y nuevamente son lavadas para llevarlas a la etapa de pelambre.

### **Pelambrado**

En esta etapa se produce el desdoblamiento de las fibras a fibrillas usando cal y sulfuro de sodio.

Colocamos cal en los bombos donde están las pieles y se procede a girarlos por un periodo de 2h.

Se detiene los bombos para controlar el pH luego se agrega cal, sulfuro de sodio y bactericidas y nuevamente giramos los bombos por un tiempo de 1,5 horas.

Lavamos las pieles y se las lleva al proceso de descarnado.

### **Descarnado**

Consiste en la eliminación de grasa natural y tejido conjuntivo.

Las pieles son ingresadas a máquinas de descarnado, luego las pieles son llevadas a la etapa de deshilachado, las pieles son clasificadas y llevadas al proceso de curtido.

### **Curtido**

#### **Desencalado**

Las pieles son llevadas a bombos con agua donde se agrega leatherpon y sulfato de amonio en cantidades pequeñas, se procede a girar los bombos por 20 min.

Se agrega agua a 30 °C, sulfato de amonio, meta bisulfito de sodio y leatherpon después se gira los bombos por un tiempo de 2 h.

Se coloca purga en la piel y se gira los bombos por 4 horas.

#### **Piquelado**

Pre-curtido de las pieles se utiliza sustancias como cloruro de sodio, ácido fórmico y sulfúricos acompañados de un fungicida.

Lavamos las pieles y se coloca la sal en el bombo y se lo hace girar por un tiempo de 30 minutos.

Agregar los ácidos fórmico y sulfúrico en los bombos y mantenerlos girando por 3 h.

Después de 30 minutos colocamos el fungicida.

#### **Cromado**

Proceso para aumentar la durabilidad y resistencia del material.

Revisar el pH en los bombos y colocar las sales de cromo y hacemos girar el bombo por 3h.

Basificar la piel y hacer girar los bombos por 3h.

Lavar el material con ácido fórmico y se saca las pieles de los bombos.

#### **Empacado**

Antes de empacar las pieles estas son escurridas para eliminar la humedad de las pieles y finalmente las pieles son empacadas en pallets.

### 1.3.3. Ubicación geográfica y división administrativa

Izamba junto con Picaihua es una de las parroquias con mayor producción de cuero en la provincia de Tungurahua, el total de curtiembres presentes en Izamba abarca alrededor del 31,58% de curtidoras de la provincia. (Masanba, 2017), la curtiembre principal para nuestro estudio será “CURTIPEL MARTINEZ” empresa que inicia sus actividades en el año de 1999 fundada por el señor Guillermo Martínez.

La parroquia de Izamba al tener una cantidad considerable de curtidoras es de nuestro interés marcar una línea base de este sector para determinar su área de influencia determinando así aspectos importantes de la parroquia que se detallan a continuación.

La parroquia de Izamba está ubicada al norte de la ciudad de Ambato limitando con Unamuncho(parroquia), río Ambato, Atahualpa y río Culapachán, se encuentra a 5 Km de la ciudad de Ambato.

**Tabla 1-1:** Datos parroquia de Izamba

Fecha de creación	29 de mayo de 1861
Altitud	2500 msnm
Límites	Limita con las Unamuncho, río Ambato, Atahualpa y el río Culapachan.
Extensión	27,02 Km <sup>2</sup>
Población	15918 habitantes
Temperatura promedio	14,6 °C

**Realizado por:** DAQUILEMA, Lisbeth, 2019

**Fuente:** GAD Izamba, 2015.

La parroquia se divide en tres sectores los cuales están conformados por caseríos, barrios, ciudadelas y urbanizaciones.

**Tabla 2-1:** Sectores parroquia de Izamba

Sectores	Caseríos, ciudadelas, barrios y urbanizaciones
<b>Centro</b>	Centro, La Amistad, La Colina, Cañabana, La Dolorosa, Los Olivos, Palalá, San Francisco Centro, San Francisco De Asís
<b>Quillan Loma</b>	San Francisco Quillan Loma, Los Lojanitos, Guadalupana Quillan Loma, San Vicente De Quillan Loma, San Antonio De Viña Loma, La Merced De Quillan Loma, San Pablo De Quillan Loma, Yacupamba, Los Milagros, urbanización Aeropuerto, San José de Chachoan, San Jacinto de Agoyán.
<b>Pisques</b>	Ciudadela Amazonas, Divino Niño, Nuevos Horizontes, Pisque Bajo, Pisque Centro, Pisque El Rosal, Pisque Oriente, Pisque San José, Virgen Del Cisne Taigua, San Jacinto Las Playas.

**Realizado por:** DAQUILEMA, Lisbeth, 2019

**Fuente:** GAD Izamba, 2015.

### LIMITES DE LA PARROQUIA IZAMBA



**Figura 1-1:** Ubicación y Límites parroquia Izamba

Fuente GAD Izamba, 2015.

#### ***1.3.4. Situación demográfica***

De acuerdo al censo realizado en el año 2001 la parroquia de Izamba tenía un total de 11130 habitantes registrando un aumento de la población en el año 2007 de hasta 12654 habitantes, para el censo del año 2010 Izamba contaba con un total de 14563 habitantes, para el año 2015 se proyectó en la parroquia un crecimiento de la población que supera los 13000 habitantes (Agenda Tungurahua, 2014).

#### ***1.3.5. Componente Económico***

##### ***1.3.5.1. Trabajo y Empleo***

Su ubicación geográfica le permite desarrollar diferentes actividades económicas siendo la producción agrícola una de sus principales actividades, la población económicamente activa de la parroquia está enmarcada entre las personas con edades que van desde los 15 hasta los 65 años representando el 52,8% de la población total (INEC, 2010).

### 1.3.5.2. Economía popular y solidaria

Este tipo de economía permite a organizaciones productivas vincular productos agropecuarios como eslabones en la producción y en la comercialización.

Los cultivos permanentes que se producen en la parroquia de Izamba son: remolacha, lechuga, col, manzanilla y cebolla. (GAD Izamba, 2015)

### 1.3.6. Componente Biofísico

El sistema biofísico permite fomentar las bases para el plan de desarrollo y reordenamiento territorial, las variables a estudiar dentro de este sistema son:

#### 1.3.6.1. Relieve

Presenta un terreno irregular con sectores con una superficie del tipo accidentado, la parroquia presenta quebradas como Pisocucho, Chasinato y Quindulli. (GAD Izamba, 2015)

Presenta en su mayoría pendientes de los tipos abruptos y montañosos mayores con inclinaciones regulares ligeramente onduladas.

**Tabla 3-1:** Pendientes parroquia de Izamba

Rango de pendientes	Superficie(ha)	%
<b>Abruptas</b>	1120,85	38,59
<b>Débiles</b>	268,15	9,23
<b>Fuertes</b>	137,71	4,74
<b>Inclinación regular</b>	721,23	24,83
<b>Inclinación irregular</b>	656,35	22,60

Realizado por: DAQUILEMA, Lisbeth, 2019

Fuente: GAD Izamba, 2015.

#### 1.3.6.2. Cobertura del suelo

EL 80% del suelo es utilizado para actividades agrícolas, el suelo es apto para cualquier tipo de cultivo, presenta una gran variedad de suelos fértiles entre los cuales tenemos a los del tipo arenoso, arcillosos y rocosos, los cultivos que más se dan en la actividad agrícola son: remolacha, maíz, cebolla, entre otros.

En la parroquia el 31,21% de las áreas está destinado a su uso como cobertura vegetal, 28,90% es ocupado por el área urbanizable teniendo el área urbana una ocupación del 7,02%, el 13,94% son áreas de protección de cuencas hídricas y laderas, el 16,72% es ocupado por zonas agrícolas y el 2,20% y 0,01% es destinado a la zona industrial. (GAD Izamba, 2015)

**Tabla 4-1:** Usos del suelo parroquia de Izamba

Uso	Superficie(ha)	%
Protección cuencas hídricas y laderas	409,535	13,94
Zona industrial	88,655	2,20
Cobertura vegetal	881,395	31,21
Área urbanizable parroquias	818,475	28,90
Área urbana parroquias	220,455	7,02
Zona agrícola	485,635	16,72
Zona expansión urbana	0,14	0,01
<b>Total</b>	<b>2904,29</b>	<b>100%</b>

Realizado por: DAQUILEMA, Lisbeth, 2019

Fuente: GAD Izamba, 2015.

#### 1.3.6.3. Clima

El clima de la parroquia Izamba se define entre un clima ecuatorial mesotérmico seco y mesotérmico semihúmedo.

Las precipitaciones varían de acuerdo a la época del año, las precipitaciones que se dan en Izamba varían entre los 250 a 750 mm.

La temperatura de la parroquia varía entre los 10 a 16 °C.

**Tabla 5-1:** Factores climáticos parroquia de Izamba

Variables	Descripción
Pisos climáticos	Mesotérmico seco y mesotérmico semihúmedo.
Temperatura	10 a 16 °C
Precipitación	250 a 750 mm

Realizado por: DAQUILEMA, Lisbeth, 2019

Fuente: GAD Izamba, 2015.

#### 1.3.6.4. Aspectos ambientales

El GAD municipal de la parroquia busca complementar los factores ambientales conjuntamente con la planificación económica y social, teniendo como objetivo principal el manejo adecuado de los recursos naturales como el suelo.

La parroquia de Izamba busca la protección ambiental de su territorio debido a las diferentes industrias presentes en su zona las cuales provocan daños en los recursos hídricos como en el suelo con lo cual se busca evitar el daño irreparable al hábitat natural de la parroquia.

Para la sustentabilidad ambiental la parroquia se basa en los siguientes lineamientos:

- Controlar la expansión agrícola y la contaminación provocada por las industrias como las curtiembres.
- Promover la protección del suelo y recursos hídricos.
- Mantener la riqueza biológica y cuidar las zonas propensas a ser devastadas por la contaminación ambiental.

**Tabla 6-1:** Nivel de contaminación parroquia de Izamba

Recurso	Problema	Causa	Nivel de impacto
Suelo	Erosión	Uso de químicos como pesticidas	Alto
Agua	Contaminación en ríos	Desechos industrias (curtiembres)	Alto
Aire	-	El aire de parroquias rurales tiene una afección baja y no se presenta problemas de contaminación	Bajo

Realizado por: DAQUILEMA, Lisbeth, 2019

Fuente: GAD Izamba, 2015.

### ***1.3.7. Impacto ambiental generado por curtiembres***

La problemática ambiental nace debido al uso por parte de esta industria de elevados volúmenes de agua y a la utilización de sustancias químicas como son las sales de cromo las cuales son tóxicas, el consumo de agua va desde los 25 hasta los 80 litros de agua por cada kilogramo de piel. (Iglesias, 1998, p.80).

Las aguas residuales generadas en curtiembres presentan variaciones de pH entre 2,5 a 12, se produce altas concentraciones de DBO y DQO provocando la muerte de la fauna acuática, las descargas de estos efluentes provocarán deposiciones de sólidos en tuberías a su vez que el concreto se verá afectado por la presencia de sulfuros, la presencia de cromo deteriorará la vida presente en los cuerpos receptores del efluente (Ramalho, 2016, pp.20-24).

Las aguas residuales originadas en curtiembres afectarán a la producción agrícola por el daño que pueda causar en la estructura del suelo debido a la presencia de cromo que alterará el desarrollo de los productos que estén cultivándose.

Emisiones de sulfuros generados en la etapa de pelambre y amoniaco serán las que provoquen el mal olor característico de las curtiembres y una sobreexposición al ácido sulfhídrico generado por la presencia de sulfuros puede provocar la muerte (Iglesias, 1998, pp.80-84).

**Tabla 7-1:** Contaminantes generados en efluentes de curtiembre

Contaminantes	Parámetro de medida
<b>Fósforo</b>	Fósforo total
<b>Cromo</b>	Cromo hexavalente
<b>Materia en suspensión</b>	Sólidos suspendidos totales
<b>Materia orgánica</b>	Demanda bioquímica de oxígeno Demanda Química de oxígeno
<b>Sulfuros</b>	Sulfuros

Fuente: García, 2011.p.52

Realizado por: DAQUILEMA, Lisbeth, 2019

El uso de cromo (III) con su oxidación a cromo hexavalente es un problema a nivel ambiental debido a la falta de biodegradación de este metal pesado y es comprobado que la acumulación de este compuesto llega a ser perjudicial para la salud humana ya que es cancerígeno.

El uso elevado de sustancias químicas no permite que se dé una disposición adecuada de residuos como pelos, restos de cuero y envases. (Jaramillo, 2009, pp.290-293)

#### 1.3.7.1. Impacto ambiental generado por curtiembres

Las cargas contaminantes generadas por curtiembre son:

- ✓ **Suciedad presente en las pieles:** Presencia de excremento y tierra que están adheridas a los pelos generaran sólidos suspendidos y efectos en el valor del DBO5 (García, 2011, p.42).
- ✓ **Componentes del cuero:** Son las proteínas no estructurales presentes en la sangre y reaccionan con el cromo, estos compuestos se eliminan por solubilización con agua lo cual provoca un aumento en el DBO5 (Iglesias, 1998, p. 142).
- ✓ **Pelo:** Estos residuos provocan un aumento del DBO5 así como también un aumento en los sólidos en suspensión (Iglesias, 1998, p. 145).
- ✓ **Grasas:** Sustancias adheridas en las pieles crudas se saponifica estas sustancias en el proceso de pelambre (García, 2011, p.44).

- ✓ **Sulfuro:** Permite la eliminación del pelo , en medio acuoso es altamente tóxico provocando una disminución del oxígeno disuelto en los cuerpos receptores del efluente, en medio acuoso a un pH por debajo de 10 comienza a desprender ácido sulfhídrico gaseoso provocando mal olor (Jaramillo,2009, p.294)-
- ✓ **Nitrógeno amoniacal:** Fuente de sulfato de amonio, presente en las fermentaciones anaeróbicas de las proteínas de las pieles, por el proceso de desamidación de la glutamina y asparagina se forma amoniaco en el pelambre.
- ✓ **Alcalinidad:** Propia de la etapa de pelambre, provoca elevados valores de pH (García, 2011, p.46).
- ✓ **Salinidad:** Se da la salinidad debido a la conservación de los cueros pudiendo llegar al 60% de salinidad (García, 2011, p.46).
- ✓ **Tensoactivos:** Usados como agentes de limpieza del cuero estas sustancias provocan un aumento en el DQO (García, 2011, p.45).

#### 1.3.7.2. Residuos generados por curtiembres

**Tabla 8-1:** Residuos generados en curtiembres

Tipos	Descripción	Impacto al ambiente
<b>Residuos líquidos</b>	Generados por las sustancias químicas usadas para la obtención del cuero.	Altas concentraciones de cromo, sulfuros, pH elevado, materia orgánica y sólidos en suspensión
<b>Residuos sólidos</b>	Se genera principalmente por la etapa de descarnado siendo los contaminantes principales las grasas y los tejidos que se biodegradarán.	Generación de sólidos en suspensión, sedimentables, restos de cuero y envases.
<b>Residuos gaseosos</b>	Olores y vapores provenientes del uso de solventes.	Olores desagradables por el contenido de sulfuro de las aguas residuales.

Fuente: Tayupanda, 2010, pp.33-41

Realizado por: DAQUILEMA, Lisbeth, 2019

#### 1.3.7.3. Efectos provocados por los contaminantes de curtiembres

##### **Efecto sobre recursos hídricos y alcantarillado**

Afecta a la vida acuática del recurso hídrico donde se descarga el agua residual, el recurso hídrico contaminado disminuye su utilidad para actividades agrícola, los compuestos que afectan a los recursos de agua son los sulfuros, cromo y carga biológica. Las aguas residuales descargadas en alcantarillados provocaran incrustaciones de carbonato de calcio en las tuberías (Tayupanda, 2010, pp.45-48).

## Efectos en el aire

Las aguas residuales de curtiembres provocan malos olores por la generación de ácido sulfhídrico gaseoso (García, 2011, p.31).

## Efectos en el suelo

Los efluentes originados en curtiembres pueden generar daños en el agua de riego afectando a su vez al suelo provocando su rápida erosión e inutilizándolo para el cultivo (García, 2011, p.32).

### 1.3.7.4. Aguas residuales generadas por curtiembres

#### *Etapas de una curtiembre generadoras de efluentes*

**Tabla 9-1:** Etapas generadoras de efluentes

Etapa	Generación de Efluente		Origen del agua residual
	Sí	No	
Recepción de materia prima			Debido al escurrido de las pieles crudas
Pre-tratamiento			Lavado de la piel con sustancias químicas
Curado y Desinfectado			Uso de agua con sustancias química para llevar a cabo estas etapas
Pelambre			Uso de agua para preparar las soluciones
Desencalado			Uso elevado de agua para el lavado de pieles
Descarnado			Lavado de pieles
Desengrasado			Agua para la preparación de soluciones de los productos usados en esta etapa
Piquelado			Preparación de soluciones con agua
Curtido			Agua para la preparación de sales de cromo
Secado			
Engrasado			Uso de aceiten emulsionados
Planchado			
Clasificado			
Almacenamiento			

Fuente: Vidal, 2011, p.145

Realizado por: DAQUILEMA, Lisbeth, 2019

### 1.3.8. Curtiembres

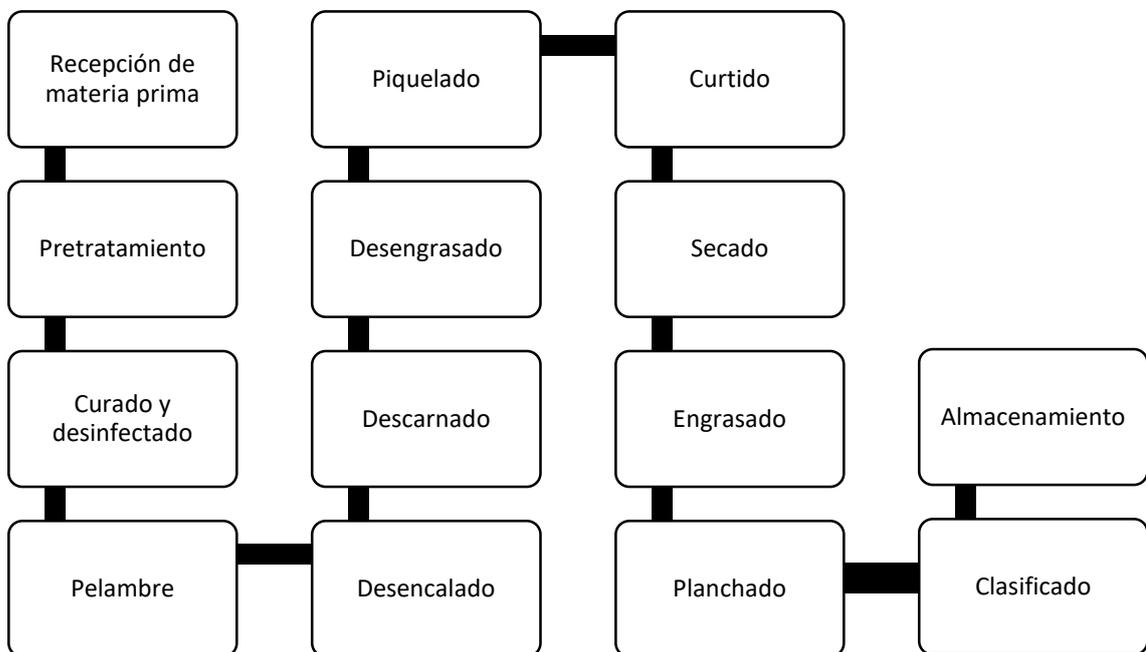
Industrias encargadas de llevar a cabo el proceso de curtido en donde se da la conversión de la piel de los animales en cuero. Las pieles de los animales son subproductos que se obtienen en las industrias cárnicas (Iglesias, 1998, p.5).

### 1.3.8.1. Cuero

Material obtenido por la transformación de pieles de animales el cual se caracteriza por presentar flexibilidad, resistencia y belleza. (Iglesias, 1998, p.6).

### 1.3.9. Proceso de curtido

Las curtiembres utilizan dos métodos para la obtención de cuero el uno se basa en la utilización de sales de cromo y el otro en el uso de agentes vegetales (Vidal, 2011, p.127). Como se presenta en el proceso general de la Figura 2-1:



**Figura 2-1:** Proceso general de Curtiembres

Fuente: Vidal, 2011, p.128

Realizado por: DAQUILEMA, Lisbeth, 2019

#### a) Recepción Materia Prima

Esta etapa comienza con la revisión visual de las pieles crudas para determinar si cumple con los requerimientos de calidad, evitando el deterioro de los productos (Vidal, 2011, p.132).



**Figura 3-1:** Recepción Materia Prima

Fuente: Plata, 2013

### **b) Pre-tratamiento**

Las pieles crudas son pesadas y se las clasifica por especie y tamaño, realizada estas actividades se procede a recortar partes como el cuello, extremidades y colas, posteriormente las pieles son lavadas para su rehidratación y eliminación de suciedades, el lavado se lo lleva a cabo con hidróxido de sodio, hipoclorito de sodio y detergentes (Lorber, 2013, p.76).



**Figura 4-1:** Pre-tratamiento

Fuente: Plata, 2013

### **c) Curado y Desinfectado**

El proceso de curado se lleva a cabo salando o secando las pieles, en el salado se da el uso de sal muera o salazón húmeda, el método de curado con salmuera es el más utilizado debido a su rápido accionar, en este método se llevan las pieles a cubas con desinfectantes, bactericidas y la solución de sal la cual debe estar cercana a la saturación pasada las 16 h la piel absorberá completamente la sal (Vidal, 2011, p.134).



**Figura 5-1: Pre-tratamiento**  
Fuente: Plata, 2013

#### d) Pelambre

Proceso a través del cual se elimina la epidermis y el pelaje que recubre las pieles con el uso de soluciones de sulfuro de sodio y cal, en esta etapa se produce la transformación de las fibras de las pieles en fibrillas preparando al cuero para su curtición.

Los principales productos químicos utilizados en el pelambre son: sulfuro, cal, bactericidas, melpin (8010, 8012, 8016, 8020) (Lorber, 2013, p.78).



**Figura 6-1: Piel con epidermis**  
Fuente: Olivares, 2015

Las etapas que presenta el proceso de pelambre son:

**Tabla 10-1: Tipos de pelambre**

Tipos	Descripción
<b>Pelambre enzimáticos</b>	Uso de enzimas utilizadas también para procesos de reciclaje del cuero
<b>Depilado por resudado</b>	Permite arrancar los pelos con más fácilmente debido a la hidrolización de la epidermis.
<b>Preparados enzimáticos para depilado</b>	Uso de enzimas de origen animal o vegetal, se basa en polvear el preparado enzimático y dejar las pieles en reposo por 24 horas luego se las trata con sulfuros para producir hinchamiento en la piel
<b>Embadurnado</b>	Aplicación de pastas de sulfuro y cal para generar el hinchamiento en las pieles.
<b>Pelambre Químico</b>	Uso de pelambre reductor con sulfuro y cal en bombo el cual genera hinchamientos del tipo liotrópico u osmótico. Uso de pelambre oxidante con peróxido de hidrógeno este pelambrado mejora al absorción de cromo reduciendo también el consumo de agua.

Fuente: Vidal, 2011, p.142

Realizado por: DAQUILEMA, Lisbeth, 2019

#### e) Desencalado

Etapa donde se da el lavado de las pieles para la remoción del sulfuro y la cal, las sustancias químicas utilizadas son: bisulfato de sodio, sales de amonio, melazas, azúcares y peróxido de hidrógeno (Iglesias, 1998, p.103).



**Figura 7-1: Secado**  
Fuente: Olivares, 2015

#### **f) Descarnado**

Separación de carnazas y grasa presentes en la piel, se realiza el descarnado con la finalidad de que las sustancias químicas utilizadas en la etapa de curtido penetren de manera adecuada en las pieles (Iglesias, 1998, p.104).



**Figura 8-1: Descarnado**  
Fuente: Olivares, 2015

#### **g) Desengrasado**

Proceso a través del cual se limpia los poros de las pieles, eliminación de grasas sobrantes y proteínas no estructurales, las sustancias a utilizar son: detergentes o cloruro de amonio (Vidal, 2011, p.136).



**Figura 9-1: Desengrasado**  
Fuente: Ortiz, 2016

#### **h) Piquelado**

Se prepara la piel para llevarla al proceso de curtido con el uso de soluciones de ácido fórmico y sulfúrico, estos ácidos forman permitirán la difusión del curtiente en el interior de la piel (Lorber, 2013, p.80).



**Figura 10-1: Piquelado**  
Fuente: Ortiz, 2016

#### **i) Curtido**

##### **A base de sales de cromo**

Es el proceso más utilizado pero el que más efectos contaminantes genera debido a la toxicidad del cromo, con el uso del cromo se logra la estabilización del colágeno de la piel y se dará la transformación de la piel en cuero.

Antes de que las pieles entren al proceso de curtido se realiza su escurrido para reducir el contenido de humedad.

La piel es llevada a una máquina llamada divisora donde el cromo trivalente procedente de las sales de cromo entra en acción en medio ácido logrando el cambio de piel a cuero y evitando la degradación de este último, el proceso de curtido durara de 8 a 24 horas.

Para mejorar la resistencia y durabilidad del cuero este es sometido a procesos mecánicos, el primer proceso mecánico es el proceso de post-curtición dando espesores homogéneos a los

cueros el segundo proceso es el de post-curtición húmedo donde se realiza el neutralizado, teñido, recurtido y engrasado de los cueros (Iglesias, 1998, pp. 110-118).

### **A base de agentes vegetales**

Las ventajas de este tipo de curtido es la conservación de las fibras presentes en el cuero dando a este material características de elasticidad y morbidez al tacto, los agentes vegetales se los obtiene de plantas subtropicales como la corteza de pino.

Para que el curtiente se impregne en el cuero este es sumergido en un curtiente vegetal el cual está conformado por agua, taninos, alumbre y sal (Lorber, 2013, pp.83-85).



**Figura 11-1:** Curtidora  
**Fuente:** Méndez, 2011

### **j) Secado**

Permite dar una utilización práctica al cuero asegurando la calidad del mismo, los factores que influyen para el secado del cuero son: espesor del cuero y temperatura de secado (Vidal, 2011, p.138).



**Figura 12-1:** Secado  
**Fuente:** Méndez, 2011

### **k) Engrasado**

Evita que el cuero se cuartee y mejora la suavidad, fuerza y flexibilidad del mismo, se utiliza aceites emulsionados estos se depositarán en las fibras del cuero lo cual permitirá darle el acabado que se desee (Lorber, 2013, p.86).



**Figura 13-1:** Secado  
Fuente: Méndez, 2011

### **l) Planchado**

Proporcionan brillo al cuero (Lorber, 2013, p.87).



**Figura 14-1:** Planchado del cuero  
Fuente: Álvarez, 2017

### **m) Clasificado**

Se clasifica los cueros según su tamaño y calidad (Vidal, 2011, p.143).



**Figura 15-1:** Clasificado del cuero  
Fuente: Álvarez, 2017

#### **n) Almacenamiento**

Se almacena el cuero por color, calidad y tamaño se recomienda que el área de almacenamiento sea ventilada, sin humedad y cubierta para evitar el efecto de los rayos del sol en el cuero (Vidal, 2011, p.144).



**Figura 16-1:** Almacenamiento del cuero  
Fuente: Álvarez, 2017

#### **1.3.10. Estado actual descarga de efluentes**

La descarga de las aguas residuales producidas por las curtiembres son descargadas sin recibir un tratamiento adecuado hacia los recursos hídricos que rodean a la empresa, el problema principal de una falta de tratamiento es el posible daño que provoquen los recursos hídricos sobre cauces hídricos mayores es decir la afección de ríos más grandes como el Pastaza y el río Ambato.

En la actualidad la empresa Curtipiel Martínez busca la colaboración de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para la implementación de un sistema de tratamiento de aguas más eficaz para el tratamiento de los efluentes para así lograr la reducción del impacto ambiental que provocan sus aguas residuales.

### ***1.3.11. Tratamiento de efluentes***

Los procesos involucrados en el tratamiento de efluentes siguen una serie de lineamientos para la reducción de la carga contaminante de los efluentes.

El consumo sostenible de una fuente de agua contaminada se logrará una vez que esta sea tratada.

El tratamiento de efluentes consiste en un conjunto de operaciones unitarias que tienen como fin la reducción de la carga contaminante de un efluente antes de su descarga (Ramalho, 2016, pp.15-19).

#### ***1.3.11.1. Recuperación de metales de efluentes***

Se los recupera a través de tratamientos mecánicos como la sedimentación o por tratamientos biológicos como son los lodos activados.

El uso de tratamientos químicos son utilizados para la eliminación de estos metales, los procesos más utilizados son la precipitación mediante hidróxidos o sulfuros, intercambio iónico o separación sólido-líquido (Jaramillo, 2009, pp.290-292).

#### ***1.3.11.2. Sistema de lodos activados***

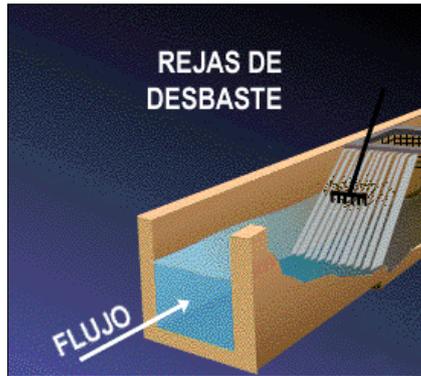
Permite la oxidación del amoníaco, la eliminación del 75% de materia orgánica y la reducción del 83% del DQO. (Salas, 2015,p.52).

#### ***1.3.11.3. Precipitación e insolubilización de sulfuros por formación de FeS***

Se basa en la separación y aislamiento de los sulfuros hasta que se dé la formación de un lodo deshidratable obteniéndose un residuo sólido. (Salas, 2015, p.53).

#### ***1.3.11.4. Sistema de tratamiento de efluentes***

- **Desbaste:** Eliminación de sólidos en suspensión con diámetros mayores a 2 mm, su eliminación se debe dar ya que estos provocarían daños en los equipos de tratamientos utilizados en etapas posteriores. (Tayupanda, 2010, p.60).



**Figura 17-1:** Desbaste  
**Fuente:** Tayupanda, 2010, p.60

- **Rejillas:** Extraer materiales en suspensión de diámetros pequeños, está formado por chapas ranuradas con forma cilíndrica o de disco. (Ramalho, 2016, p.35).



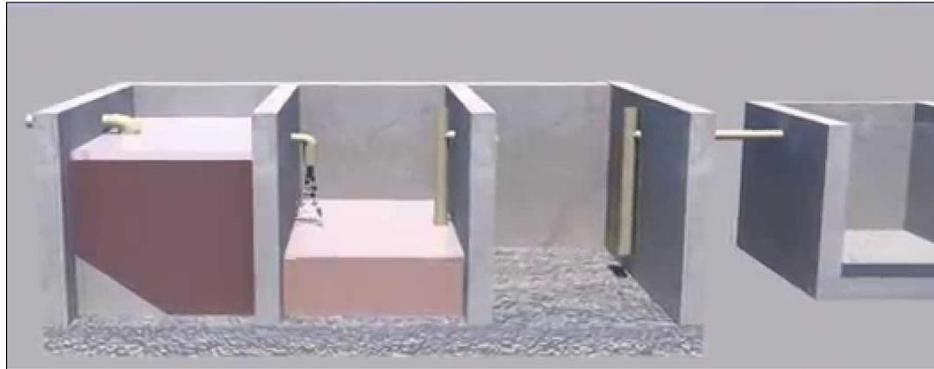
**Figura 18-1:** Rejillas  
**Fuente:** Ramalho, 2016, p.35

- **Tamizado:** Uso de soportes delgados para llevar acabo la filtración, eliminación de la materia en suspensión. (Rigola, 2010, p.40).



**Figura 19-1:** Tamices para efluentes  
**Fuente:** Rigola, 2010, p.40

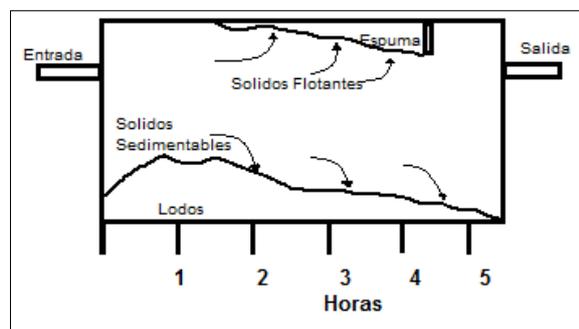
- **Trampas para grasas:** Sistema utilizado para la separación de aceites y grasas del efluente lo que permite rebajar los parámetros de DBO y DQO. (Martínez, 2007, p.78).



**Figura 20-1:** Trampas de grasa

Fuente: Martínez, 2007, p.78

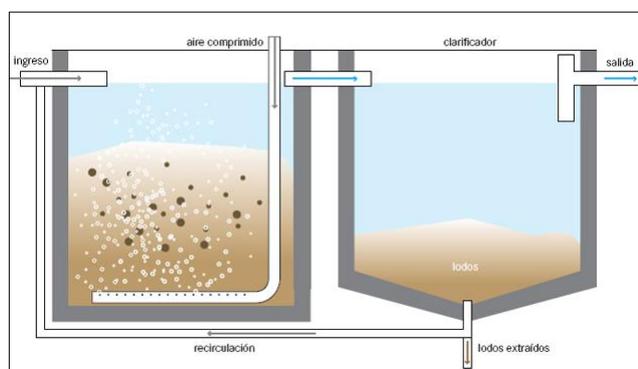
- **Sedimentación:** Operación unitaria del tipo física que aprovecha la acción de la gravedad para que una partícula con mayor densidad que el agua descienda (Martínez, 2007, p.80).



**Figura 21-1:** Sedimentador

Fuente: Martínez, 2007, p.81

- **Filtración:** Uso de un medio poroso por el cual atravesara el agua con la finalidad de retener el mayor número de partículas suspendidas (López, 2006, p.114).



**Figura 22-1:** Sedimentador

Fuente: López, 2006, p.114

- **Coagulación:** Se basa en la desestabilización de partículas coloidales que están suspendidas, la coagulación reduce tanto la turbidez como la materia orgánica presente en el efluente (López, 2006, p.120).



**Figura 23-1:** Coagulación

Fuente: López, 2006, p.121

- **Floculación:** Agitación de la masa coagulada permitiendo la formación de flóculos para la sedimentación de estos debido a su aumento de peso y tamaño (Osorio, 2003, p.13).



**Figura 24-1:** Floculación

Fuente: Osorio, 2003, p.13

### 1.3.11.5. Marco legal

Para mantener la sostenibilidad del recurso agua la legislación nos permite seguir una serie de pautas para el tratamiento de la misma y para su posterior descarga a recursos hídricos como son los mares, ríos o lagos.

El “LIBRO VI ANEXO I” del TULSMA nos permite conocer los límites máximos que un efluente debe tener para poder ser descargado a un cuerpo de agua receptor.

La tabla 9 de dicha norma nos permitirá conocer dichos límites que deberá presentar nuestro efluente.

**Tabla 11-1:** Tabla 9 Límites de descarga aun cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresada como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/L	30,0
Alkil mercurio		mg/L	No detectable
Aluminio	Al	mg/L	5,0
Arsénico total	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	2,0
Boro total	B	mg/L	2,0
Cadmio	Cd	mg/L	0,02
Cianuro total	CN	mg/L	0,1
Cinc	Zn	mg/L	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/L	0,5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo ECC	mg/L	0,1
Cloruros	Cl	mg/L	1000
Cobre	Cu	mg/L	1,0
Cobalto	Co	mg/L	0,5
Coliforme fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Color Real <sup>1</sup>	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/L	0,2
Cromo hexavalente	Cr <sup>+6</sup>	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO <sub>5</sub>	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	200
Estaño	Sn	mg/L	5,0
Fluoruros	F	mg/L	5,0
Fósforo total	P	mg/L	10,0
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Hidrocarburos totales de petróleo	TPH	mg/L	20,0
Manganeso total	Mn	mg/L	2,0
Materia Flotante	Visibles	mg/L	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/L	0,005
Níquel	Ni	mg/L	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/L	30,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/L	50,0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/L	0,05
Compuestos Organofosforados	Organofosforados totales	mg/L	0,1
Plata	Ag	mg/L	0,1
Plomo	Pb	mg/L	0,2

<b>Potencial de Hidrógeno</b>	pH		6-9
<b>Selenio</b>	Se	mg/L	0,1
<b>Sólidos Suspendidos Totales</b>	SST	mg/L	130
<b>Sólidos Totales</b>	ST	mg/L	1600
<b>Sulfatos</b>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	1000
<b>Sulfuros</b>	S <sup>-2</sup>	mg/L	0,5
<b>Temperatura</b>	°C		Condición natural ± 3 °C
<b>Tensoactivos</b>	Sustancias Activas al azul de metileno	mg/L	0,5
<b>Tetracloruro de carbono</b>	Tetracloruro de carbono	mg/L	1,0
<sup>1</sup> La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida			

Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22

#### **1.4. Beneficiarios directos e indirectos**

##### **1.4.1. Beneficiarios Directos**

Con el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales los beneficiarios son:

- ✓ Curtiembre “CURTIPIEL MARTÍNEZ”.
- ✓ Regantes de canal de riego del sector Puerto Arturo.
- ✓ GAD municipal del cantón Ambato.
- ✓ GAD provincial de Tungurahua.
- ✓ SENAGUA.

##### **1.4.2. Beneficiarios Indirectos**

El Rediseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales beneficiará:

- Clientes de la curtiembre “CURTIPIEL MARTÍNEZ”.
- Universidades.

## **CAPÍTULO II**

### **2. OBJETIVOS**

#### **2.1. Objetivo General**

- Rediseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales para la curtiembre “CURTIPIEL MARTÍNEZ”, Ciudad de Ambato.

- 

#### **2.2. Objetivos específicos**

- Diagnosticar el estado actual de la planta de tratamiento de agua residual.
- Determinar las características físico-químicas de las aguas residuales de la curtiembre basada en la normativa ambiental vigente.
- Realizar pruebas de tratabilidad a los parámetros que se encuentren fuera de rango con lo establecido en la norma.
- Identificar las variables del proceso apropiadas para el rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el rediseño del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales, según los resultados obtenidos en la caracterización del efluente.
- Validar el rediseño propuesto considerando la caracterización físico-química del agua tratada, en base a la normativa ambiental vigente.

## CAPÍTULO III

### 3. ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1. Localización del proyecto

El proyecto será realizado en dos locaciones, la primera locación será en la curtiembre Curtipiel Martínez para el muestreo del efluente y la determinación de los caudales.

**Tabla 1-3:** Condiciones meteorológicas  
Parroquia Izamba

Parámetros	Valores Promedios
Altitud, msm.	2500 msnm
Temperatura, °C	14,6 °C
Precipitación, mm/mes.	250 a 750 mm

Realizado por: DAQUILEMA, Lisbeth, 2019  
Fuente: GAD Izamba, 2015.



**Figura 1- 3:** Georreferencia Curtipiel Martínez  
Fuente: Google, 2019

La segunda locación para la realización del proyecto será en el Laboratorio de calidad de aguas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicada en la panamericana norte Km 1 ½, en este lugar se llevará acabo la caracterización del efluente y sus respectivos tratamientos así como la caracterización final del mismo.



**Figura 2- 3:** Georreferencia Laboratorio calidad del agua  
**Fuente:** Google, 2019

**Tabla 2-3:** Condiciones meteorológicas Riobamba

Parámetros	Valores Promedios
Altitud, msm.	2750 msnm
Temperatura, °C	14 °C
Precipitación, mm/mes.	820 mm

Realizado por: DAQUILEMA, Lisbeth, 2019  
 Fuente: GAD Riobamba, 2015.

### 3.2. Ingeniería del proyecto

El presente proyecto rediseño de un sistema de tratamiento de agua residual para la Curtiembre “CURTIPIEL MARTINEZ” de la Ciudad de Ambato, Provincia de Tungurahua, dicho proyecto se dividió en las siguientes etapas: muestreo del efluente, caracterización del agua residual, determinación del tratamiento más adecuado para el efluente, caracterización final, cálculos de ingeniería y propuesta tecnológica para el sistema de tratamiento de aguas.

#### 3.2.1. Tipo de estudio

El proyecto presentado es un estudio del tipo técnico ya que la propuesta tecnológica que se brindará requiere de un proceso de experimentación donde se incluirán varios ensayos, con esto se busca minimizar los contaminantes presentes en el efluente producido en la curtiembre.

Se deberá seguir la experimentación de manera sistematizada para obtener las variables involucradas en el problema de contaminación y así proponer soluciones óptimas tanto a nivel económico como tecnológico para la empresa.

### **3.2.2. Métodos**

Los proyectos del tipo técnico se basan en la utilización de tres tipos de métodos los cuales son del tipo deductivo, inductivo y experimental, estos métodos nos permiten obtener soluciones viables de los problemas de estudio.

#### **Método Deductivo.**

Nos permite determinar a partir del razonamiento conclusiones para explicaciones particulares, este método se basa en la revisión de leyes, teoremas, postulados es decir de documentación que aporte un conocimiento sobre la problemática a tratar para así comprobar la validez de las soluciones a aplicar.

En el caso de nuestro proyecto la aplicación de este método será en la revisión bibliográfica y entendimiento sobre el muestreo, caracterización, tratamiento y posterior diseño del sistema de tratamientos, y obtenidos los resultados dados por el método inductivo con el método deductivo se determinará la solución más adecuada para disminuir los parámetros contaminantes de los efluentes de la empresa. (Bernal, 2005)

#### **Método Inductivo**

Método experimental basado en la experimentación, básicamente es obtener conclusiones de hechos particulares es decir a partir del análisis inicial del efluente se podrá determinar cuál es la situación actual del agua residual y posteriormente determinar que parámetros serán llevados a tratamiento para su disminución (Bernal, 2005).

#### **Método Experimental**

Trabaja específicamente con variables que son propensas a manipulación con el fin de determinar su efecto sobre una variable dependiente, en nuestro caso lo anterior hace referencia que todas las pruebas de laboratorio serán el camino para obtener los distintos datos que nos brindarán una solución adecuada a la problemática de contaminación.

### **3.2.3. Técnicas**

Técnicas basadas en normas o procedimientos para la obtención de información o productos deseados

**Tabla 3-3:** Técnicas utilizadas en el proyecto

Técnicas muestreo	Técnicas para laboratorio
NTE INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.	APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21° EDICIÓN
NTE INEN 2176:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO	Métodos HACH

Realizado por: DAQUILEMA, Lisbeth, 2019

### 3.2.3.1. Muestreo

En base a las normas NTE INEN 2176:2013 y NTE INEN 2169:2013 se asegurará de que la muestra obtenida sea representativa tomando las muestras del curtido y pelambre directamente de los bombos.

La muestra se tomaron de manera manual para posteriormente ser caracterizadas en laboratorio, a continuación se muestra el número de muestras que se tomaron en la empresa.

**Tabla 4-3:** Proceso de curtido

Días	Muestra	Hora	Lugar
Lunes 19 de noviembre 2018	1	08:00 am 10:00 am 12:00 pm 14:00 pm	Bombos
Lunes 3 de diciembre 2018	1	08:00 am 10:00 am 12:00 pm 14:00 pm	
Lunes 17 de Diciembre 2018	1	08:00 am 10:00 am 12:00 pm 14:00 pm	
<b>Total de muestras</b>	<b>3</b>	<b>02:00 pm</b>	

Realizado por: Daquilema L., 2019

**Tabla 5-3:** Proceso de pelambre

Días	Muestra	Hora	Lugar
Lunes 19 de Febrero	1	08:00 am 10:00 am 12:00 pm 14:00 pm	Bombos
Lunes 4 de Marzo 2019	1	08:00 am 10:00 am 12:00 pm 14:00 pm	
Lunes 18 de Marzo 2019	1	08:00 am 10:00 am 12:00 pm 14:00 pm	
<b>Total de muestras</b>	<b>3</b>		

Realizado por: Daquilema L., 2019

### 3.2.3.2. Preservación de las muestras

Para la preservación de la muestra nos basamos en las siguientes recomendaciones:

**Tabla 6-3:** Preservación muestras

Parámetros	Recipientes	Volumen de muestra (ml)	Conservación	Tiempo de almacenamiento recomendado
<b>DQO</b>	Plástico o vidrio	1000	Acidificar con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 mes
<b>pH</b>	Plástico o vidrio	50	Análisis inmediato	Sin límite
<b>Sólidos en suspensión</b>	Plástico o vidrio	500	Refrigerar entre 1 a 5 °C	De 2 días
<b>Sólidos totales y sólidos disueltos</b>	Plástico o vidrio	100	Refrigerar entre 1 a 5 °C	24h
<b>Sulfuros</b>	Plástico o vidrio	500	Refrigerar; agregar 4 gotas de acetato de zinc 2N/100 mL; agregar NaOH hasta pH>9	1 semana
<b>Turbidez</b>	Plástico o vidrio	100	Refrigerar entre 1 a 5 °C	24h
<b>Cromo VI</b>	Plástico o vidrio	300	Refrigerar entre 1 a 5 °C	1 día
<b>Cromo total</b>	Plástico o vidrio	100	Acidificar con HNO <sub>3</sub>	
<b>DBO</b>	Plástico o vidrio	1000	Refrigerar entre 1 a 5 °C	24h

Realizado por: Daquilema L., 2019

Fuente: NTE INEN 2169:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS, 2013

Los materiales utilizados para el muestreo del efluente se detallan a continuación

**Tabla 7-3:** Equipos y materiales para determinación del caudal

Materiales	Equipos
Mandil	Cronómetro
Mascarilla	
Guantes de látex	
Botas de caucho	
Balde graduado (10L)	

Realizado por: Daquilema L., 2019

### 3.2.3.3. Determinación del caudal

El lugar para la determinación del caudal será donde se descarguen los efluentes tanto del proceso de curtido como del proceso de pelambre.

El caudal fue tomado cada 15 días en diferentes horarios para el proceso de curtido como para el proceso de pelambre, tomando en cuenta las fechas en las que la empresa tenía la producción alta, se tomó un total de cuatro muestras por día en diferentes horarios.

Para la determinación del caudal se aplicó el método volumétrico ya que el caudal de los efluentes no es constante, dicho método se lleva a cabo de la siguiente manera:

- Se realizan aforaciones directas con el balde graduado (10L) y el cronómetro para determinar el tiempo de llenado del mismo, considerar que no se debe tomar una muestra mayor a 2 L.
- Las aforaciones se llevaron a cabo durante tres días de la semana donde la empresa tenía mayor capacidad de producción.
- Posterior al muestreo los efluentes se llevaron a laboratorio de calidad de aguas de la facultad de ciencias de la ESPOCH para realizar las caracterizaciones respectivas.

Los datos de medición de caudal se muestran a continuación:

- **Proceso de Curtido**

**Tabla 8-3:** Medición de caudales

Semana 1 lunes 19 de noviembre de 2018	
Hora	Caudal (L/s)
08:00 am	0.226
10:00 am	0.234
12:00 pm	0.236
14:00 pm	0.229
<b>Promedio</b>	<b>0.231</b>
Semana 2: lunes 3 de diciembre 2018	
Hora	Caudal (L/s)
08:00	0.232
10:00	0.241
12:00	0.229
14:00	0.226
<b>Promedio</b>	<b>0.232</b>
Semana 3: lunes 17 de Diciembre 2018	
Hora	Caudal (L/s)
08:00	0.230
10:00	0.224
12:00	0.232
14:00	0.228
<b>Promedio</b>	<b>0.229</b>

Realizado por: Daquilema L., 2019

**Tabla 9-3:** Caudal promedio del agua residual de curtido

Semana	Caudal (L/s)
Semana 1	0.231
Semana 2	0.232
Semana 3	0.229
<b>Promedio</b>	<b>0.231(20m<sup>3</sup>/día)</b>

Realizado por: Daquilema L., 2019

- **Proceso de Pelambre**

**Tabla 10-3:** Medición de caudales

Semana 1: lunes 19 de Febrero 2019	
Hora	Caudal (L/s)
08:00 am	1.046
10:00 am	1.041
12:00 pm	1.045
14:00 pm	1.034
<b>Promedio</b>	<b>1.042</b>
Semana 2: lunes 4 de Marzo 2019	
Hora	Caudal (L/s)
08:00	1.038
10:00	1.043
12:00	1.033
14:00	1.045
<b>Promedio</b>	<b>1.039</b>
Semana 3: lunes 18 de Marzo 2019	
Hora	Caudal (L/s)
08:00	1.047
10:00	1.043
12:00	1.037
14:00	1.049
<b>Promedio</b>	<b>1.044</b>

Realizado por: Daquilema L., 2019

**Tabla 11-3:** Caudal promedio del agua residual de pelambre

Semana	Caudal (L/s)
Semana 1	1.042
Semana 2	1.039
Semana 3	1.044
<b>Promedio</b>	<b>1.042(90 m<sup>3</sup>/día)</b>

Realizado por: Daquilema L., 2019

#### 3.2.3.4. Análisis para la caracterización del efluente

Para la caracterización del efluente nos basaremos en los métodos standards, dichos métodos son utilizados en el laboratorio de Calidad del Agua de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo para el análisis de agua potable y residual.

**Tabla 12-3:** Métodos Estándar para la caracterización físico-química del agua residual

DETERMINACIONES	UNIDADES	*MÉTODO
<b>Cromo hexavalente</b>	mg/L	3500-B
<b>Cromo total</b>	mg/L	3500-B
<b>Demanda bioquímica de oxígeno(5 días)</b>	mg/L	5210-B
<b>Demanda química de oxígeno</b>	mg/L	5220-D
<b>Sólidos sedimentables</b>	mg/L	2540-F
<b>Potencial de hidrogeno</b>	-	4500-H+-B
<b>Sólidos suspendidos totales</b>	mg/L	2540-D
<b>Sólidos totales</b>	mg/L	2540-B
<b>Temperatura</b>	°C	2550-B
<b>Turbiedad</b>	NTU	2130-B
<b>Sólidos totales disueltos</b>	mg/L	2540-C
<b>Conductividad</b>	mS/cm	2510-C
<b>Sulfuros</b>	mg/L	4500-S-E

Realizado por: Daquilema L., 2019

Fuente: APHA, AWA & WPFC, 1992: p. 3-101

**Tabla 13-3:** Cromo (hexavalente y total)

Generalidades	Materiales y Equipos	Reactivos	Proceso
Método directo de llama aire/acetileno para la determinación de cobalto, cromo, bismuto, estaño, zinc	Espectrofotómetro de absorción atómica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aire</li> <li>• Acetileno</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Solución de lantano</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Preparar 100 ml de la muestra con 10 ml de la solución de lantano</li> <li>• Instalar en el espectrofotómetro de cátodo hueco para el metal deseado y encender el instrumento</li> <li>• Colocar el acetileno y ajustar la velocidad de flujo de vapor y encender la llama</li> <li>• Hacer aspirar un blanco con agua destilada</li> <li>• Hacer aspirar una solución patrón y ajustar la velocidad de aspiración del nebulizador</li> <li>• El instrumento está listo para medir la cantidad del metal presente en la muestra</li> </ul>

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** APHA, AWA & WPFC, 1992: p. 3-101

**Tabla 14-3: DBO**

Generalidades	Materiales y Equipos	Reactivos	Proceso	Cálculo
Colocar la muestra en frascos herméticos y realizar la incubación a una temperatura estable en un tiempo de 5 días, el oxígeno disuelto se debe medir antes y después de la incubación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botellas de incubación</li> <li>• Incubador de aire o baño de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución tampón de fosfato</li> <li>• Soluciones ácidas y básicas (1N)</li> <li>• Solución de sulfito sódico</li> <li>• Solución de glucosa ácido</li> <li>• Solución de cloruro de amonio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar el volumen deseado de agua en los frascos y añadir 1 mL de la solución tampón de fosfato</li> <li>• La solución glucosa-ácido ayudará a evitar la influencia de sustancias tóxicas en los resultados de los ensayos.</li> <li>• La etapa de siembra nos permite oxidar la materia orgánica biodegradable de la muestra</li> <li>• Preparación de la muestra con la neutralización de las mismas a pH entre 6,5 y 7,5 con el uso de soluciones ácidas o básicas.</li> <li>• Técnica de dilución para tener medidas más fiables.</li> <li>• Determinación de OD inicial.</li> <li>• Incubación a 20 °C</li> <li>• Determinación del OD final</li> </ul>	$DBO_5 = \frac{(D1 - D2) - (B1 - B2)}{P}$ <p>Dónde:</p> <p>D1=OD de la muestra diluida después de su preparación</p> <p>D2=OD de la muestra después de 5 días de dilución.</p> <p>B1= OD del control de simiente antes de incubar.</p> <p>B2= OD del control de simiente después de incubar.</p> <p>P= fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada.</p>

Realizado por: Daquilema L., 2019

Fuente: APHA, AWA & WPFC, 1992: p. 5-2

**Tabla 15-3: DQO**

Generalidades	Materiales y Equipos	Reactivos	Proceso
La materia orgánica se somete a un reflujó en una solución ácida fuerte	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectrofotómetro</li> <li>• Ampollas</li> <li>• Vasos de digestión</li> <li>• Bloque de calentamiento</li> <li>• Horno</li> <li>• Sellador de ampolla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solución de digestión</li> <li>• Reactivo ácido sulfúrico</li> <li>• Ácido sulfúrico</li> <li>• Ftalato de hidrógeno de potasio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lavar los tubos de cultivo con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para evitar contaminación</li> <li>• Añadir en el tubo la solución de digestión</li> <li>• Verter el ácido sulfúrico en los vasos</li> <li>• Colocar los vasos en el horno a 150 °C por 2h luego dejar enfriar a temperatura ambiente.</li> <li>• Dejar que los sólidos de las muestras, patrones y el blanco se depositen para medir la absorbancia.</li> <li>• Leer la absorbancia en el espectrofotómetro</li> </ul>

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** APHA, AWA & WPFC, 1992: p. 5-12

**Tabla 16-3: Sólidos sedimentables**

Generalidades	Materiales y Equipos	Reactivos	Proceso	Cálculo
Se los determina en función de un volumen o un peso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cono de Imhoff</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mezclar adecuadamente la mezcla y llenarla hasta la marca 1-1 del cono de Imhoff y dejar sedimentar por 45 minutos</li> <li>• Agitar con una varilla suavemente y dejar nuevamente en reposo durante 15 minutos más.</li> </ul>	mg sólidos sedimentables/l= mg de sólidos totales en suspensión/l-mg de sólidos no sedimentables/l

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** APHA, AWA & WPFC, 1992: p. 2-78

**Tabla 17-3:** Potencial de hidrógeno

Generalidades	Materiales y Equipos	Reactivos	Proceso
Monitorear la actividad que muestren los iones hidrógeno	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vasos de precipitación</li> <li>pH metro</li> <li>Electrodo de referencia y de vidrio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solución tapón</li> <li>Solución de Na(OH) y HCl 0,1 N</li> <li>Solución tartrato ácido de potasio</li> <li>Solución saturada de Ca(OH)<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calibrar el pHmetro</li> <li>Homogenizar la muestra</li> <li>Colocar los electrodos en la muestra para obtener la lectura del pH</li> </ul>

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** APHA, AWA & WPFC, 1992: p. 4-106

**Tabla 18-3:** Sólidos suspendidos totales

Generalidades	Materiales y Equipos	Reactivos	Proceso	Cálculo
Filtrado de la muestra con filtros estándar La diferencia entre el total de sólidos y el total de sólidos disueltos nos dará la cantidad de los sólidos suspendidos totales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Embudo de filtro</li> <li>Crisol Gooch</li> <li>Dispositivo</li> <li>Matraz de succión</li> <li>Horno de secado</li> <li>Baño de vapor</li> <li>Desecador</li> <li>Balanza de análisis</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pesar el filtro</li> <li>Montar el equipo de filtrado</li> <li>Filtrar la muestra</li> <li>Una vez termine el filtrado de la muestra llevar el filtro a la etapa de secado a una temperatura de 103-105 °C por una hora, enfriar el filtro en un desecador y proceder a pesarlo.</li> <li>Repetir el procedimiento hasta obtener un peso constante</li> </ul>	<p>mg de sólidos totales en suspensión/l = <math>\frac{(A-B)*1000}{\text{volumen de la muestra, ml}}</math></p> <p>Dónde A= peso del filtro + residuo seco, mg B= peso del filtro, mg</p>

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** APHA, AWA & WPFC, 1992: p. 2-78

**Tabla 19-3: Sólidos totales**

Generalidades	Materiales y Equipos	Reactivos	Proceso	Cálculo
Uso de placas de evaporación para determinar la cantidad de sólidos totales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Placas de evaporación</li> <li>Baño de vapor</li> <li>Desecador</li> <li>Balanza de análisis</li> <li>Horno de secado</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pesar la placa antes de utilizarla</li> <li>Elegir un volumen de muestra y colocarla en la placa</li> <li>Llevar la placa al baño vapor</li> <li>Secar la muestra en el horno de secado durante una hora a 103-105°C</li> <li>Enfriar la placa en el desecador y pesar</li> <li>Repetir el proceso hasta obtener un peso constante</li> </ul>	mg de sólidos totales $/l = \frac{(A-B) \cdot 1000}{\text{volumen de la muestra, ml}}$ Dónde A= peso placa + residuo seco, mg B= peso placa, mg

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** APHA, AWA & WPFC, 1992: p. 2-78

**Tabla 20-3: Temperatura**

Generalidades	Materiales y Equipos	Reactivos	Proceso
Uso de termómetro de mercurio para medición de temperatura de aguas no profundas	Termómetro de mercurio	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Colocar el bulbo del termómetro en el efluente</li> <li>Determinar la temperatura de la muestra</li> </ul>

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** APHA, AWA & WPFC, 1992: p. 2-88

**Tabla 21-3: Turbiedad**

Generalidades	Materiales y Equipos	Reactivos	Proceso
Comparación de la dispersión de luz en la muestra y en una solución patrón	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubos</li> <li>• Turbidímetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua libre de turbidez</li> <li>• Suspensión de turbidez de reserva</li> <li>• Suspensión Estándar de turbidez</li> <li>• Estándares alternativos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calibrar el turbidímetro</li> <li>• Para medidas inferiores a 40 UNT agitar la muestra hasta eliminar las burbujas de agua presente, colocar la muestra en el turbidímetro</li> <li>• Para medidas superiores a 40 UNT se deberá diluir la muestra con agua libre de turbidez hasta obtener valores de entre 30-40 UNT</li> </ul>

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** APHA, AWA & WPFC, 1992: p. 2-12.

**Tabla 22-3: Sólidos totales disueltos**

Generalidades	Materiales y Equipos	Reactivos	Proceso	Cálculo
Uso de filtros estándar en el proceso, los sólidos disueltos se identifican con un aumento en el peso de la placa de evaporación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Placa de evaporación</li> <li>• Filtros</li> <li>• Aparato de filtrado</li> <li>• Embudo de filtrado</li> <li>• Crisol Gooch</li> <li>• Matraz de succión</li> <li>• Horno de secado</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calentar las placas en el horno a 180 °C durante una hora y pesar antes de usarlas</li> <li>• Selección del filtro y la cantidad de muestra.</li> <li>• Filtrar la muestra y transferir el producto a las placas de evaporación y evaporar en un baño de vapor</li> <li>• Secar en un horno a 180 °C durante una hora y enfriar en un desecador y pesar hasta obtener un peso constante</li> </ul>	<p>mg de sólidos disueltos</p> $/l = \frac{(A-B) \cdot 1000}{\text{volumen de la muestra, ml}}$ <p>Dónde</p> <p>A= peso placa + residuo seco, mg</p> <p>B= peso placa, mg</p>

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** APHA, AWA & WPFC, 1992: p. 2-78

**Tabla 23-3: Conductividad**

Generalidades	Materiales y Equipos	Reactivos	Proceso
La conductividad es la capacidad de una solución para transportar corriente eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> <li>Multiparámetro</li> <li>Vasos de precipitación de 100 ml</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Homogenizar la muestra</li> <li>Colocar 75 ml de agua en el vaso de precipitación</li> <li>Introducir los electrodos en el vaso con la muestra y medir la conductividad</li> </ul>

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** APHA, AWA & WPFC, 1992: p. 2-63

**Tabla 24-3: Sulfuros**

Generalidades	Materiales y Equipos	Reactivos	Proceso	Cálculo
Método yodométrico	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ácido clorhídrico 6 N</li> <li>Solución patrón de yodo 0,0250 N</li> <li>Solución patrón tiosulfato sódico 0,0250 N</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Añadir la solución de yodo a un matraz de 500 ml</li> <li>Añadir agua destilada y HCl en una cantidad de 2 ml</li> <li>Titular por retroceso con solución de tiosulfato sódico y continuar con el proceso hasta que desaparezca el color azul</li> </ul>	$\frac{mgS^{2-}}{l} = \left[ \frac{(A * B) - (C * D) * 16000}{ml \text{ de la muestra}} \right]$ <p>Dónde                      A= ml solución de yodo                      B=Normalidad solución de yodo                      C= ml solución tiosulfato sódico                      D= normalidad de la solución de tiosulfato sódico</p>

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** APHA, AWA & WPFC, 1992: p. 4-125

### 3.2.3.5. Índice de biodegradabilidad

Este índice representa la naturaleza del agua residual permitiéndonos definir cuál tratamiento será el más adecuado para el efluente. (Olavacha, 2017, p.18)

**Tabla 25-3:** Índice de biodegradabilidad

$\frac{DBO_5}{DQO}$	Tipo de biodegradabilidad	Tratamiento
>0,4	Muy biodegradable	Biológico
0,2-0,4	Biodegradable	Biológico (se puede cuestionar el tipo de tratamiento).
<0,2	No biodegradable	físico-químico

**Realizado por:** Daquilema L., 2019  
**Fuente:** Olovacha, 2017

### 3.2.4. Resultados

#### 3.2.4.1. Caracterización de los efluentes

Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual existente

**Tabla 26-3:** Caracterización inicial de la PTAR existente del efluente de curtido

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Valor antes del tratamiento
Cromo hexavalente	mg/L	0,5	0,12
Cromo total	mg/L	-----	497
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	1320
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	8200

**Realizado por:** Daquilema L., 2019  
**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22

**Tabla 27-3:** Caracterización inicial de la PTAR existente del efluente de Pelambre

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Valor antes del tratamiento
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	6300
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	19900
Sulfuros	mg/L	0,5	832

**Realizado por:** Daquilema L., 2019  
**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22

Los resultados obtenidos una vez realizada la caracterización de los efluentes fueron:

**Tabla 28-3:** Caracterización inicial del efluente de curtido

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Valor antes del tratamiento
Conductividad	mS/cm	-----	1,50
Turbiedad	NTU	-----	128
Cromo hexavalente	mg/L	0,5	0,16
Cromo total	mg/L	-----	587,38
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	1700
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	10900
Potencial de Hidrógeno	-	6-9	4
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	40
Sólidos Totales	mg/L	1600	25044
Sólidos totales disueltos	mg/L	-----	830
Temperatura	°C	Condición natural $\pm 3$ °C	21

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22

**Tabla 29-3:** Caracterización inicial del efluente de pelambre

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Valor antes del tratamiento
Conductividad	mS/cm	-----	5,09
Turbiedad	NTU	-----	5200
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	6300
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	19900
Potencial de Hidrógeno	-	6-9	12,39
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	52
Sólidos Totales	mg/L	1600	29680
Sólidos totales disueltos	mg/L	-----	1880
Sulfuros	mg/L	0,5	832
Temperatura	°C	Condición natural $\pm 3$ °C	21

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22

### 3.2.4.2. Cálculo del rendimiento de la planta de tratamiento de agua residual existente

**Tabla 30-3:** Calculo de eficiencia del agua de curtido

Parámetros	Unidad	Valor de agua antes del tratamiento	Evaluación de PTAR existente	% de Eficiencia
Cromo hexavalente	mg/L	0,16	0,12	25%
Cromo total	mg/L	587,38	497	15,38%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	1700	1320	22,35%
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	10900	8200	24,77%

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Tabla 31-3:** Calculo de eficiencia del agua de pelambre

Parámetros	Unidad	Valor antes del tratamiento	Evaluación de PTAR existente	% de Eficiencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	6300	4320	31,43%
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	19900	13250	33,42%
Sulfuros	mg/L	832	624	25%

Realizado por: Daquilema L., 2019

### 3.2.4.3. Cálculo del índice de biodegradabilidad

Este índice representa la naturaleza del agua residual permitiéndonos definir cuál tratamiento será el más adecuado para el efluente (Olavacha, 2017, p.18).

#### Curtido

**Tabla 32-3:** Datos para determinación del índice de biodegradabilidad efluente curtido

Parámetro	Unidad	Resultado
<b>DBO5</b>	mg O <sub>2</sub> /L	1700
<b>DQO</b>	mg/l	10900

Realizado por: Daquilema L., 2019

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = \frac{DBO5}{DQO}$$

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = \frac{1700}{10900}$$

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = 0,16$$

#### Pelambre

**Tabla 33-3:** Datos para determinación del índice de biodegradabilidad efluente pelambre

Parámetro	Unidad	Resultado
<b>DBO5</b>	mg O <sub>2</sub> /L	6300
<b>DQO</b>	mg/l	19900

Realizado por: Daquilema L., 2019

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = \frac{DBO5}{DQO}$$

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = \frac{6300}{19900}$$

$$\text{Índ. de Biodegradabilidad} = 0,31$$

El índice de biodegradabilidad del efluente de curtido fue de 0,16 dicho valor fue comparado con la tabla y se determinó un tratamiento físico-químico para nuestro efluente, el índice de biodegradabilidad del efluente de pelambre fue de 0,31 y se optó por un tratamiento físico-químico para esta agua residual.

Como se puede observar en las tablas de caracterización de los efluentes los parámetros deberán ser sometidos a diferentes tratamientos para determinar cuál de estos es el más idóneo para la reducción de carga contaminante.

### **Pruebas de tratabilidad**

Los parámetros a tratar son: DBO, DQO, cromo total, cromo hexavalente, sólidos sedimentables, pH, sólidos totales, turbiedad, sólidos totales disueltos, conductividad y sulfuros.

Al determinar un tratamiento físico-químico para el efluente de pelambre y curtido, se optó por realizar primeramente una prueba de jarras para determinar la dosificación idónea de los químicos, posteriormente se aplicará una filtración para asegurar que los parámetros cumplan con los valores dictados por la norma.

### **Prueba de jarras**

Para la realización de las pruebas de jarras se consideró las muestras compuestas de los efluentes provenientes del proceso de curtido y pelambre, el agua residual de curtido tenía inicialmente una turbiedad de 128 NTU con pH de 4 mientras que el efluente del proceso de pelambre tenía una turbiedad de 5200 NTU y un pH de 12,39, la prueba de jarras nos permitió determinar la dosificación más efectiva de los coagulantes y floculantes a ser usados para la descontaminación del efluente.

Para determinar la dosis óptima de coagulante y floculante a ser utilizado en el efluente del curtido se procedió a realizar dosificaciones a diferentes concentraciones, la velocidad de agitación en la coagulación fue de 200 rpm mientras que en el proceso de coagulación fue de 40 rpm, la dosis óptima de coagulante utilizado fue de 50 ppm mientras que la de floculante tuvo una concentración de 1 ppm.

A continuación se muestra mediante tablas los coagulantes, floculantes y su respectivo valor de dosificación óptimo para la descontaminación del efluente del curtido y pelambre.

**Tabla 34-3:** Coagulantes y floculantes (curtido y pelambre)

Coagulantes	Floculantes
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	Aniónico
PAC	Catiónico
FeCl <sub>3</sub>	No iónico

Realizado por: Daquilema L., 2019

### Prueba de jarras en el efluente de curtido

*Coagulante y floculante adecuado para el tratamiento del efluente de curtido*

Se determinó el tipo de coagulante que tuvo mejor remoción de la turbiedad del efluente.

**Tabla 35-3:** Selección de coagulante

Coagulante	%Remoción (Turbidez)
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	85,47%
PAC	39,92%
FeCl <sub>3</sub>	25,31%

Realizado por: Daquilema L., 2019

El coagulante que mejor remoción de turbidez tuvo fue el Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> con un porcentaje de remoción del 85,47%

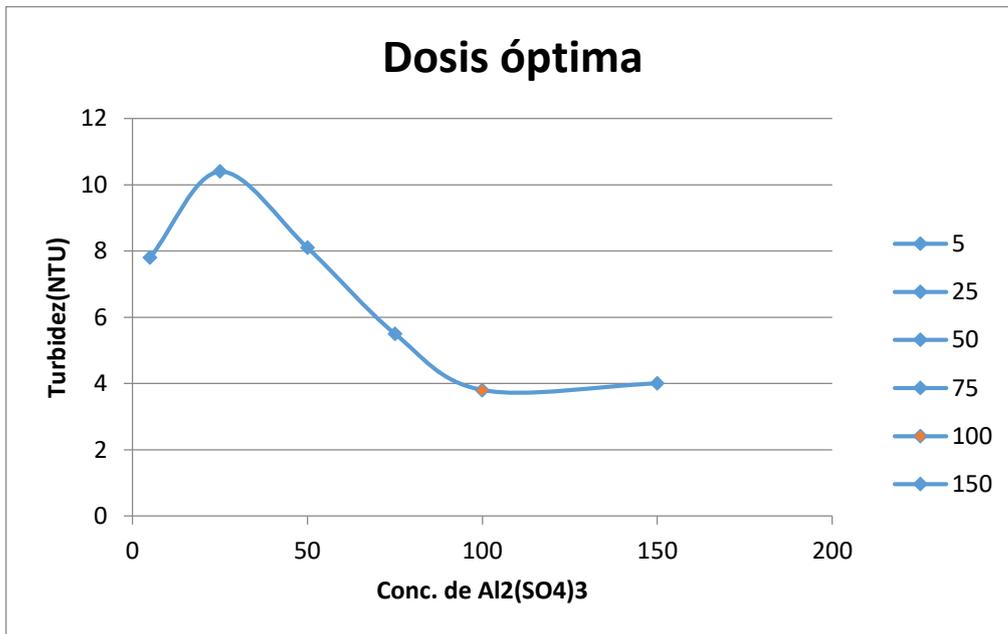
Posteriormente se definió la dosis óptima de coagulante que se iba a ocupar para el tratamiento del efluente.

**Tabla 36-3:** Prueba de jarras sobre muestra de agua del proceso de curtido

Conc. Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (ppm)	Turbiedad (NTU)
5	7,8
25	10,4
50	8,1
75	5,5
100	3,8
150	4

Realizado por: Daquilema L., 2019

Se puede observar en la siguiente gráfica que al usar una concentración de 100 ppm de coagulante se tuvo un mejor tratamiento de la turbiedad reduciéndola hasta un valor de 3,8 NTU.



**Gráfico 1-3:** Dosis de sulfato de aluminio  
Realizado por: Daquilema L., 2019

Para la selección del floculante primeramente se determinó la clase de floculante que mejor remoción de turbidez iba a tener.

**Tabla 37-3:** Floculante con mejor remoción de turbidez

Floculante	%Remoción (Turbidez)
Aniónico	95,31
Catiónico	90,63
No iónico	90,63

Realizado por: Daquilema L., 2019

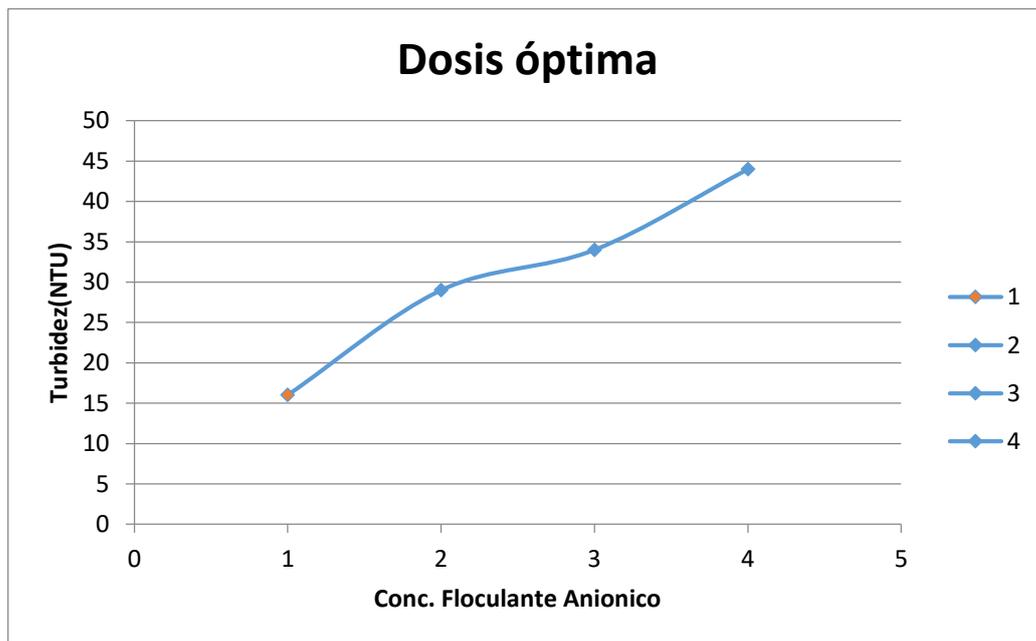
El floculante del tipo aniónico fue el floculante con mejor porcentaje de remoción una vez seleccionado el mejor floculante se procedió a determinar su dosis óptima para el tratamiento del efluente.

**Tabla 38-3:** Dosis óptima de floculante para tratamiento de efluente de curtido

Conc. Aniónico (ppm)	Turbiedad (NTU)
1	16
2	29
3	34
4	44

Realizado por: Daquilema L., 2019

Al observar la siguiente gráfica se puede determinar que la concentración óptima de floculante a ocupar será de 1 ppm.



**Gráfico 2-3:** Dosis de floculante para efluente de curtido

Realizado por: Daquilema L., 2019

#### *Tiempo de aireación efluente de curtido*

Realizado el tratamiento de coagulación-floculación se determinó el tiempo de aireación del efluente de curtido siendo un tiempo de 6h el más adecuado para el efluente.

#### **Prueba de jarras en el efluente de pelambre**

##### *Tiempo de aireación en el efluente de pelambre*

Una vez realizado el tratamiento químico en el efluente de pelambre se procedió a determinar el tiempo de aireación para la reducción de sulfuros para posteriormente aplicar sobre el agua residual el tratamiento físico-químico.

Se trabajó con diferentes concentraciones de sulfato de manganeso en el cual se tenía una cantidad de sulfuro inicial de 832 mg/L, se evaluaron diferentes tiempos de aireación para determinar cuál tiempo era el más adecuado.

En la siguiente tabla se muestra las concentraciones con las cuales se trabajaron y el tiempo de aireación que mejor reducción de sulfuros efectuó

**Tabla 39-3:** Tiempo de aireación según la concentración de sulfato de manganeso

ppm de sulfato	1hr	2hr	3hr	4hr	5hr	6hr	sulfuro inicial	% de remocion
25ppm	768	736	672	640	576	512	832	38,46
75ppm	512	464	384	288	128	96	832	88,46
200ppm	704	672	608	544	480	384	832	53,85
300ppm	736	704	640	576	512	448	832	46,15
500ppm	640	608	576	544	512	573	832	31,13
1000ppm	672	640	544	480	448	448	832	46,15
2000ppm	384	352	288	256	288	288	832	65,38

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

Como se puede observar en la tabla el mejor porcentaje de remoción de sulfuros fue de 88,46% este resultado se obtuvo con una concentración de 75 ppm de sulfato y un tiempo de aireación de 6 horas.

#### *Coagulante y floculante adecuado para el tratamiento del efluente de pelambre*

Para determinar el coagulante adecuado para el tratamiento del efluente nos basamos en la reducción de la turbidez como se muestra a continuación:

**Tabla 40-3:** Selección de coagulante

Coagulante	%Remoción (Turbidez)
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	87,50%
PAC	86,08%
FeCl <sub>3</sub>	64,23%

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

El uso del Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> permitió reducir la turbidez hasta en un 87,50% seleccionándolo como el coagulante adecuado para el tratamiento del efluente de curtido

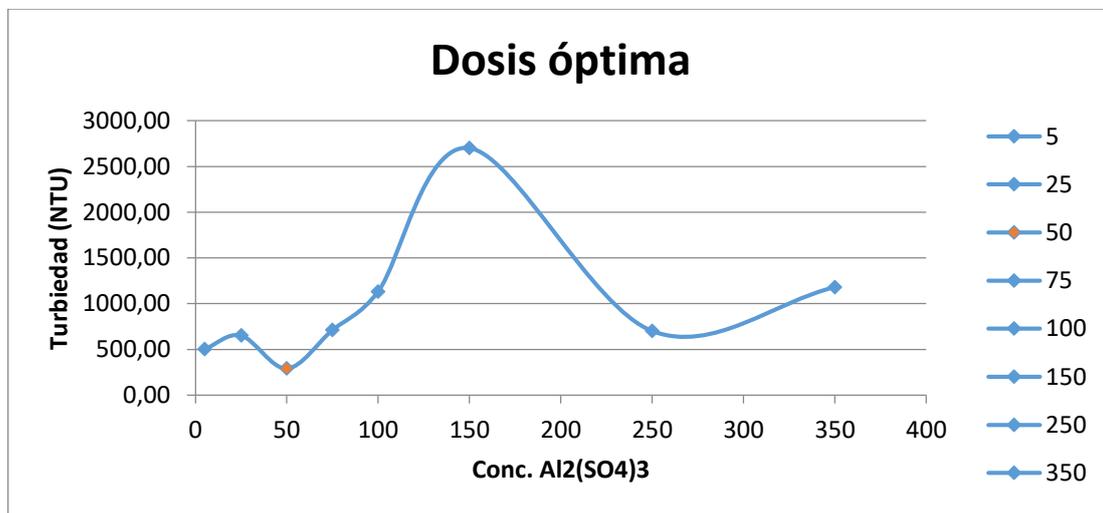
Una vez definido el coagulante adecuado se determinó su dosis óptima.

**Tabla 41-3:** Prueba de jarras en la muestra de agua del proceso de pelambre

Conc. $Al_2(SO_4)_3$ (ppm)	Turbiedad (NTU)
5	500,90
25	650,90
50	290
75	710,40
100	1130,70
150	2700
250	700,10
350	1180,40

Realizado por: Daquilema L., 2019

Como se puede observar en la curva de turbiedad al utilizar una concentración de 50ppm de coagulante se tendrá el punto más bajo de esta en un valor de 290.



**Gráfico 3-3:** Dosis de sulfato de aluminio efluente de pelambre

Realizado por: Daquilema L., 2019

Para el floculante se determinó en primer lugar cual era el más adecuado de utilizar y posteriormente se aplicaron diversas concentraciones del mismo para determinar su dosis óptima.

**Tabla 42-3:** Selección de floculante

Floculante	%Remoción (Turbidez)
Aniónico	95,18
Catiónico	93,26
No iónico	90,85

Realizado por: Daquilema L., 2019

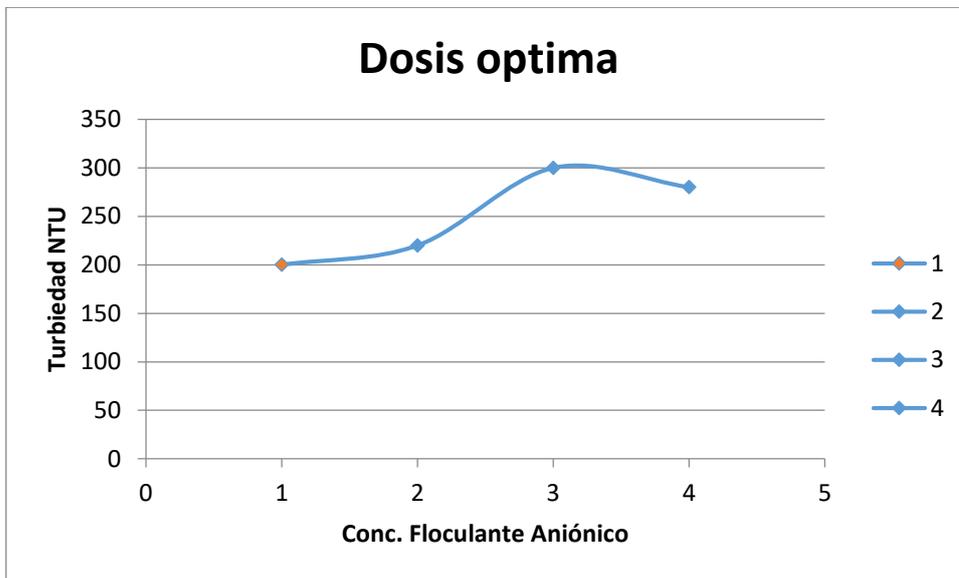
El floculante con mejor porcentaje de remoción fue el del tipo aniónico, posteriormente se determinó la concentración óptima del mismo.

**Tabla 43-3:** Dosis óptima de floculante para tratamiento del agua residual de pelambre

Conc. Aniónico (ppm)	Turbiedad (NTU)
1	200
2	220
3	300
4	280

Realizado por: Daquilema L., 2019

Como se puede observar en la curva de la turbiedad al utilizar una concentración de 1ppm de floculante se logró reducir la turbiedad hasta 200 NTU.



**Gráfico 4-3:** Dosis de floculante efluente de pelambre

Realizado por: Daquilema L., 2019

### Filtración zeolita, carbón activado, piedra pómez y limo

Posterior a los tratamientos químicos y aireación en el caso del agua residual de pelambre en el laboratorio se realizó un filtro con zeolita, carbón activado, piedra pómez y limo en recipientes de plástico se utilizó una porción de cada uno de los materiales mencionados con anterioridad para elaborar el equipo de filtrado, este tipo de filtro se utilizó tanto para el efluente de curtido como para el de pelambre.

**Tabla 44-3:** Filtro para tratamiento de aguas residuales

Filtro	
Material	cm
Zeolita	3
carbón activado	4,5
piedra pomex	3
Limo	2,5

Realizado por: Daquilema L., 2019

### Caracterización físico-química post-tratamientos para los efluentes de Curtipiel Martínez

Los parámetros a ser analizados en el efluente de curtido y pelambre fueron conductividad, turbiedad, cromo hexavalente y total, DBO, DQO, pH, sólidos suspendidos, sólidos totales, sólidos totales disueltos, temperatura, en el caso del efluente de pelambre se analizaron también los sulfuros.

Una vez aplicados los tratamientos seleccionados por el resultado obtenido del índice de biodegradabilidad se realizó nuevamente la caracterización de los efluentes, en primer lugar se caracterizó las aguas tratadas por coagulación floculación las mismas que fueron posteriormente tratadas por filtración.

### Caracterización post-tratamientos efluente de curtido

#### Caracterización efluente de curtido tratado con coagulante-floculante

Primeramente se realizó la caracterización del efluente una vez tratado con el coagulante y floculante seleccionado.

**Tabla 45-3:** Parámetros del efluente de curtido una vez aplicado los tratamientos de coagulación-floculación

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Valor antes del tratamiento	Valor después del tratamiento
Conductividad	mS/cm	-----	1,50	1,96
Turbiedad	NTU	-----	128	18
Cromo hexavalente	mg/L	0,5	0,16	0,06
Cromo total	mg/L	-----	587,38	11,62
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	1700	790
Demanda Química de	mg/L	200	10900	2330

Oxígeno				
Potencial de Hidrógeno	-	6-9	4	8,9
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	40	0
Sólidos Totales	mg/L	1600	25044	2416
Sólidos totales disueltos	mg/L	-----	830	1040
Temperatura	°C	Condición natural $\pm$ 3 °C	21	23,2

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22

Los parámetros del efluente de curtido como conductividad, temperatura, sólidos disueltos y pH tuvieron un aumento en sus valores, además que parámetros como el DBO, DQO y sólidos totales se mantenían fuera de la norma por lo que se optó llevar al efluente tratado por coagulación y floculación a un tratamiento por filtración.

### **Caracterización efluente de curtido tratado por filtración**

Una vez terminado el proceso de coagulación-floculación se llevó al efluente a un tratamiento por filtrado dándonos los siguientes resultados:

**Tabla 46-3:** Parámetros del efluente de curtido una vez aplicado el filtrado

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Valor antes del tratamiento	Valor después del tratamiento
Conductividad	mS/cm	-----	1,96	2,05
Turbiedad	NTU	-----	18	5
Cromo hexavalente	mg/L	0,5	0,06	0,043
Cromo total	mg/L	-----	11,62	9,77
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	790	280
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	2330	410
Potencial de Hidrógeno	-	6-9	8,9	6,7
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	0	0
Sólidos Totales	mg/L	1600	2416	2541
Sólidos totales disueltos	mg/L	-----	1040	1080
Temperatura	°C	Condición natural $\pm$ 3 °C	23,2	23,2

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22

## Resultados de caracterización final efluente de curtido tratado

**Tabla 47-3:** Parámetros del efluente de curtido post-tratamientos

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Valor después del tratamiento	Cumplimiento de la norma
Conductividad	mS/cm	-----	2,05	-----
Turbiedad	NTU	-----	5	-----
Cromo hexavalente	mg/L	0,5	0,043	Si cumple
Cromo total	mg/L	-----	9,77	-----
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	280	No cumple
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	410	No cumple
Potencial de Hidrógeno	-	6-9	6,7	Si cumple
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	0	Si cumple
Sólidos Totales	mg/L	1600	2541	No cumple
Sólidos totales disueltos	mg/L	-----	1080	-----
Temperatura	°C	Condición natural $\pm$ 3 °C	23,2	Si cumple

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22

## Porcentajes de remoción

**Tabla 48-3:** Porcentaje de remoción de contaminantes del efluente de curtido

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Turbiedad	NTU	-----	128	5	96,09
Cromo hexavalente	mg/L	0,5	0,16	0,043	73,13
Cromo total	mg/L	-----	587,38	9,77	98,34
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	1700	280	83,53
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	10900	410	96,24
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	40	0	100
Sólidos Totales	mg/L	1600	25044	2541	89,85
pH	-	6-9	4	6,7	No hay remoción

Conductividad	mS/cm	-----	1,50	2,05	No hay remoción
Sólidos totales disueltos	mg/L	-----	830	1080	No hay remoción
Temperatura	°C	Condición natural ± 3 °C	21	23,2	No hay reducción

**Realizado por:** Daquilema L., 2019  
**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22

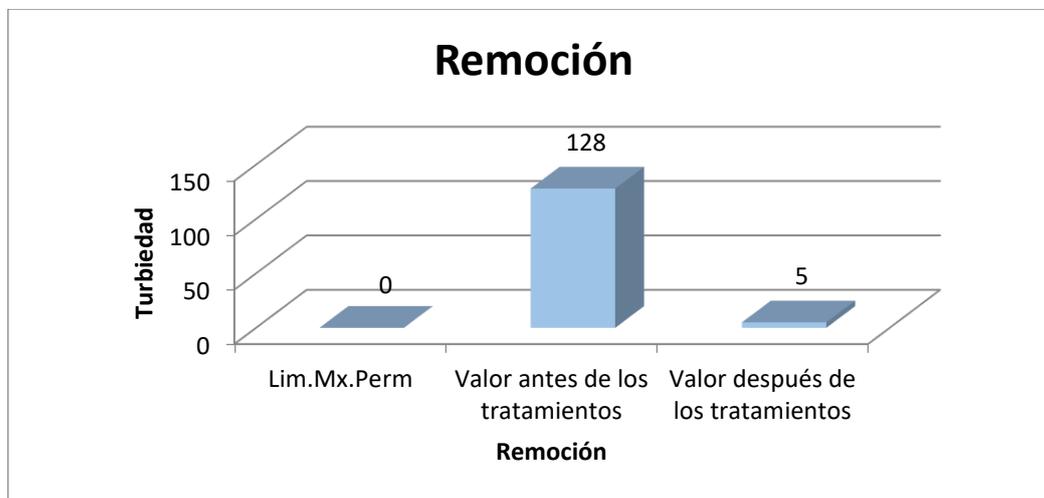
A continuación se presentan gráficos demostrativos de la remoción de los contaminantes.

### Turbiedad

**Tabla 49-3:** Remoción turbiedad efluente de curtido

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Turbiedad	NTU	-----	128	5	96,09

**Realizado por:** Daquilema L., 2019  
**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 5-3:** Remoción turbiedad

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

En la gráfica se puede observar que el valor de la turbiedad antes de los tratamientos era de 128 NTU y después de aplicar el tratamiento fisicoquímico se disminuyó la turbiedad a un valor de 5 NTU.

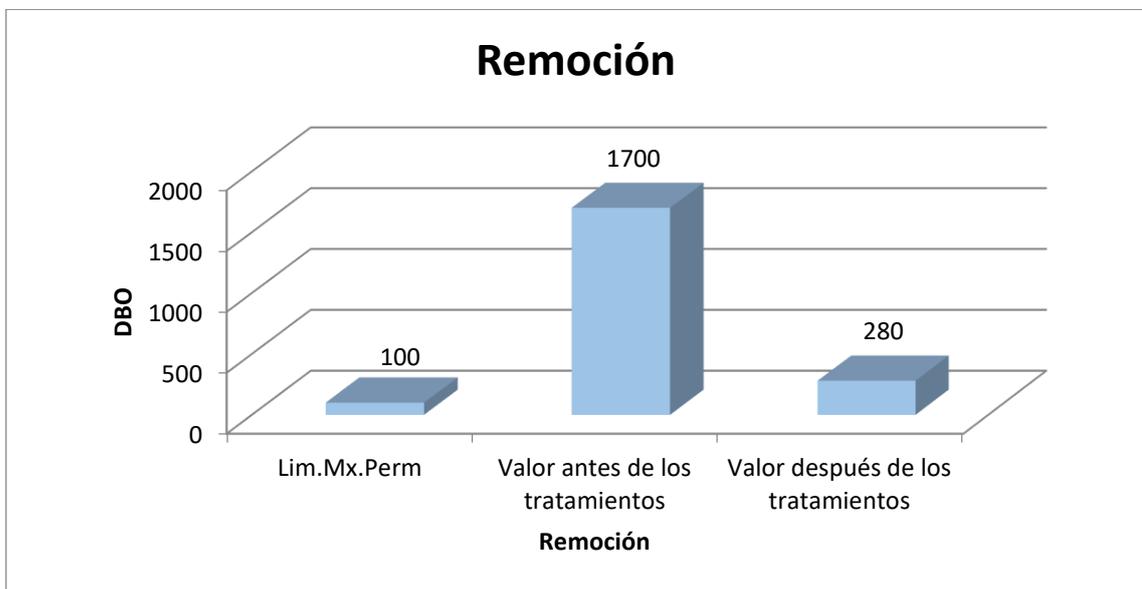
## DBO

**Tabla 50-3:** Remoción DBO efluente de curtido

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	1700	280	83,53

Realizado por: Daquilema L., 2019

Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 6-3:** Remoción DBO

Realizado por: Daquilema L., 2019

Una vez aplicados los tratamientos los valores de DBO pasaron de 1700 mg/L a 280 mg/L

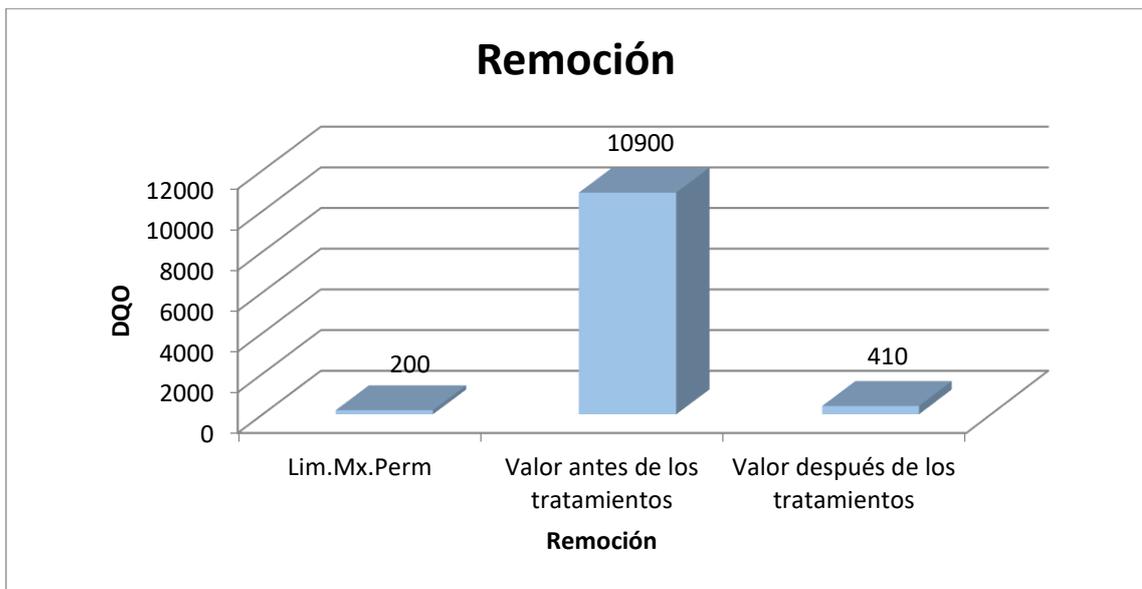
## DQO

**Tabla 51-3:** Remoción DQO efluente de curtido

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	10900	410	96,24

Realizado por: Daquilema L., 2019

Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 7-3:** Remoción DQO

Realizado por: Daquilema L., 2019

Después de aplicados los tratamientos se logró la reducción del DQO de un valor de 10900 mg/L a un valor de 410 mg/L.

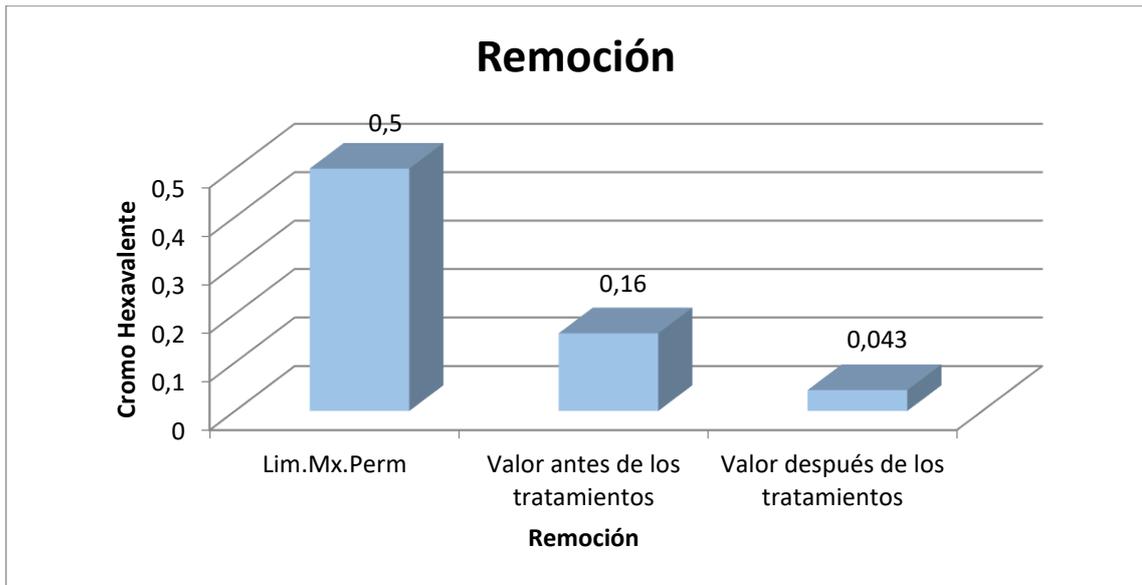
### Cromo hexavalente

**Tabla 52-3:** Remoción cromo hexavalente efluente de curtido

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Cromo hexavalente	mg/L	0,5	0,16	0,043	73,13

Realizado por: Daquilema L., 2019

Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 8-3:** Cromo hexavalente

Realizado por: Daquilema L., 2019

La reducción de cromo hexavalente fue de 73,13% pasando de un valor de 0,16 mg/L a un valor de 0,043 mg/L.

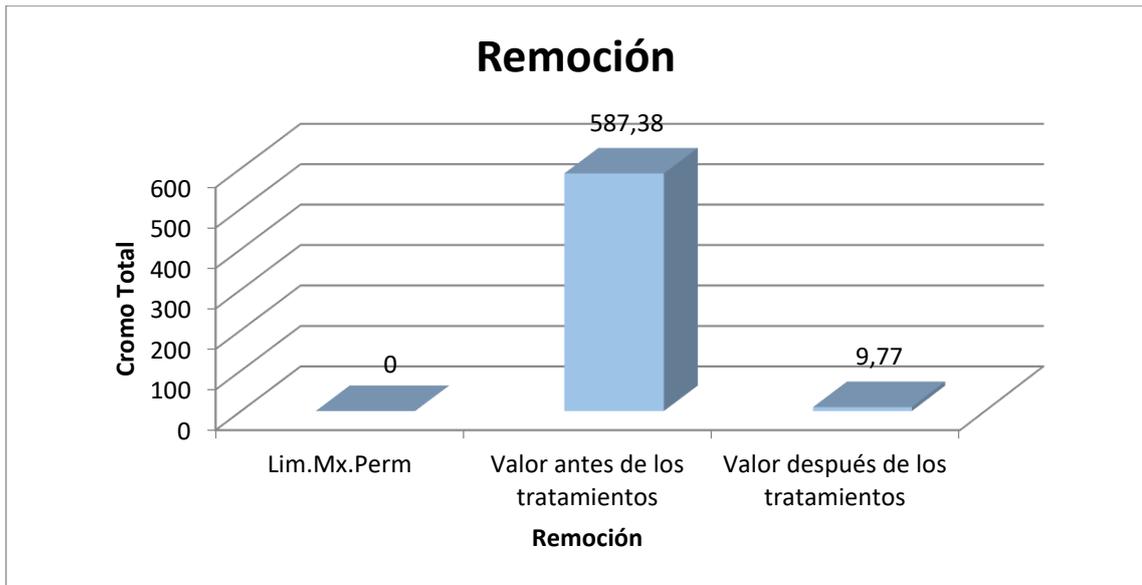
### Cromo total

**Tabla 53-3:** Remoción cromo total efluente de curtido

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Cromo total	mg/L	-----	587,38	9,77	98,34

Realizado por: Daquilema L., 2019

Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 9-3:** Cromo total  
**Realizado por:** Daquilema L., 2019

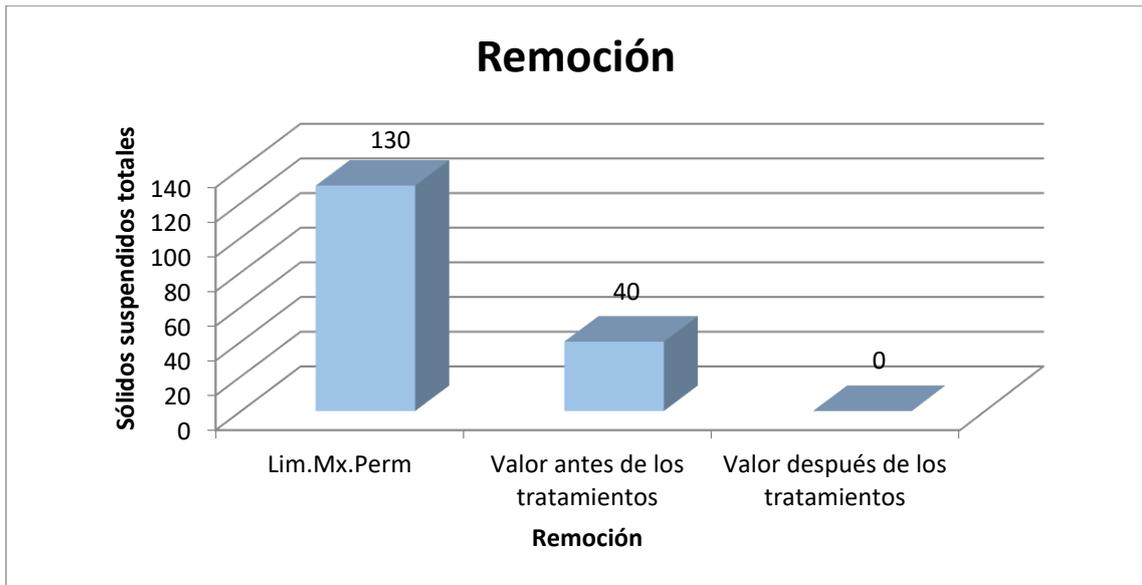
El cromo total pasó después del tratamiento a tener un valor de 9,77 mg/L.

**Sólidos suspendidos totales**

**Tabla 54-3:** Remoción sólidos suspendidos totales efluente de curtido

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	40	0	100

**Realizado por:** Daquilema L., 2019  
**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 10-3:** Sólidos suspendidos totales  
 Realizado por: Daquilema L., 2019

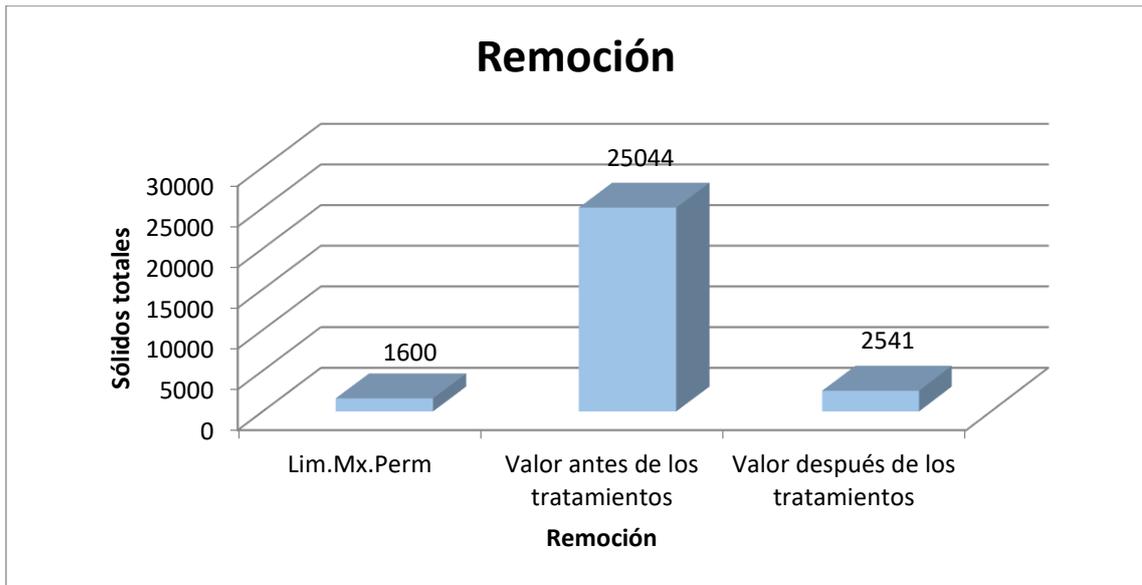
La reducción de este contaminante fue de 40 mg/L a 0 mg/L.

### Sólidos totales

**Tabla 55-3:** Remoción sólidos totales efluente de curtido

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Sólidos Totales	mg/L	1600	25044	2541	89,85

Realizado por: Daquilema L., 2019  
 Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 11-3:** Sólidos totales  
 Realizado por: Daquilema L., 2019

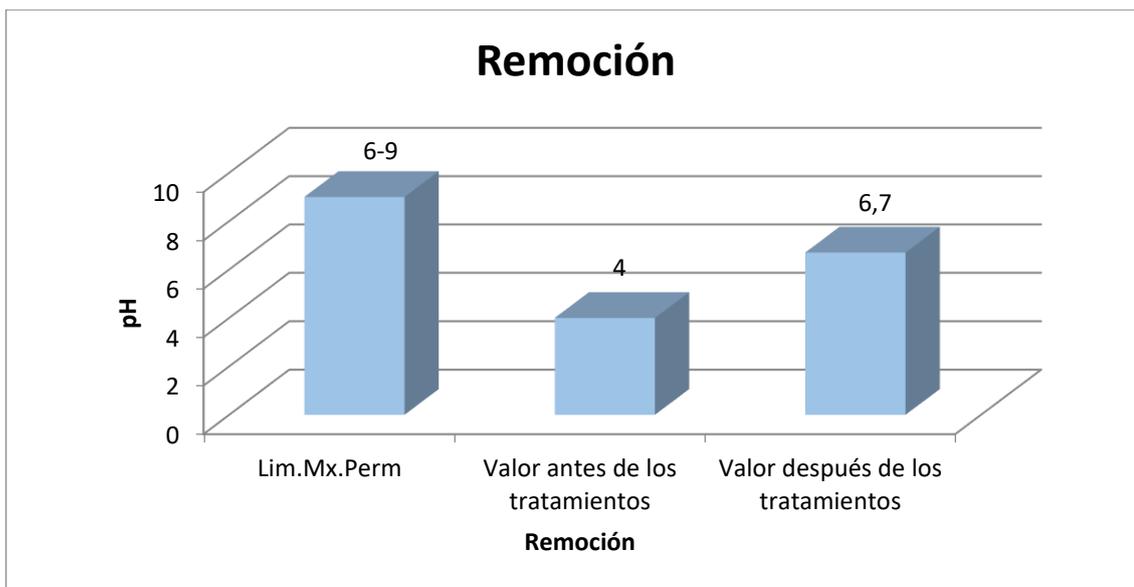
Los sólidos totales se redujeron de 25044 a 25441 mg/L.

### pH

**Tabla 56-3:** pH efluente de curtido

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Potencial de hidrógeno	-	6-9	4	6,7	No hay remoción

Realizado por: Daquilema L., 2019  
 Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 12-3: pH**  
 Realizado por: Daquilema L., 2019

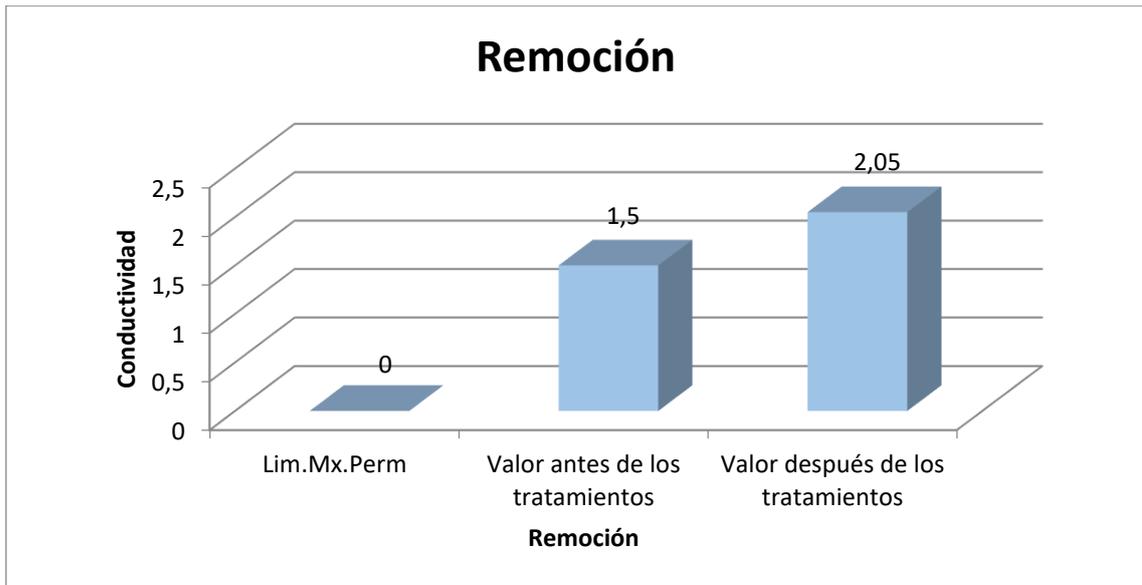
No existe reducción del pH en este efluente pero si se logró cumplir con el límite dado por la norma.

### Conductividad

**Tabla 57-3: Conductividad efluente de curtido**

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Conductividad	ms/cm	-----	1,50	2,05	No hay remoción

Realizado por: Daquilema L., 2019  
 Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 13-3:** Conductividad  
Realizado por: Daquilema L., 2019

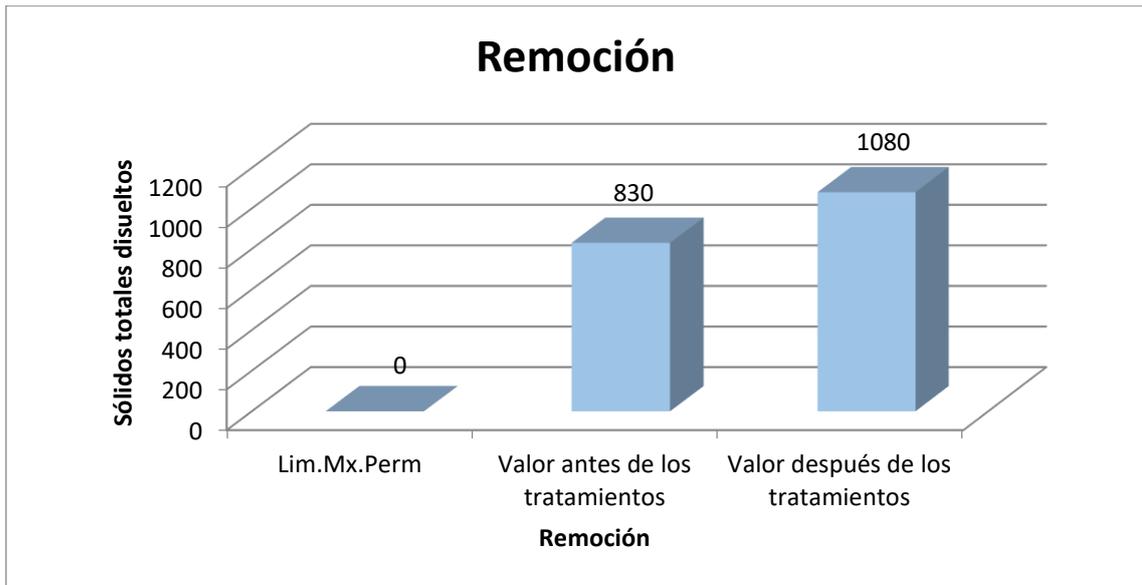
No hay una disminución de la conductividad

### Sólidos totales disueltos

**Tabla 58-3:** Sólidos totales disueltos efluente de curtido

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Sólidos totales disueltos	mg/L	-----	830	1080	No hay remoción

Realizado por: Daquilema L., 2019  
Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 14-3:** Sólidos totales disueltos  
 Realizado por: Daquilema L., 2019

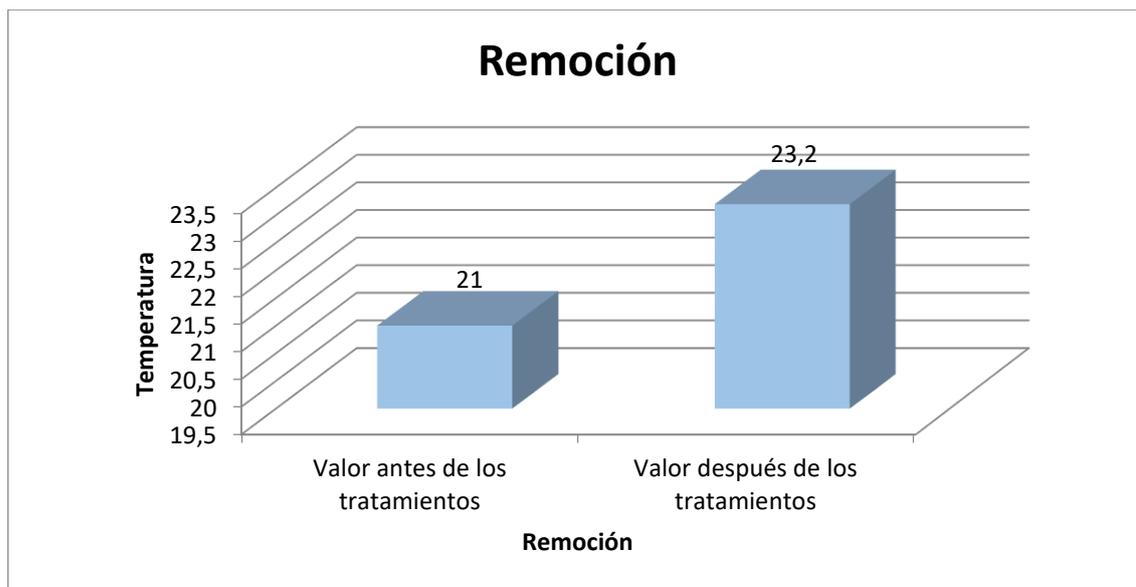
No hay remoción de sólidos disueltos.

### Temperatura

**Tabla 59-3:** Temperatura disueltos efluente de curtido

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Temperatura	°C	Condición natural ± 3 °C	21	23,2	No hay reducción

Realizado por: Daquilema L., 2019  
 Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 15-3:** Temperatura  
Realizado por: Daquilema L., 2019

Hubo un aumento de la temperatura.

### Caracterización post-tratamientos efluente de pelambre

#### Caracterización efluente de pelambre tratado con coagulante-floculante

A continuación se muestra la reducción de los parámetros contaminantes una vez aplicado el tratamiento de coagulación-floculación.

**Tabla 60-3:** Parámetros del efluente de pelambre una vez aplicado los tratamientos de coagulación-floculación

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Valor antes del tratamiento	Valor después del tratamiento
Conductividad	mS/cm	-----	5,09	0,63
Turbiedad	NTU	-----	5200	1700
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	6300	2800
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	19900	3800
Potencial de Hidrógeno	-	6-9	12,39	6,92
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	130	52	0
Sólidos Totales	mg/L	1600	29680	4592
Sólidos totales disueltos	mg/L	-----	1880	330
Sulfuros	mg/L	0,5	832	160
Temperatura	°C	Condición natural ± 3 °C	21	23

Realizado por: Daquilema L., 2019  
Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22

En el agua residual del proceso de pelambre los parámetros de DBO, DQO, sólidos totales y sulfuros se mantenían fuera de norma por lo que se optó para este efluente también llevarlos a un tratamiento por filtración.

### **Caracterización del efluente pelambre después del proceso de aireación y filtración**

Una vez que los efluentes fueron tratados por coagulación-floculación y al observar que ciertos parámetros seguían incumpliendo la norma se procedió a llevar las aguas a un proceso de filtrado, en el caso del efluente de pelambre se lo llevo a aireación dicho proceso nos permitirá reducir la carga contaminante generada por los sulfuros, posterior a esto el efluente fue llevado a filtración.

**Tabla 61-3:** Parámetros del efluente de pelambre una vez aplicado aireación y filtrado

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Valor antes del tratamiento	Valor después del tratamiento
Conductividad	mS/cm	-----	0,63	0,54
Turbiedad	NTU	-----	1700	520
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	2800	391
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	3800	1430
Potencial de Hidrógeno	-	6-9	6,92	6,71
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	0	0
Sólidos Totales	mg/L	1600	4592	2680
Sólidos totales disueltos	mg/L	-----	330	118
Sulfuros	mg/L	0,5	160	38,4
Temperatura	°C	Condición natural $\pm$ 3 °C	23	21

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22

## Resultados de caracterización final efluente de pelambre tratado

**Tabla 62-3: Parámetros del efluente de pelambre post-tratamientos**

Parámetros	Unidad	Límite máximo permisible	Valor después del tratamiento	Cumplimiento de la norma
Conductividad	mS/cm	-----	0,54	-----
Turbiedad	NTU	-----	520	-----
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	391	No cumple
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	1430	No cumple
Potencial de Hidrógeno	-	6-9	6,71	Si cumple
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	0	Si cumple
Sólidos Totales	mg/L	1600	2680	No cumple
Sólidos totales disueltos	mg/L	-----	118	-----
Sulfuros	mg/L	0,5	38,4	No cumple
Temperatura	°C	Condición natural $\pm 3$ °C	21	Si cumple

Realizado por: Daquilema L., 2019

Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22

## Porcentajes de remoción

**Tabla 63-3: Porcentaje de remoción de contaminantes del efluente de pelambre**

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Turbiedad	mg/L	----	5200	520	90
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	6300	391	93,79
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	19900	1430	92,81
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	52	0	100

Sólidos Totales	mg/L	1600	29680	2680	90,97
Sulfuros	mg/L	0,5	832	38,4	95,38
pH	-	6-9	12,39	6,7	45,92
Conductividad	mS/cm	-----	5,09	0,54	89,39
Sólidos totales disueltos	mg/L	-----	1880	118	93,72
Temperatura	°C	Condición natural $\pm$ 3 °C	21	21	No hay reducción

**Realizado por:** Daquilema L., 2019  
**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22

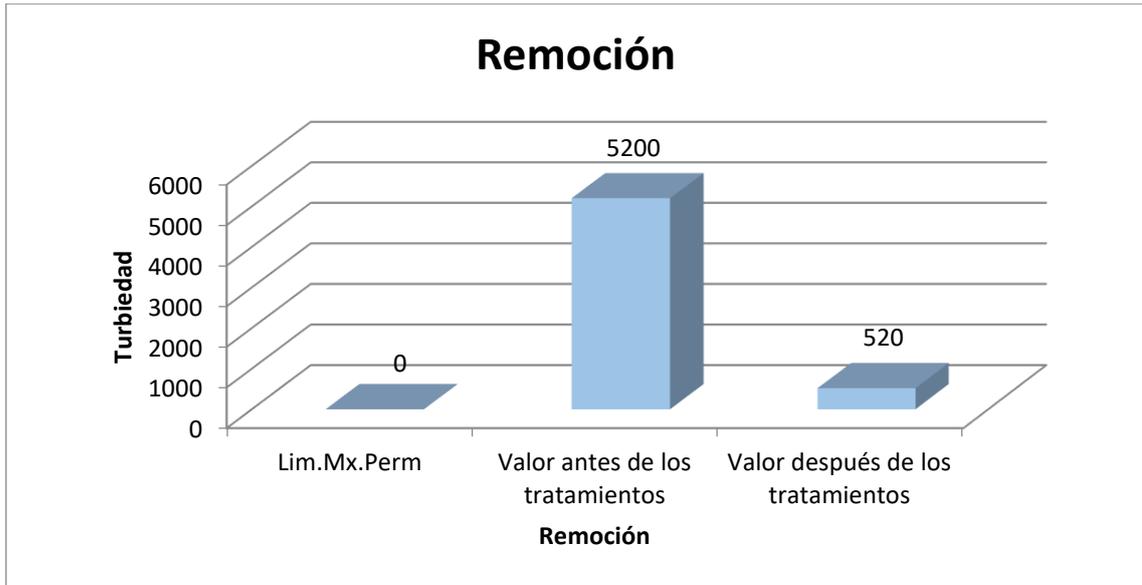
Se presentan gráficos demostrativos del proceso de remoción de los contaminantes del efluente del proceso de pelambre.

## Turbiedad

**Tabla 64-3:** Remoción turbiedad efluente de pelambre

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Turbiedad	NTU	-----	5200	520	90

**Realizado por:** Daquilema L., 2019  
**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 16-3:** Remoción de turbiedad

Realizado por: Daquilema L., 2019

La turbiedad en el efluente del pelambre disminuyo de 5200 NTU a 520 NTU.

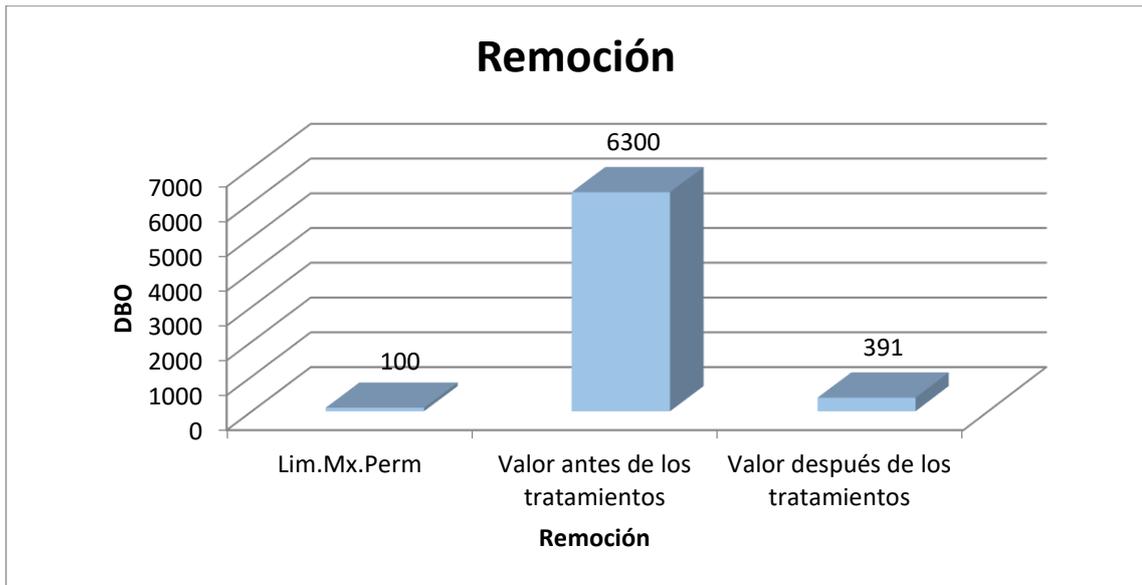
## DBO

**Tabla 65-3:** Remoción DBO efluente de pelambre

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	100	6300	391	93,79

Realizado por: Daquilema L., 2019

Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 17-3:** Remoción DBO  
**Realizado por:** Daquilema L., 2019

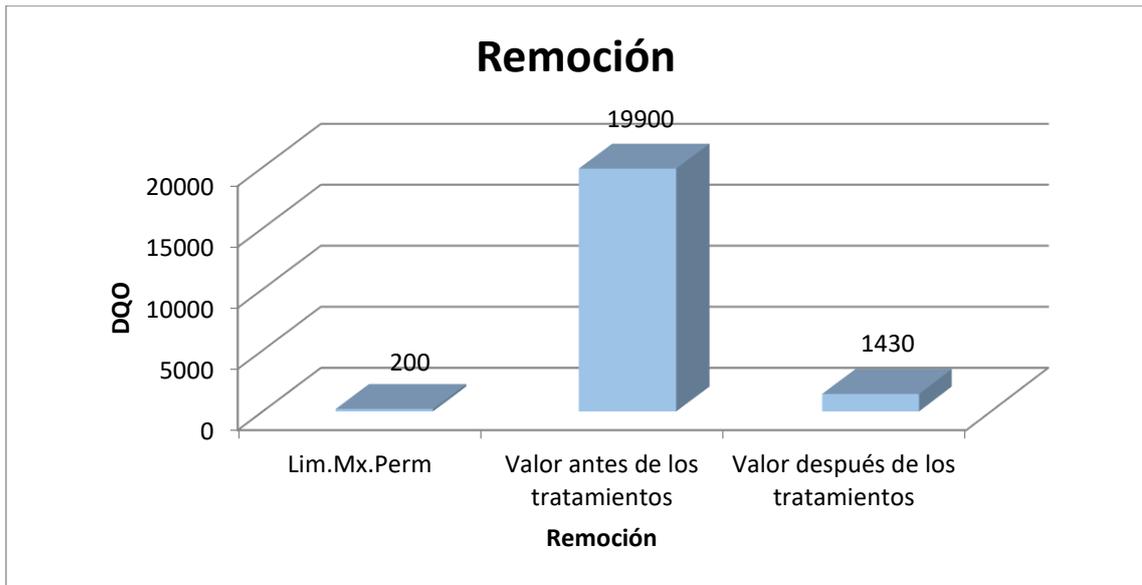
La reducción del DBO en el efluente de pelambre nos dio un valor final de 391 mg/L.

## DQO

**Tabla 66-3:** Remoción DQO efluente de pelambre

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200	19900	1430	92,81

**Realizado por:** Daquilema L., 2019  
**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 18-3:** Remoción DQO

Realizado por: Daquilema L., 2019

Se puede observar en la gráfica que se logró remover el DQO de un valor de 19900 mg/L a un valor de 1430 mg/L.

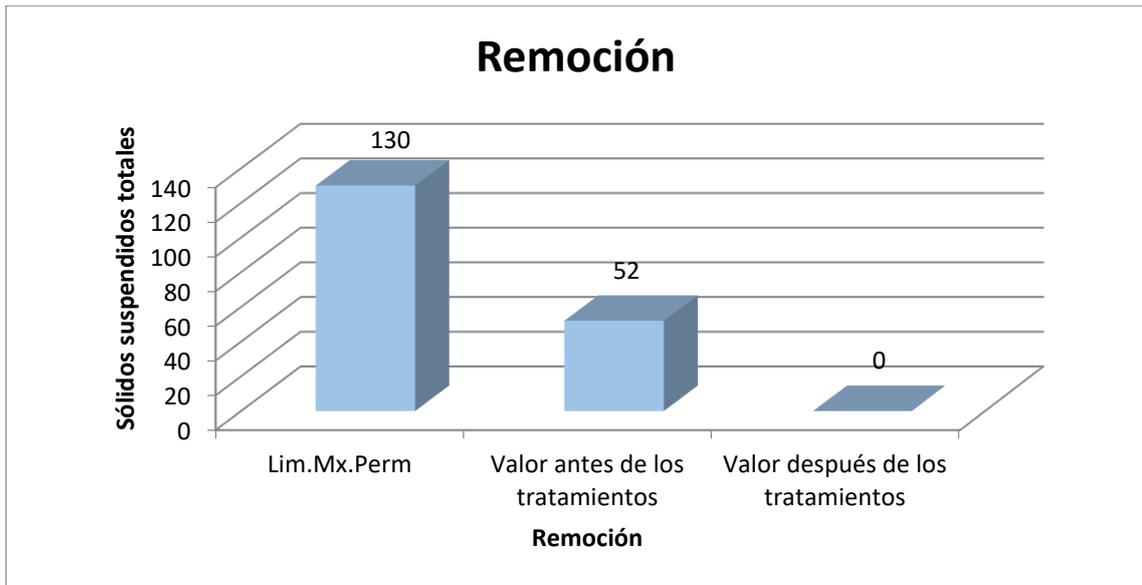
### Sólidos suspendidos totales

**Tabla 67-3:** Remoción sólidos suspendidos totales efluente de pelambre

	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	130	52	0	100

Realizado por: Daquilema L., 2019

Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 19-3:** Remoción de sólidos suspendidos totales  
 Realizado por: Daquilema L., 2019

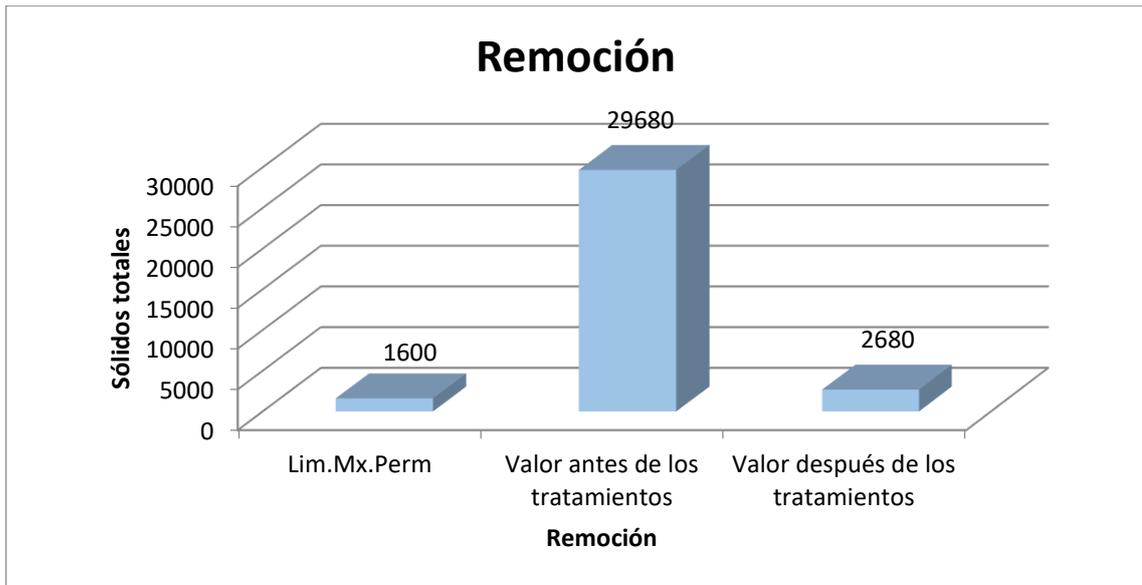
Se logró luego de los tratamientos la reducción de los sólidos totales suspendidos a un valor de 0 mg/L.

### Sólidos totales

**Tabla 68-3:** Remoción sólidos totales efluente de pelambre

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Sólidos Totales	mg/L	1600	29680	2680	90,97

Realizado por: Daquilema L., 2019  
 Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 20-3:** Remoción de sólidos totales  
 Realizado por: Daquilema L., 2019

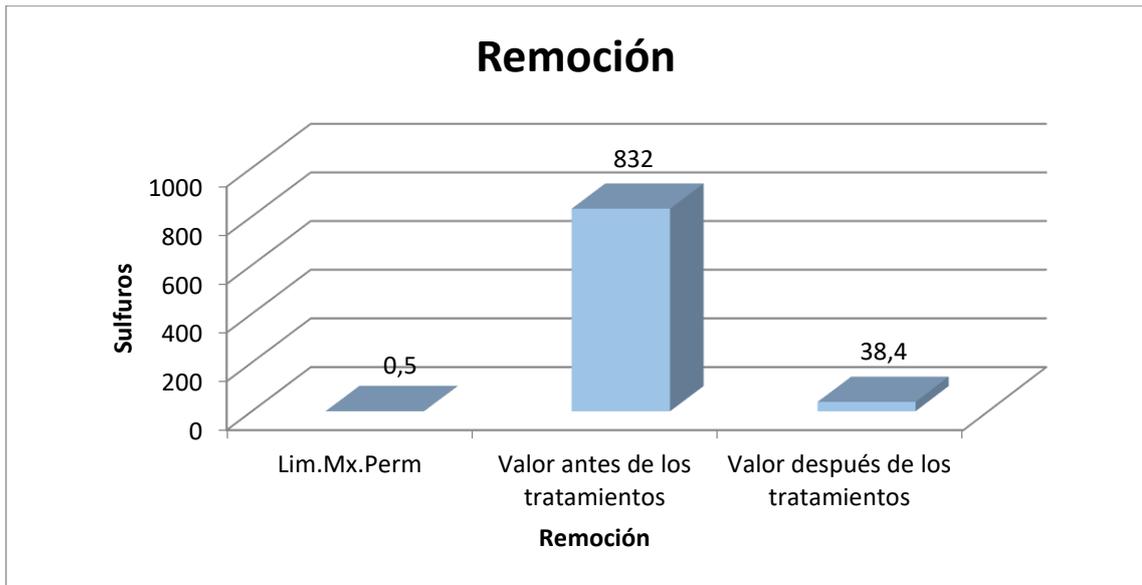
El valor de los sólidos totales se redujo de 2960 a 2680 mg/L.

### Sulfuros

**Tabla 69-3:** Remoción sulfuros efluente de pelambre

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Sulfuros	mg/L	0,5	832	38,4	95,38

Realizado por: Daquilema L., 2019  
 Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 21-3:** Remoción de sulfuros  
**Realizado por:** Daquilema L., 2019

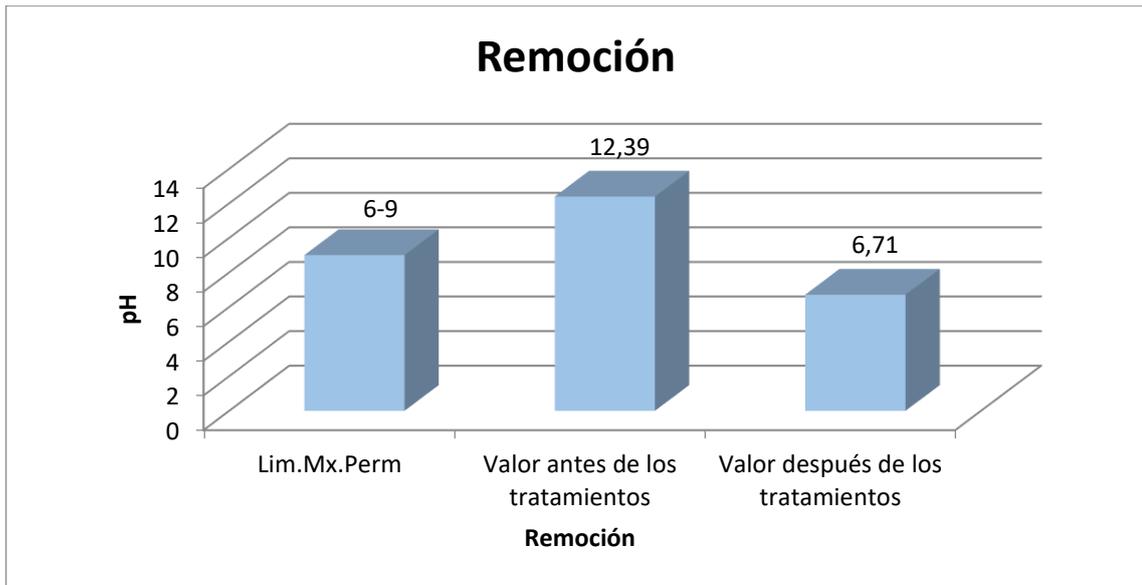
Los sulfuros después del tratamiento químico, aeración y tratamiento físico se redujeron a 38,4 mg/L.

## pH

**Tabla 70-3:** pH efluente de pelambre

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Potencial de hidrógeno	-	6-9	12,39	6,71	45,92

**Realizado por:** Daquilema L., 2019  
**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 22-3:** Remoción de sulfuros  
**Realizado por:** Daquilema L., 2019

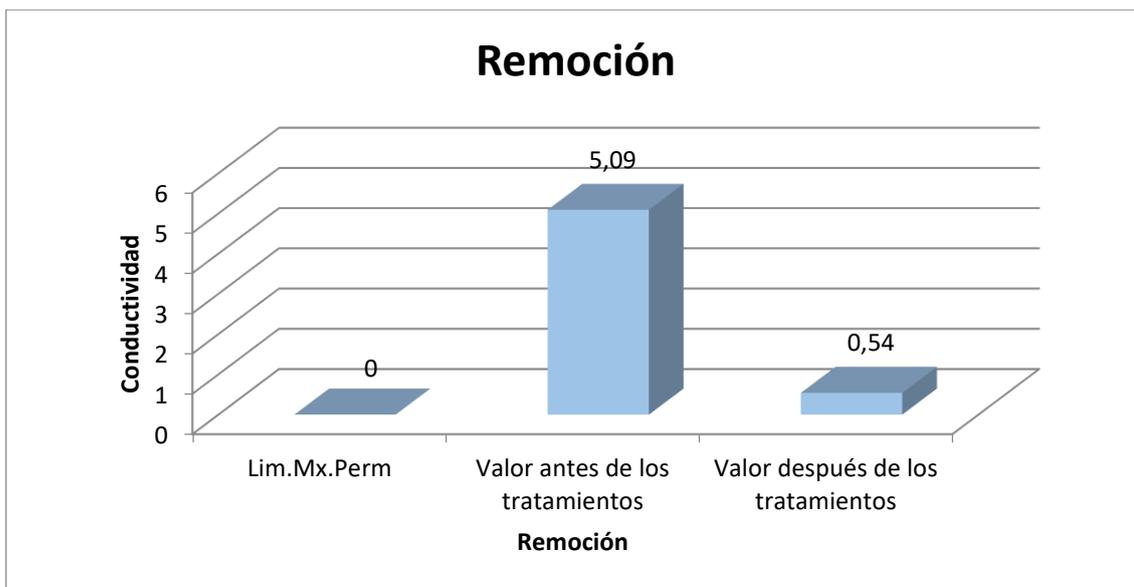
Se logra llevar al pH a un valor de 6,71.

### Conductividad

**Tabla 71-3:** conductividad efluente de pelambre

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Conductividad	ms/cm	-----	5,09	0,54	89,39

**Realizado por:** Daquilema L., 2019  
**Fuente:** Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 23-3:** Remoción de conductividad

Realizado por: Daquilema L., 2019

Disminución de la conductividad de 5,09 ms/cm a 0,54 ms/cm.

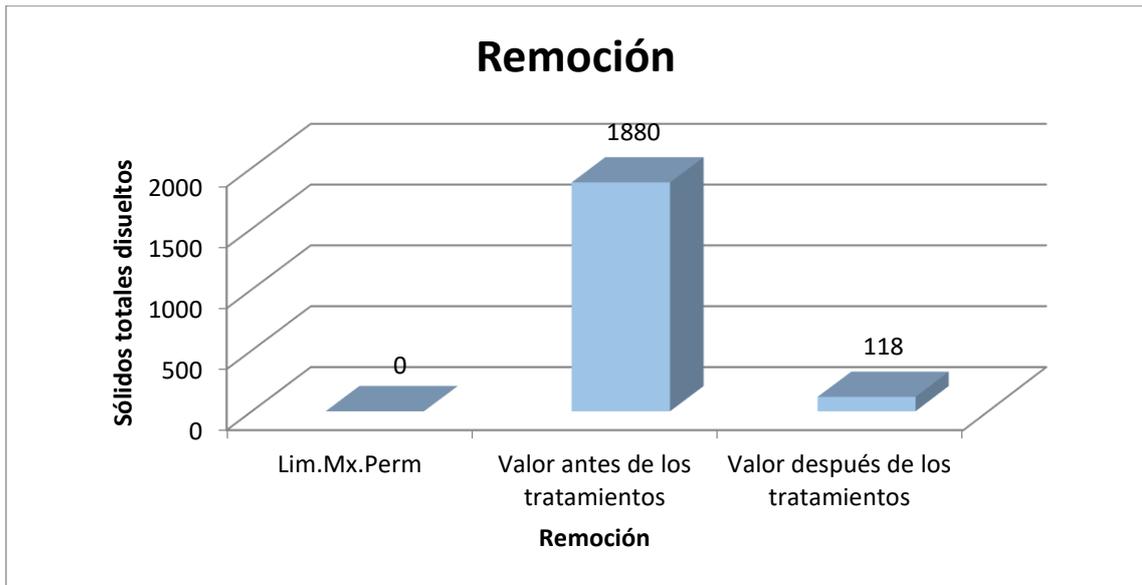
### Sólidos totales disueltos

**Tabla 72-3:** Sólidos totales disueltos efluente de pelambre

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	-----	1880	118	93,72

Realizado por: Daquilema L., 2019

Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 24-3:** Remoción de sólidos totales disueltos  
 Realizado por: Daquilema L., 2019

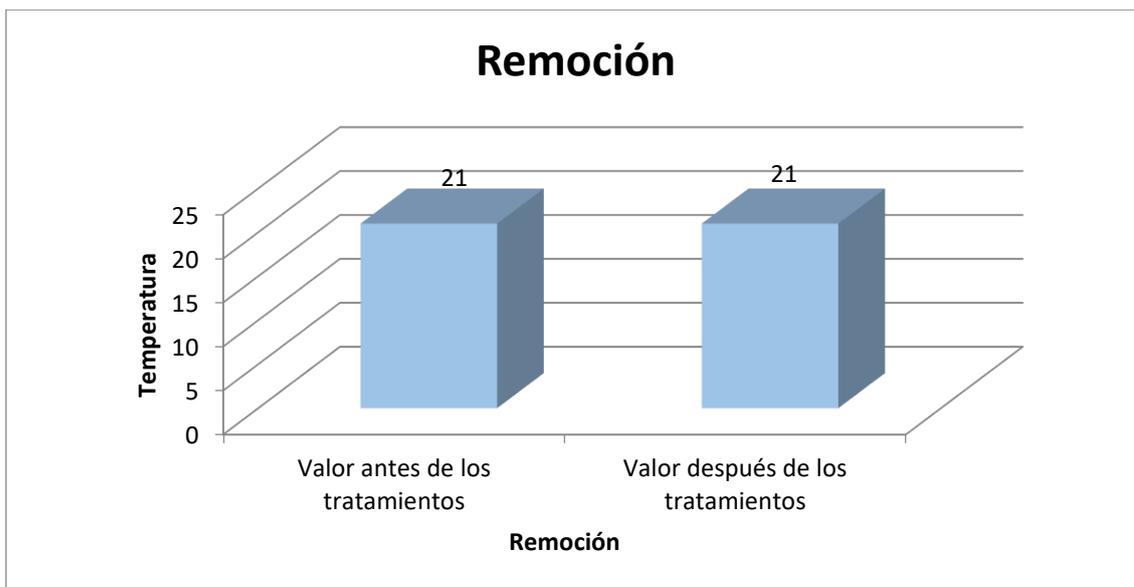
Se removió los sólidos disueltos de 1880 mg/L a 118 mg/L.

### Temperatura

**Tabla 73-3:** Temperatura disueltos efluente de pelambre

Parámetro	Unidad	Norma Tulsma			
		Lim.Mx.Perm.	Valor Antes de los tratamientos	Después de los tratamientos	%Remoción
Temperatura	°C	Condición natural ± 3 °C	21	21	No hay reducción

Realizado por: Daquilema L., 2019  
 Fuente: Libro VI ANEXO I, 2015, p.22



**Gráfico 25-3:** Remoción de temperatura

Realizado por: Daquilema L., 2019

La temperatura se mantuvo.

*Calculo de la eficiencia del tratamiento del rediseño*

**Tabla 74-3:** Calculo de eficiencia del agua de curtido

Parámetros	Unidad	Valor de agua antes del tratamiento	Valor del rediseño propuesto	% de Eficiencia
Cromo hexavalente	mg/L	0,16	0,043	73,12%
Cromo total	mg/L	587,38	9,77	98,34%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	1700	280	83,53%
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	10900	410	96,24%

Realizado por: Daquilema L., 2019

**Tabla 75-3:** Calculo de eficiencia del agua de pelambre

Parámetros	Unidad	Valor antes del tratamiento	Valor del rediseño propuesto	% de Eficiencia
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	mg/L	6300	391	93,79%
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	19900	1430	92,81%
Sulfuros	mg/L	832	38,4	95%

Realizado por: Daquilema L., 2019

### 3.2.5. Cálculos de ingeniería

#### 3.2.5.1. Tanques de almacenamiento agua residual

Para diseñar tanques de almacenamiento de agua residual se opta por seleccionar un diseño basado en tanques enterrados de forma cubica. Para ello usaremos las siguientes expresiones:

$$L = \sqrt{\frac{kV_T}{H}} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$w = \frac{L}{k} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$V_r = HLw \quad \text{Ecuación 3}$$

$$H_T = H \left( 1 + \frac{f_h}{100} \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$V_T = H_T L w \quad \text{Ecuación 5}$$

Dónde:

$L$ : Longitud de tanque [m]

$w$ : Ancho de tanque [m]

$H$ : Altura de tanque [m]

$k$ : Constante de diseño  $\left( \frac{L}{w} \right)$  [adm]

$f_h$ : Factor de seguridad para altura [%]

$V_r$ : Volumen nominal de tanque [m<sup>3</sup>]

$V_T$ : Volumen de diseño de tanque (con factor de seguridad) [m<sup>3</sup>]

La Ecuación 1 permite calcular la longitud del tanque usando el volumen nominal del tanque ( $V_T$ ), la profundidad del tanque ( $H$ ) y la constante de diseño ( $k$ ). Luego se calcula el ancho ( $w$ ) y se comprueba el volumen nominal con la ecuación 3. Se calcula la altura del tanque con factor de seguridad ( $H_T$ ), luego se recalcula el volumen de diseño del tanque. Para mostrar cómo se obtiene los resultados mostrados en la tabla 65-3. Primero usando el caudal de diseño definido para las aguas de cromo ( $q_i=20$  m<sup>3</sup>/día) y el tiempo de retención que debe tener el tanque ( $t_r=2$  día), obteniendo un volumen nominal ( $V_T=40$  m<sup>3</sup>). A este volumen hay que agregarle el factor de seguridad que se aplica a la altura del tanque (Ecuación 4). Primero se calcula el ancho y la longitud:

$$L = \sqrt{\frac{(1.5)(40)}{3}} = 4,472m$$

$$w = \frac{4,472}{1,5} = 2,981m$$

$$H_T = 3 \left( 1 + \frac{15}{100} \right) = 3,45m$$

$$V_r = (3,45)(4,472)(2,981) \approx 46,00m^3$$

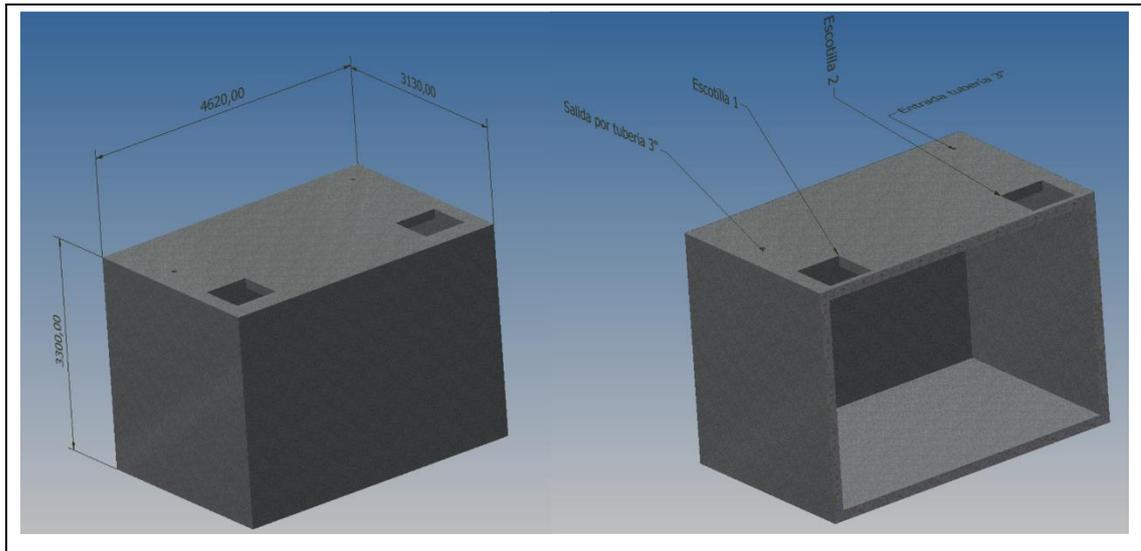
Las dimensiones calculadas son internas y básicas para el diseño de un tanque. Se requiere análisis de cargas para un mejor diseño, análisis que no se realizara en este diseño preliminar. También se evalúa el flujo de descarga del tanque estimando el tiempo de descarga en un día el caudal de salida es de 0,463 l/s. Este procedimiento es similar para los otros tanques (TQ-002 y TQ-003)

**Tabla 76-3:** Diseño de tanque de almacenamiento (TQ-001)

<i>Tanque de almacenamiento de agua con cromo(TQ-001)</i>								
Criterios de diseño			Dimensiones estructurales			Flujo de salida		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
q <sub>i</sub>	20	[m <sup>3</sup> /día]	f <sub>h</sub>	15	[%]	q <sub>f</sub>	40	[m <sup>3</sup> /día]
t <sub>r</sub>	2	[día]	L	4,472	[m]	q <sub>f</sub>	0,463	[L/s]
V <sub>T</sub>	40	[m <sup>3</sup> ]	W	2,981	[m]	t <sub>ft</sub>	1	[día]
k (L/W)	1,5	[adm]	H <sub>f</sub>	0,45	[m]	t <sub>fr</sub>	1,15	[día]
H	3	[m]	H <sub>T</sub>	3,45	[m]	V <sub>r</sub>	<b>46,00</b>	<b>[m<sup>3</sup>]</b>

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

Para el caso del tanque de almacenamiento TQ-002 destinado almacenar aguas producto del proceso de pelambre se procede de la misma manera, que el procedimiento descrito anteriormente.

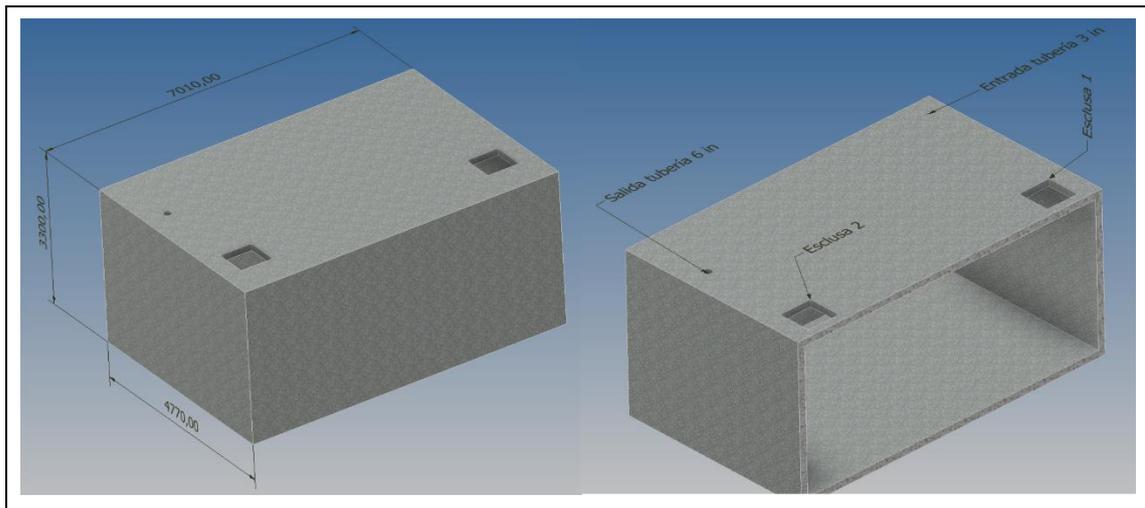


**Figura 3- 3:** Tanque de almacenamiento de agua con cromo (TQ-001), dimensiones en mm.  
Realizado por: Daquilema L., 2019

**Tabla 77-3:** Diseño de tanque de almacenamiento (TQ-002)

Tanque de almacenamiento de agua con sulfuro (TQ-002)								
Criterios de diseño			Dimensiones estructurales			Flujo de salida		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
$q_i$	90	[m <sup>3</sup> /día]	$f_h$	15	[%]	$q_r$	90	[m <sup>3</sup> /día]
$t_r$	1	[día]	L	6,708	[m]	$q_r$	1,041	[L/s]
$V_T$	90	[m <sup>3</sup> ]	W	4,472	[m]	$t_a$	1	[día]
k (L/W)	1,5	[adm]	$H_r$	0,45	[m]	$t_r$	1,15	[día]
H	3	[m]	$H_T$	3,45	[m]	<b><math>V_r</math></b>	<b>103,5</b>	<b>[m<sup>3</sup>]</b>

Realizado por: Daquilema L., 2019



**Figura 4- 3:** Tanque de almacenamiento de agua con sulfuro (TQ-002), dimensiones en mm.  
Realizado por: Daquilema L., 2019

En el caso del tanque TQ-003, se realizarán los mismos cálculos. Este tanque está destinado a almacenar agua del sistema de agua potable para la preparación de las soluciones químicas a

inyectarse en el caudal de proceso. Por eso es necesario determinar el requerimiento de agua de esta operación para los tres reactivos.

### 3.2.5.2. Alimentadores de soluciones químicas y sólidos

En esta parte se dimensiona los alimentadores solo las cantidades a dosificar, debido a que diseñar un sistema completo de inyección requiere un estudio más avanzado que el que se realizara en este trabajo.

### 3.2.5.3. Dosificador ácido sulfúrico (I-001)

El primer alimentador de soluciones debe inyectar una solución de ácido sulfúrico al flujo de agua con sulfuro. El caudal de este flujo es de 1,042 L/s (flujo de salida del tanque TQ-002). Con la dosis de químico de 1mL/L de agua, se determina el caudal de solución ácido 2N (1M) que se necesita.

$$1,042 \frac{L}{s} 1 \frac{mL}{L} = 1,042 \frac{mL H_2SO_4 (2N)}{La.sulfuro}$$

Para calcular el consumo de ácido sulfúrico al 37% (ácido industrial), usamos su concentración molar que es de 17,82 M, y el volumen de ácido requerido para un día, valor de volumen final ( $V_f$ ) del tanque mezclador TK-001.

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

Ecuación 6

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1} = \frac{(1M)(100L/día)}{(17,82M)} = 5,8 \frac{L H_2SO_4 (37\%)}{día}$$

**Tabla 78-3:** Diseño de alimentador químico (I-001)

<i>Alimentador químico (I-001) Dosificación ácido sulfúrico</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
$d_c$	1	[mL/L]
$q_c$	1,042	[mL/s]
$C_c$	1	[mol/L]
$p_{\text{assay}}$	95	[%]
$d_{\text{ac}}$	1,84	[g/mL]
$p_{\text{mac}}$	98,08	[g/mol]
$M_{\text{ac}}$	17,82	[mol/L]
$v_{\text{acc}}$	5,8	[L/día]
$v_{\text{cs}}$	0,09	[m <sup>3</sup> /día]
$q_{\text{ci}}$	0,0463	[mL/s]

Realizado por: Daquilema L., 2019

El volumen necesario de solución de ácido sulfúrico (2N) requerido para un día de tratamiento es de 0,09 m<sup>3</sup>/día (90L/día), este es el volumen preliminar de diseño del tanque mezclador TQ-001.

#### 3.2.5.4. Dosificadores de sulfato de aluminio solución "SUAL" (I-002 y I-004)

Para el caso del dosificador de sulfato de aluminio hay que tomar en cuenta que el reactivo es sólido en origen. Por tanto, hay que estimar cuanto sulfato de aluminio solido es necesario para preparar una solución a los 5% en peso, para el volumen requerido con la dosis establecida para ambas corrientes (cromo y sulfuro). Lo primero es calcular que cantidad en volumen se necesita para ambas corrientes de solución de sulfato de aluminio. Para ello calculamos para cada caso que cantidad se requiere en mg/s de sulfato de aluminio para cada corriente.

Para el flujo de agua cargada con cromo y la dosis de 100 ppm, la cantidad de sulfato a dosificar es:

$$100 \frac{\text{mg SUAL}}{\text{L Agua cromo}} 0,4630 \frac{\text{L Agua cromo}}{\text{s}} = 46,30 \frac{\text{mg SUAL}}{\text{s}}$$

Con esta cantidad podemos calcular, cuánto volumen de una solución al 5% peso-volumen requerimos en un día de operación.

$$46,30 \frac{\text{mg SUAL } 100\text{mL sol. } 3600\text{s } 24\text{h}}{\text{s}} \frac{1\text{m}^3 \text{ sol.}}{10^6 \text{mL sol.}} = 0,08 \frac{\text{m}^3 \text{ sol.}}{\text{día}}$$

Dado que la solución es al 5%, el caudal de dosificación es 0,93 mL sol. Por segundo.

**Tabla 79-3:** Diseño de alimentador químico (I-002)

<i>Alimentador químico (I-002) Dosificación sulfato de aluminio - agua con cromo</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
d <sub>c</sub>	100	[mg/L]
q <sub>c</sub>	46,30	[mg/s]
C <sub>c</sub>	5	[g/100mL]
m <sub>c</sub>	4	[kg/día]
V <sub>cs</sub>	0,080	[m <sup>3</sup> /día]
q <sub>ci</sub>	0,93	[mL/s]

Realizado por: Daquilema L., 2019

Se repite el mismo procedimiento para el alimentado I-004, el volumen que se obtiene como requerimiento para un día de operación es de 4,5 metros cúbicos. Como la dosis es menor (50 ppm) el caudal de dosificación es de 0,93 mL sol. SUAL (5%) por segundo.

**Tabla 80-3:** Diseño de alimentador químico (I-004)

<i>Alimentador químico (I-004) Dosificación sulfato de aluminio - agua con sulfuro</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
d <sub>c</sub>	50	[mg/L]
q <sub>c</sub>	52,08	[mg/s]
C <sub>c</sub>	5	[g/100mL]
m <sub>c</sub>	4,50	[kg/día]
V <sub>cs</sub>	0,090	[m <sup>3</sup> ]
q <sub>ci</sub>	0,460	[mL/s]

Realizado por: Daquilema L., 2019

El volumen total de solución SUAL (5%) requerido para tratar las corrientes por día es de 0,170 metros cúbicos. Este volumen se convierte en el volumen preliminar para el diseño del tanque mezclador para SUAL. La cantidad diaria de sulfato de aluminio requerida es de 8,5 kg.

### 3.2.5.5. Dosificadores de floculantes aniónicos "FANION" (I-003 y I-005)

Para ambos alimentadores de floculante aniónico se requiere una concentración de 1ppm, a partir de una solución 0,1% peso-volumen. Aplicando el mismo procedimiento para los anteriores alimentadores los resultados se muestran en la tabla 75-3.

**Tabla 81-3:** Diseño de alimentador químico (I-003)

<i>Alimentador químico (I-003) Dosificación floculante aniónico - agua con cromo</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
$d_c$	1	[mg/L]
$q_c$	0,463	[mg/s]
$C_c$	0,1	[g/100mL]
$m_c$	0,04	[kg/día]
$v_{cs}$	0,04	[m <sup>3</sup> /día]
$q_{ci}$	0,463	[mL/s]

Realizado por: Daquilema L., 2019

La cantidad de floculante aniónico al día es de 0,04 kg (40 g). La dosis que el alimentador debe ingresar al flujo de agua con cromo es de 0,463 mL por segundo.

**Tabla 82-3:** Diseño de alimentador químico (I-005)

<i>Alimentador químico (I-005) Dosificación floculante aniónico - agua con sulfuro</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
$d_c$	1	[mg/L]
$q_e$	1,042	[mg/s]
$C_c$	0,1	[g/100mL]
$m_c$	0,09	[kg/día]
$v_{cs}$	0,09	[m <sup>3</sup> /día]
$q_{ci}$	1,042	[mL/s]

Realizado por: Daquilema L., 2019

La cantidad de floculante aniónico al día es de 0,09 kg (90 g). La dosis que el alimentador debe ingresar al flujo de agua con cromo es de 1,042 mL por segundo. El caudal total de dosificación desde el tanque de almacenamiento es de 1,505 mL/s, con un consumo de 130 g/día de floculante aniónico.

### 3.2.5.6. Dosificadores de sulfato de manganeso "SUMn" (I-006)

Previo a la dosificación de Ácido sulfúrico, se necesita agregar alícuotas de una solución de Sulfato de manganeso al 5%. El resultado del dimensionamiento se presenta en la siguiente tabla.

**Tabla 83-3:** Diseño de alimentador químico (I-006)

<i>Alimentador químico (I-005) Dosificación de solución de Sulfato de manganeso- agua con sulfuro</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
$d_c$	75	[mg/L]
$q_e$	78,13	[mg/s]
$C_c$	5	[g/100mL]
$m_c$	6,75	[kg/día]
$V_{cs}$	0,135	[m <sup>3</sup> /día]
$q_{ci}$	1,56	[mL/s]

Realizado por: Daquilema L., 2019

El caudal de inyección de químicos es de 1,56 mL/s, con un consumo de 6,75 kg/día de Sulfato de manganeso sólido.

### 3.2.5.7. Dosificador de sólidos para cal (MX-001)

Para el caso del dosificador de cal se usa la dosis de 2,6 gr por litro de agua de cromo. El requerimiento de cal al día es de 104 kg. Al año se requeriría 37,96 Ton.

**Tabla 84-3:** Diseño de dosificador de solidos (MX-001)

<i>Alimentador de solido (MX-001) Dosificación de cal solida –agua de cromo.</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
$d_c$	2600	[mg/L]
$q_c$	1203,70	[mg/s]
$m_c$	104,00	[kg/day]

Realizado por: Daquilema L., 2019

### 3.2.5.8. Mezcladores de reactivos químicos (TK-001, TK-002, TK-003, TK-004)

Con base en los volúmenes requeridos de químicos obtenidos en el dimensionamiento de los alimentadores químicos, se procede a calcular las dimensiones de los tanques mezcladores de los químicos: ácido sulfúrico, sulfato de aluminio y floculante aniónico. Siguiendo el esquema de diseño mostrado en la figura 5-1, y las siguientes ecuaciones:

$$h_f = \sqrt[3]{\frac{4v_A k^2 \left(1 + \frac{f_v}{100}\right)}{\pi}} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$k = \frac{h_f}{\phi_f}; 0,6 < k < 2 \quad \text{Ecuación 8}$$

Para el tanque TQ-001, se procede de la siguiente manera: primero, partiendo del volumen requerido de ácido sulfúrico requerido para un día de operación (0,09 m<sup>3</sup>). Usando un factor de diseño (k=1,5), y un factor de seguridad volumétrico (f<sub>v</sub>) de 15%. El cálculo se realiza de la siguiente manera:

$$h_f = \sqrt[3]{\frac{4(0,09)(1,5)^2 \left(1 + \frac{15}{100}\right)}{\pi}} = 0,6668 \approx 0,67m$$

$$\phi_f = \frac{0,67}{1,5} = 0,445m$$

$$V_{fr} = \frac{\pi(0,445)^2 (0,67)}{4} = 0,1035m^3$$

Se especifican valores para las constantes mostradas, con estos valores se procede a calcular las dimensiones del agitador y los deflectores. En este caso por ser un tanque de bajo volumen no será necesario aplicar deflectores, pero de igual manera se calcularán sus dimensiones.

$$\phi = k_1 \phi_T = \left(\frac{1}{3}\right)(0,445) = 0,150m \quad \text{Ecuación 9}$$

$$h_i = k_2 \phi = (1,00)(0,150) = 0,150m \quad \text{Ecuación 10}$$

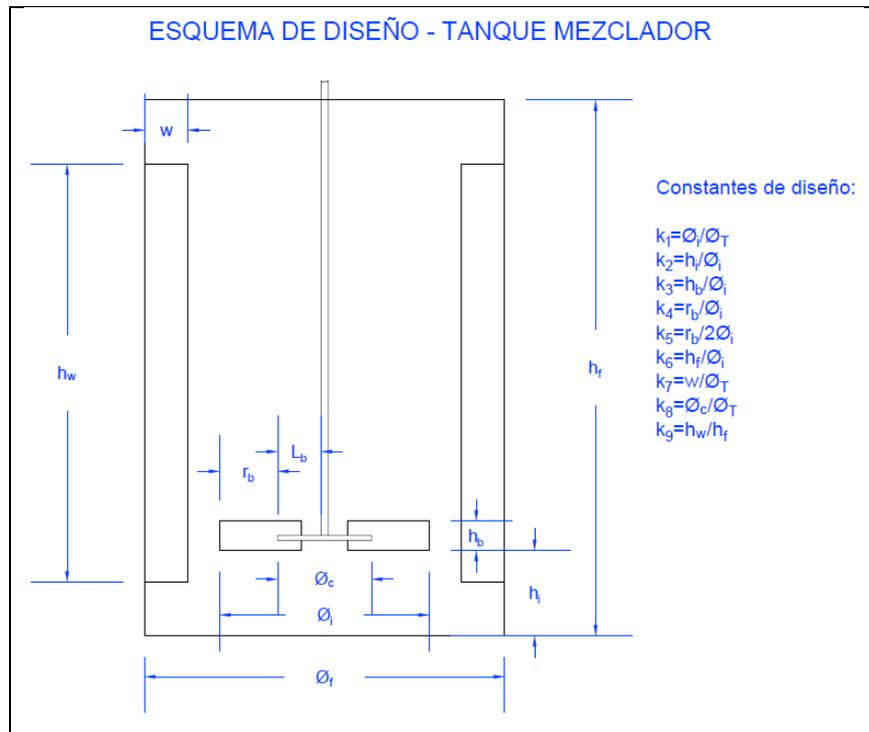
$$h_b = k_3 \phi = (0,20)(0,150) = 0,03m \quad \text{Ecuación 11}$$

$$h_{fs} = k_4 \phi = (1,00)(0,150) = 0,150m \quad \text{Ecuación 12}$$

$$w = k_7 \phi = (0,10)(0,445) = 0,044m \quad \text{Ecuación 13}$$

$$\phi_c = k_8 \phi_T = (0,25)(0,445) = 0,11m \quad \text{Ecuación 14}$$

Se decide no colocarle deflectores por ser un tanque pequeño ( $n_b=0$ ) y solo se colocará una sola hélice de agitación ( $n_i=1$ ). El diseño final se puede observar en la figura 6-1.



**Figura 5- 3:** Esquema de diseño para tanque mezcladores verticales.  
Realizado por: Daquilema L., 2019

**Tabla 85-3:** Diseño de tanque mezclador (TK-001).

<i>Tanque mezclador para ácido sulfúrico (TK-001)</i>								
Dimensiones estructurales			Constantes diseño agitador			Dimensiones agitador		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
$V_f$	0,09	[m <sup>3</sup> /día]	$k_1 (\phi/\phi_f)$	1/3	[adm]	$\phi_i$	0,150	[m]
$f_v$	15	[%]	$k_2 (h_i/\phi_i)$	1,00	[adm]	$h_i$	0,150	[m]
$V_{fi}$	0,1035	[m <sup>3</sup> /día]	$k_3 (h_b/\phi_i)$	0,20	[adm]	$h_b$	0,030	[m]
$k (hf/\phi f)$	1,5	[m/m]	$k_4 (r_b/\phi_i)$	0,25	[adm]	$r_b$	0,030	[m]
$h_f$	0,667	[m]	$k_5 (r_b/2 \phi_i)$	0,13	[adm]	$r_{b/2}$	0,015	[m]
$\phi_f$	0,445	[m]	$k_6 (h_f/\phi_i)$	1,00	[adm]	$h_{fs}$	0,150	[m]
$V_{fr}$	0,1035	[m <sup>3</sup> ]	$k_7 (w/\phi_f)$	0,10	[adm]	$w$	0,044	[m]
			$k_8 (\phi_c/\phi_f)$	0,10	[adm]	$\phi_c$	0,044	[m]
			$n_b$	0	[unidad]	$n_i$	1	[unidad]

Realizado por: Daquilema L., 2019

Ahora es necesario calcular la potencia del motor eléctrico necesario para un determinado número de revoluciones específicas el tipo de hélice a utilizar y las propiedades del líquido a mezclar. Para este ejemplo la densidad y viscosidad utilizadas corresponden al agua a 25°C y 1 atm. Esto debido a que el agua a tratar mantiene sus propiedades cercanas a los valores del agua. El tipo de hélice a utilizar es una hidroálea de tres cuchillas o paletas con inclinación de 60°, a este diseño de agitador le corresponde un número de potencia ( $N_p$ ) de 0,25.

$$P = \rho N^3 N_p D^5$$

$$P = (997) \left( \frac{60}{60} \right)^3 (0,25) (0,150)^5 = 0,01780 \frac{J}{s}$$

$$Re = \frac{\rho N D^2}{\mu}$$

$$Re = \frac{(997) \left( \frac{60}{60} \right) (0,15)^2}{(8,91 \times 10^{-4})} = 24571$$

Dado que el requerimiento de potencia es muy bajo, y teniendo en cuenta que el mecanismo consume energía para mover las partes mecánicas. Se opta por una potencia de 0,25 hp. El mecanismo para ajustar al número de revoluciones requerirá el uso de un mecanismo reductor y un variador de frecuencia.

**Tabla 86-3:** Dimensionamiento de motor para tanque (TK-001).

<i>Requerimiento de potencia para tanque mezclador (TK-001)</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
Tipo de agitador	HF-3SLAVES	
$N_p$	0,25	[adm]
$d_{liq}$	997	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\mu_{liq}$	0,000891	[Pa s]
$s_i$	60	[rpm]
P	0,017809	[J/s]
$P_{mix}$	1/4	[hp]
Re	24571	[adm]
Régimen	TURBULENTO	

Realizado por: Daquilema L., 2019

El material seleccionado es un acero ASTM 304L, una variedad del acero inoxidable de fácil adquisición y usado en la fabricación de equipos industriales con funciones en rangos moderados de temperatura.

Para el tanque TK-002, se usan el mismo procedimiento de diseño. Por tanto, es necesario tomar algunas consideraciones. Como el número de agitadores y deflectores.

**Tabla 87-3:** Diseño de tanque mezclador (TK-002).

<i>Tanque mezclador para Sulfato de aluminio "SUAL" (TK-002)</i>								
Diseño estructural			Constantes diseño agitador			Dimensiones del agitador		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
$V_f$	0,17	[m <sup>3</sup> /día]	$k_1 (\phi_i/\phi_f)$	1/3	[adm]	$\phi_i$	0,18	[m]
$f_v$	15	[%]	$k_2 (h_i/\phi_i)$	1,00	[adm]	$h_i$	0,18	[m]
$V_{fi}$	0,20	[m <sup>3</sup> /día]	$k_3 (h_b/\phi_i)$	0,08	[adm]	$h_b$	0,01	[m]
$k (h_f/\phi_f)$	1,50	[m/m]	$k_4 (r_b/\phi_i)$	0,28	[adm]	$r_b$	0,05	[m]
$h_f$	0,82	[m]	$k_5 (r_b/2 \phi_i)$	0,13	[adm]	$r_{b/2}$	0,02	[m]
$\phi_f$	0,55	[m]	$k_6 (h_f/\phi_i)$	1,00	[adm]	$h_{fs}$	0,18	[m]
$V_{fi}$	0,2	[m <sup>3</sup> ]	$k_7 (w/\phi_i)$	0,10	[adm]	w	0,05	[m]
			$k_8 (\phi_c/\phi_i)$	0,10	[adm]	$\phi_c$	0,060	[m]
			$n_b$	6	[unidad]	$n_i$	3	[unidad]

Realizado por: Daquilema L., 2019

El tanque que almacena el sulfato de aluminio, tendrá una capacidad de 200 litros, siendo similar a los otros tanques. A continuación, calculamos la potencia del motor.

**Tabla 88-3:** Dimensionamiento de motor para tanque (TK-002).

<i>Requerimiento de potencia para tanque mezclador (TK-002)</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
Tipo de agitador	HF-3SLAVES	
Np	0,25	[adm]
d_liq	997,000	[kg/m <sup>3</sup> ]
μ_liq	8,91E-04	[Pa s]
s_i	60	[rpm]
P	0,048881843	[J/s]
P-mix	1/2	[hp]
P-mech	0	[hp]
P-tot	1/4	[hp]
Re	36798	[adm]
Régimen	TURBULENTO	

Realizado por: Daquilema L., 2019

Para el tanque TK-003, por el volumen de 150 litros requeridos las dimensiones son parecidas a las del tanque TK-001. Se usaron otras constantes de diseño para el agitador.

**Tabla 89-3:** Diseño de tanque mezclador (TK-003).

<i>Tanque de dosificación para Floculante aniónico "FANION" (TK-003)</i>								
Diseño estructural			Constantes diseño agitador			Dimensiones del agitador		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
V <sub>f</sub>	0,13	[m <sup>3</sup> /día]	k <sub>1</sub> (φ <sub>i</sub> /φ <sub>f</sub> )	1/3	[adm]	φ <sub>i</sub>	0,170	[m]
f <sub>v</sub>	15	[%]	k <sub>2</sub> (h <sub>i</sub> /φ <sub>i</sub> )	1,00	[adm]	h <sub>i</sub>	0,170	[m]
V <sub>ft</sub>	0,150	[m <sup>3</sup> /día]	k <sub>3</sub> (h <sub>b</sub> /φ <sub>i</sub> )	0,20	[adm]	h <sub>b</sub>	0,033	[m]
k (hf/φf)	1,5	[m/m]	k <sub>4</sub> (r <sub>b</sub> /φ <sub>i</sub> )	0,28	[adm]	r <sub>b</sub>	0,050	[m]
h <sub>f</sub>	0,755	[m]	k <sub>5</sub> (r <sub>b</sub> /2 φ <sub>i</sub> )	0,13	[adm]	r <sub>b</sub> /2	0,025	[m]
φ <sub>f</sub>	0,503	[m]	k <sub>6</sub> (h <sub>f</sub> / φ <sub>i</sub> )	1,00	[adm]	h <sub>fs</sub>	0,170	[m]
V <sub>fr</sub>	0,150	[m <sup>3</sup> ]	k <sub>7</sub> (w/φ <sub>f</sub> )	0,10	[adm]	w	0,050	[m]
			k <sub>8</sub> (φ <sub>c</sub> / φ <sub>f</sub> )	0,10	[adm]	φ <sub>c</sub>	0,050	[m]
			n <sub>b</sub>	0	[unidad]	n <sub>i</sub>	1	[unidad]

Realizado por: Daquilema L., 2019

La potencia requerida es baja también. Por tanto, se debe usar de la misma forma que un motor de 0,25 hp. Con las mismas adecuaciones del tanque TK-001.

**Tabla 90-3:** Dimensionamiento de motor para tanque (TK-003).

<i>Requerimiento de potencia para tanque mezclador (TK-003)</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
Tipo de agitador	HF-3SLAVES	
$N_p$	0,25	[adm]
$d_{liq}$	997	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\mu_{liq}$	0,000891	[Pa s]
$S_i$	60	[rpm]
$P$	0,0328	[J/s]
$P_{mix}$	1/4	[hp]
$Re$	31397	[adm]
Régimen	TURBULENTO	

Realizado por: Daquilema L., 2019

Antes de la dosificación de ácido sulfúrico es necesario agregarle una solución al 5% de sulfato de manganeso, en el proceso de aireación.

**Tabla 91-3:** Diseño de tanque mezclador (TK-004).

<i>Tanque de dosificación para Sulfato de manganeso "SUMn" (TK-004)</i>								
Diseño estructural			Constantes diseño agitador			Dimensiones del agitador		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
$V_f$	0,135	[m <sup>3</sup> /día]	$k_1 (\phi_i/\phi_r)$	1/3	[adm]	$\phi_i$	0,170	[m]
$f_v$	15	[%]	$k_2 (h_i/\phi_i)$	1,00	[adm]	$h_i$	0,170	[m]
$V_{fi}$	0,155	[m <sup>3</sup> /día]	$k_3 (h_b/\phi_i)$	0,20	[adm]	$h_b$	0,033	[m]
$k (h_f/\phi_f)$	1,5	[m/m]	$k_4 (r_b/\phi_i)$	0,28	[adm]	$r_b$	0,050	[m]
$h_f$	0,763	[m]	$k_5 (r_b/2 \phi_i)$	0,13	[adm]	$r_{b/2}$	0,025	[m]
$\phi_r$	0,509	[m]	$k_6 (h_r/\phi_i)$	1,00	[adm]	$h_{fs}$	0,170	[m]
$V_{fr}$	0,155	[m <sup>3</sup> ]	$k_7 (w/\phi_r)$	0,10	[adm]	$w$	0,050	[m]
			$k_8 (\phi_c/\phi_r)$	0,10	[adm]	$\phi_c$	0,050	[m]
			$n_b$	0	[unidad]	$n_i$	1	[unidad]

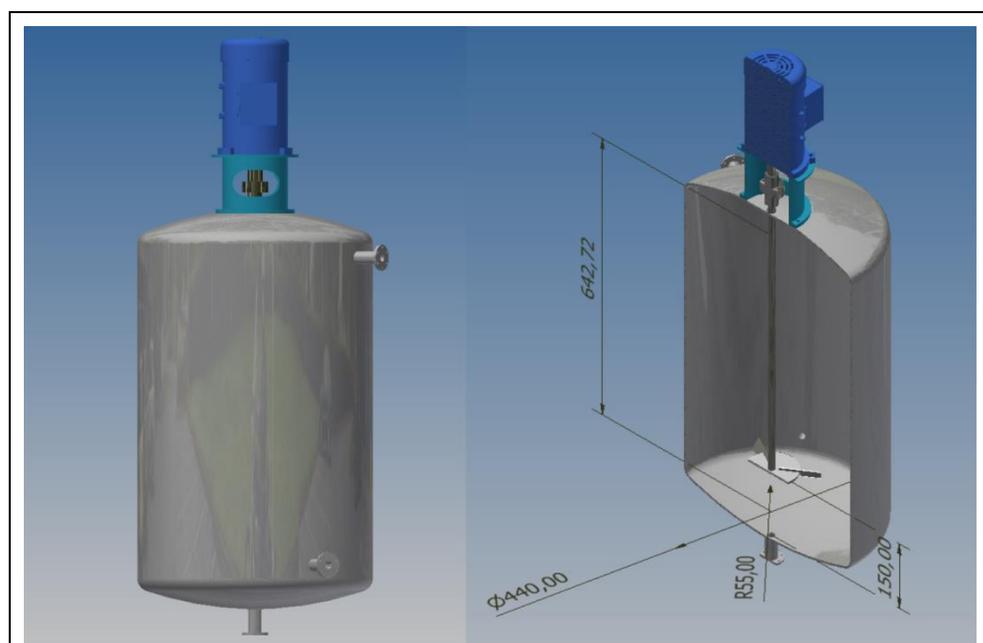
Realizado por: Daquilema L., 2019

La potencia requerida es baja también. Por tanto, se debe uso de la misma forma de un motor de 0,25 hp. Con las mismas adecuaciones que para el tanque TK-001.

**Tabla 92-3:** Dimensionamiento de motor para tanque (TK-004).

<i>Requerimiento de potencia para tanque mezclador (TK-004)</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
Tipo de agitador	HF-3SLAVES	
$N_p$	0,25	[adm]
$d_{liq}$	997,0	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\mu_{liq}$	8,91E-04	[Pa s]
$S_i$	60	[rpm]
P	0,0350	[J/s]
$P_{mix}$	1/4	[hp]
Re	32196	[adm]
Régimen	TURBULENTO	

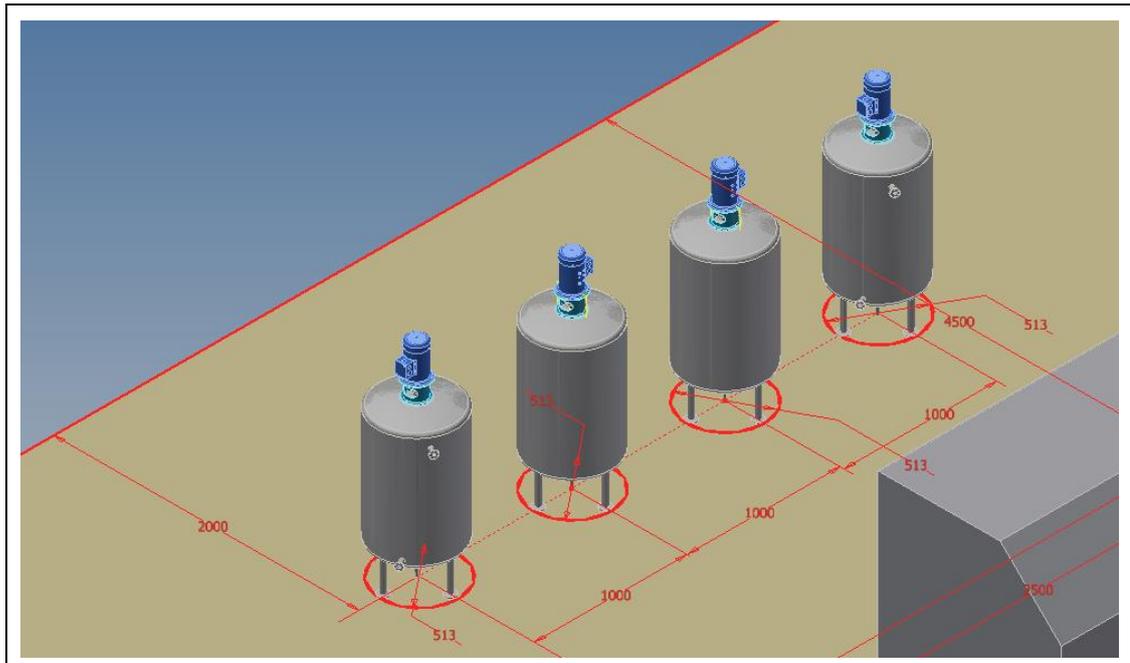
Realizado por: Daquilema L., 2019



**Figura 6- 3:** Tanque mezclador de ácido sulfúrico (TK-001), dimensiones en mm.

Realizado por: Daquilema L., 2019

Por la similitud de sus dimensiones, se aconseja utilizar un mismo tipo de tanque con un volumen de 200L. Como se muestra en la figura 17-3, se pueden instalar 4 tanques a una distancia de 1m.



**Figura 7- 3:** Distribución de tanques mezcladores (TK-001, TK-002, TK-003, TK-004)  
Realizado por: Daquilema L., 2019

### 3.2.5.9. Tanque de almacenamiento de agua

Conocido el requerimiento de agua para la preparación de soluciones de los tanques mezcladores (TK-001, TK-002, TK-003, TK-004), la suma de ellos es el requerimiento diario de agua. El resultado es:

$$0,104+0,200+0,150+0,155=0,60 \frac{m^3}{día}$$

Con este volumen el procedimiento de cálculo es el mismo que el usado para los tanques TQ-001 y TQ-002.

**Tabla 93-3:** Dimensionamiento de tanque de almacenamiento (TQ-003).

<i>Tanque de almacenamiento de agua potable (TQ-003)</i>								
Criterios de diseño			Dimensiones estructurales			Flujo de salida		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
q <sub>i</sub>	0,60	[m <sup>3</sup> /día]	f <sub>h</sub>	15,00	[%]	q <sub>f</sub>	9,00	[m <sup>3</sup> /día]
t <sub>r</sub>	15,00	[día]	L	2,12	[m]	q <sub>f</sub>	0,6038	[L/s]
V <sub>T</sub>	9,00	[m <sup>3</sup> ]	W	2,12	[m]	t <sub>ft</sub>	14,907	[día]
k (L/W)	1,00	[adm]	H <sub>f</sub>	0,30	[m]	t <sub>fr</sub>	17,143	[día]
H	2,00	[m]	H <sub>T</sub>	2,30	[m]	<b>V<sub>r</sub></b>	<b>10,35</b>	<b>[m<sup>3</sup>]</b>

Realizado por: Daquilema L., 2019

### 3.2.5.10. Floculadores

#### Floculador para agua con cromo (MF-001)

Al ser el volumen de procesamiento bajo, se opta por usar floculadores descendentes cilíndricos. El diseño emplea el mismo criterio de diseño empleado para los tanques mezcladores con la diferencia que el tiempo de retención es menor. Los resultados del diseño se muestran en las figuras 8-1 y 9-1.

**Tabla 94-3:** Diseño de tanque floculador (MF-001).

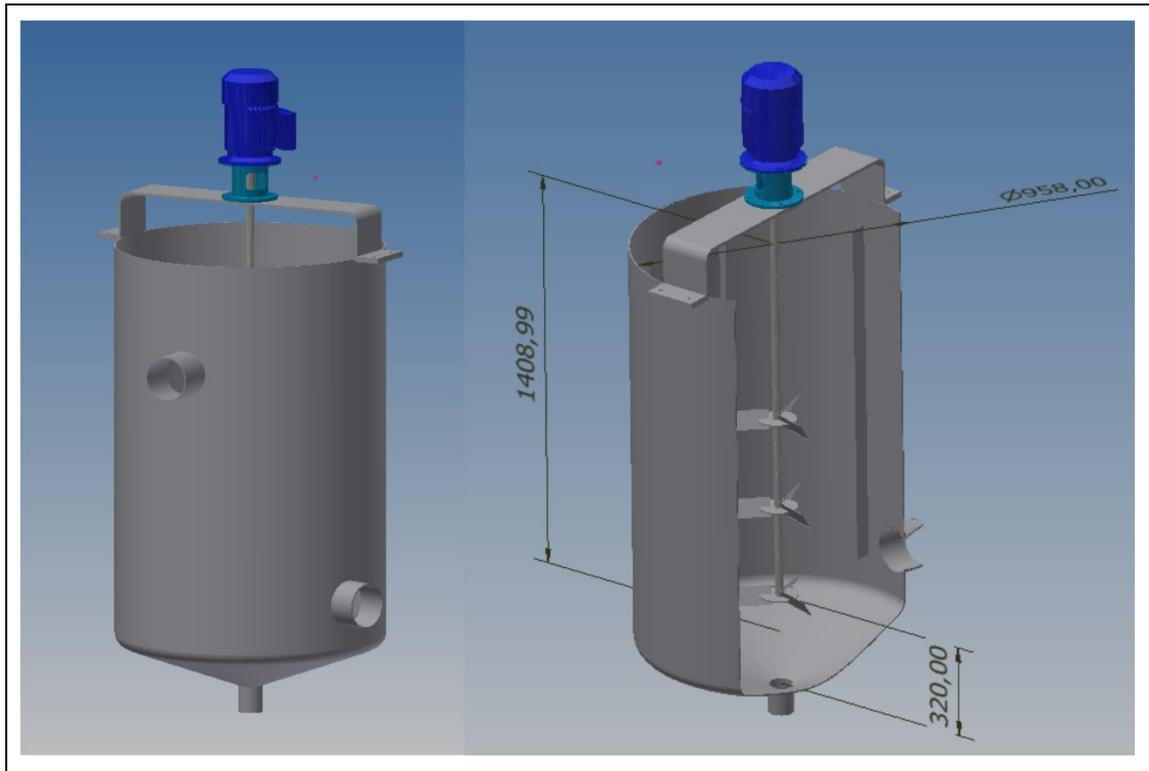
<i>Floculador vertical cilíndrico de flujo descendente (MF-001)</i>								
Dimensiones estructurales			Constantes diseño agitador			Dimensiones de agitador		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
$q_i$	40,12	[m <sup>3</sup> /día]	$k_1 (\phi_i/\phi_f)$	1/3	[adm]	$\phi_i$	0,31	[m]
$t_r$	30,00	[min]	$k_2 (h_i/\phi_i)$	1,00	[adm]	$h_i$	0,31	[m]
$V_T$	0,84	[m <sup>3</sup> ]	$k_3 (h_b/\phi_i)$	0,120	[adm]	$h_b$	0,04	[m]
$k (h/\phi)$	1,50	[adm]	$k_4 (r_b/\phi_i)$	0,280	[adm]	$r_b$	0,09	[m]
$f_v$	0,15	[adm]	$k_5 (r_b/2 \phi_i)$	0,130	[adm]	$r_b/2$	0,04	[m]
$h$	1,404	[m]	$k_6 (h_f/\phi_i)$	1	[adm]	$h_{fs}$	0,31	[m]
$\phi$	0,936	[m]	$k_7 (w/\phi_f)$	0,10	[adm]	$w$	0,09	[m]
$V_f$	0,966	[m <sup>3</sup> ]	$k_8 (\phi_c/\phi_i)$	0,10	[adm]	$\phi_c$	0,09	[m]
			$n_b$	6	[unidad]	$n_i$	3	[unidad]

Realizado por: Daquilema L., 2019

**Tabla 95-3:** Dimensionamiento compresor para de tanque floculador (MF-001).

<i>Requerimiento de potencia para floculador (MF-001)</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
Tipo de agitador.	HF-3SLAVES	
$N_p$	0,25	[adm]
$d_{liq}$	997,000	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\mu_{liq}$	8,91E-04	[Pa s]
$S_i$	40	[rpm]
$P$	0,218314087	[J/s]
$P_{mix}$	½	[hp]
$Re$	72613	[adm]
Régimen	TURBULENTO	

Realizado por: Daquilema L., 2019



**Figura 8- 3:** Tanque floculador para agua con cromo (MF-001), dimensiones en mm.  
Realizado por: Daquilema L., 2019

*Floculador para agua con sulfuro (MF-002)*

**Tabla 96-3:** Diseño de tanque floculador (MF-002).

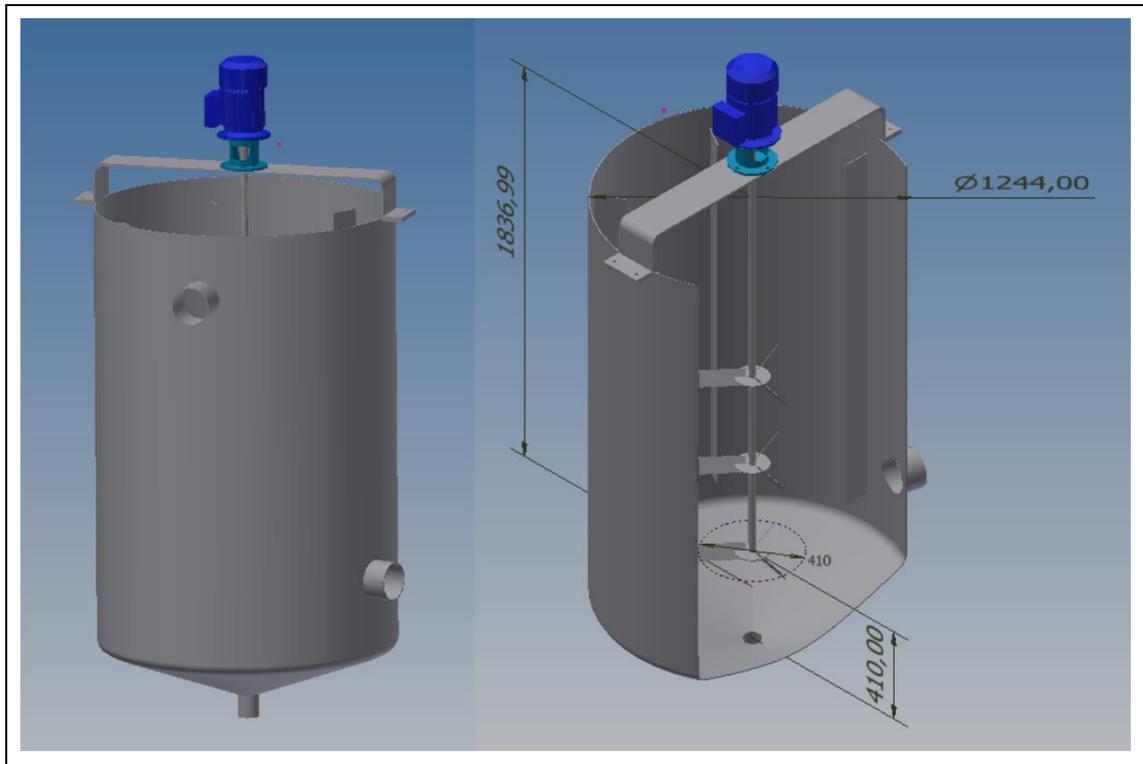
<i>Floculador vertical cilíndrico de flujo descendente (MF-002)</i>								
Dimensiones estructurales			Constantes diseño agitador			Dimensiones de agitador		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
qi	90,44	[m <sup>3</sup> /día]	k <sub>1</sub> ( $\phi/\phi_i$ )	1/3	[adm]	$\phi_i$	0,408	[m]
tr	30,00	[min]	k <sub>2</sub> ( $h_i/\phi_i$ )	1,00	[adm]	h <sub>i</sub>	0,408	[m]
VT	1,88	[m <sup>3</sup> ]	k <sub>3</sub> ( $h_b/\phi_i$ )	0,12	[adm]	h <sub>b</sub>	0,049	[m]
k (h/ $\phi$ )	1,50	[adm]	k <sub>4</sub> ( $r_b/\phi_i$ )	0,28	[adm]	r <sub>b</sub>	0,114	[m]
f <sub>v</sub>	0,15	[adm]	k <sub>5</sub> ( $r_b/2 \phi_i$ )	0,13	[adm]	r <sub>b/2</sub>	0,042	[m]
h	1,836	[m]	k <sub>6</sub> ( $h_f/\phi_i$ )	1,00	[adm]	h <sub>fs</sub>	0,408	[m]
$\phi$	1,224	[m]	k <sub>7</sub> ( $w/\phi_i$ )	0,10	[adm]	w	0,122	[m]
V <sub>r</sub>	2,16	[m <sup>3</sup> ]	k <sub>8</sub> ( $\phi_c/\phi_f$ )	0,10	[adm]	$\phi_c$	0,122	[m]
			n <sub>b</sub>	6	[unidad]	n <sub>i</sub>	3	[unidad]

Realizado por: Daquilema L., 2019

**Tabla 97-3:** Dimensionamiento compresor para de tanque floculador (MF-002).

<i>Requerimiento de potencia para floculador (MF-002)</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
Tipo de agitador	HF-3SLAVES	
$N_p$	0,25	[adm]
$d_{liq}$	997,000	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\mu_{liq}$	8,91E-04	[Pa s]
$s_i$	40	[rpm]
P	0,83601236	[J/s]
$P_{mix}$	1/2	[hp]
Re	124242	[adm]
Régimen	TURBULENTO	

Realizado por: Daquilema L., 2019



**Figura 9- 3:** Tanque floculador para agua con sulfuro (MF-002), dimensiones en mm.

Realizado por: Daquilema L., 2019

### 3.2.5.11. Sedimentadores

#### *Sedimentador para agua con cromo (SD-001)*

Para el proceso de sedimentación se usan sedimentadores de flujo horizontal, con el diseño básico, con un área de acumulación de lodos. Se asigna un tiempo de retención para este sedimentador de 24 h. Lo primero es calcular el área superficial ( $A_c$ ), usando el caudal de entrada al proceso y estimando una velocidad superficial ( $V_s$ ) de 0,125 m/h.

$$A_c = \frac{q_i}{V_{fs}} = \frac{40,12}{0,125} = 13,37 m^2 \quad \text{Ecuación 31}$$

Luego fijamos una constante de diseño  $k(L/w)$  entre el rango 3 a 5, en nuestro caso el valor es de 3,5 y determinamos los valores del ancho y largo del sedimentador.

$$w = \sqrt{\frac{A_c}{k}}; L = kw \quad \text{Ecuación 32}$$
$$w = \sqrt{\frac{13,37}{3,5}} = 1,95m$$
$$L = (3,5)(1,95) = 6,83m$$

Calculamos el tiempo de retención ( $\tau$ ) para saber si el valor de la velocidad superficial es correcto, estimando la profundidad del sedimentador ( $h$ ) en 3m. Este proceso es iterativo hasta ajustar el valor de la velocidad superficial al tiempo de retención necesario.

$$\tau = \frac{A_c h}{q_i} = \frac{(13,37)(3)}{(40,12)} = 24,0h \quad \text{Ecuación 33}$$

**Tabla 98-3:** Diseño de sedimentador (SD-001).

<i>Sedimentador de flujo horizontal (SD-001)</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
$q_i$	40,12	[m <sup>3</sup> /day]
$V_s$	0,125	[m/h]
$A_c$	13,37	[m <sup>2</sup> ]
$k$ (L/w)	3,50	[adm]
$w$	1,955	[m]
$L$	6,842	[m]
$h$	3,00	[m]
$\tau$	24,00	[h]
$R_h$	0,7372	[m]
$v_f$	7,91845E-05	[m/s]
$Re$	65,32	[adm]
Régimen	LAMINAR	
$F_r$	8,6702E-10	[adm]
$V_r$	40,12	[m <sup>3</sup> /día]

Realizado por: Daquilema L., 2019

Luego es necesario calcular el número de Reynolds para determinar el régimen de flujo, que debe ser laminar. Para ello necesitamos introducir las definiciones de: radio hidráulico ( $R_h$ ), área de sección transversal ( $A_x$ ) y perímetro mojado ( $P_w$ ). El radio hidráulico se calcula de la siguiente manera:

$$R_h = \frac{A_x}{P_w} = \frac{(1,95)(3)}{(1,95+2 \times 3)} = 0,7372m \quad \text{Ecuación 34}$$

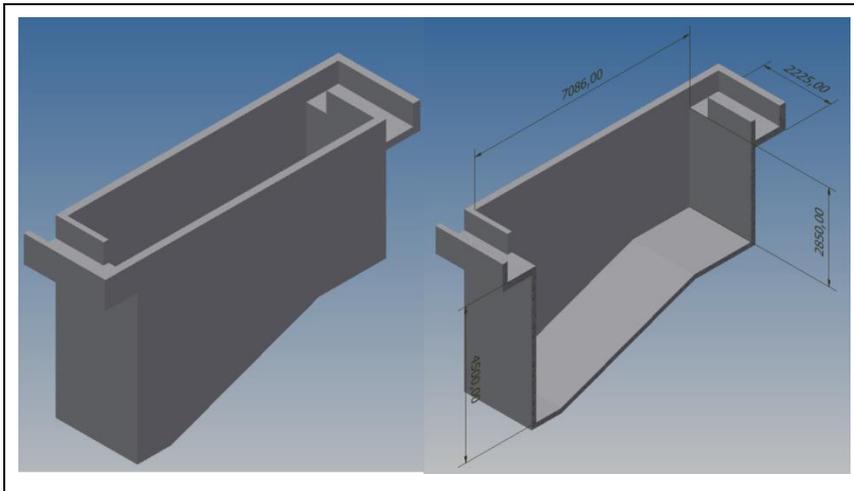
La velocidad de flujo a través del tanque se calcula de la siguiente manera:

$$v_f = \frac{q_i}{A_x} = \frac{42,12}{(1,95 \times 3)} = 7,918 \times 10^{-5} m/s \quad \text{Ecuación 35}$$

Luego el número de Reynolds para el flujo en el sedimentador SD-001, es:

$$Re = \frac{\rho v_f R_h}{\mu} = \frac{(997)(8,20 \times 10^{-5})(0,7372)}{8,91 \times 10^{-4}} = 65,32 \quad \text{Ecuación 36}$$

Siendo  $Re$  menor a 2000, se determina que corresponda a un flujo en régimen laminar, necesario para la sedimentación de los floculos formados en las operaciones anteriores.



**Figura 10- 3:** Tanque sedimentador de flujo horizontal para agua con cromo (SD-001). Dimensiones en mm.

Realizado por: Daquilema L., 2019

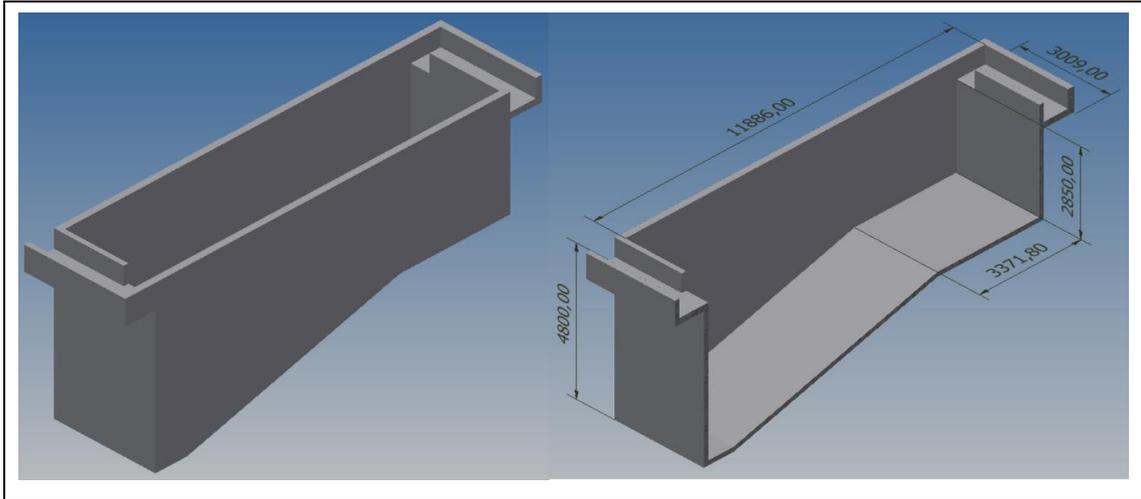
#### *Sedimentador para agua con sulfuro (SD-002)*

El procedimiento para el sedimentador SD-002, es el mismo así que, por tal razón no se repetirán en esta sección. Se define un tiempo de retención de 24 h. Los resultados se pueden observar en la tabla 99-3.

**Tabla 99-3:** Diseño de sedimentador (SD-002).

<i>Sedimentador de flujo horizontal (SD-002)</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
$q_i$	90,44	[m <sup>3</sup> /día]
$V_s$	0,125	[m/h]
$A_c$	30,14625004	[m <sup>2</sup> ]
$k$ (L/w)	4,00	[adm]
$w$	2,745	[m]
$L$	10,981	[m]
$h$	3,00	[m]
$\tau$	24,00	[h]
$R_h$	0,9417	[m]
$v_f$	1,271E-04	[m/s]
$Re$	133,93	[adm]
Régimen	LAMINAR	
$F_r$	1,74849E-09	[adm]
$V_r$	90,44	[m <sup>3</sup> /día]

Realizado por: Daquilema L., 2019



**Figura 11- 3:** Tanque sedimentador de flujo horizontal para agua con sulfuro (SD-002). Dimensiones en mm.  
Realizado por: Daquilema L., 2019.

### 3.2.5.12. Tanque de aireación (LA-001)

Para el tanque de aireación, optara por un diseño cilíndrico. Para ello, usaremos las ecuaciones 7 y 8. Además se debe calcular el caudal de aire que debe proporcionar el compresor para el proceso de inyección de aire. El volumen que recibirá diario el tanque de aireación corresponde la suma de los volúmenes provenientes de los sedimentadores, tanto de la línea de cromo como de sulfuros.

$$43,12 + 94,44 = 130,56 \frac{m^3}{día}$$

Con este caudal, tomando en cuenta que el tiempo de retención para el proceso de aireación se designa como 6h, un factor de diseño de 1,2 y un factor de seguridad de 50% en volumen, por la formación de espuma. Se calcula el volumen base del tanque.

$$V = \left( \frac{130,56}{24} \right) (6) = 32,64 m^3$$

$$h_f = \sqrt[3]{\frac{4(34,43)(1,20)^2 \left( 1 + \frac{50}{100} \right)}{\pi}} = 4,48 m$$

$$\phi = \frac{h_f}{k} = \frac{4,48}{1,2} = 1,59 m$$

Al escoger una constante  $k(h/\phi)$  igual a 1 el diámetro y altura son iguales. A continuación, debemos calcular los parámetros de selección del compresor. Para ello necesitamos saber la concentración de saturación de oxígeno en el agua a condiciones normales. Este valor es de 8,84 mg/L a 25°C y 1 atm, la densidad del aire es de 1,204 kg/m<sup>3</sup> y el porcentaje de oxígeno en el aire es aproximadamente 21%.

$$m_{O_2} = qC_{O_2} = \left( 130,56 \frac{m^3}{\text{día}} \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \frac{10^3 L}{1 m^3} \right) \left( 8,84 \frac{mg}{L} \frac{1 kg}{10^6 mg} \right) = 0,048 \frac{kg O_2}{h} \quad \text{Ecuación 37}$$

Este flujo de masa corresponde a oxígeno puro, para saber cuánto aire hay que inyectar al agua para cumplir con esta dosis, asumiendo un factor de seguridad del 15%, el caudal de aire debe ser el siguiente:

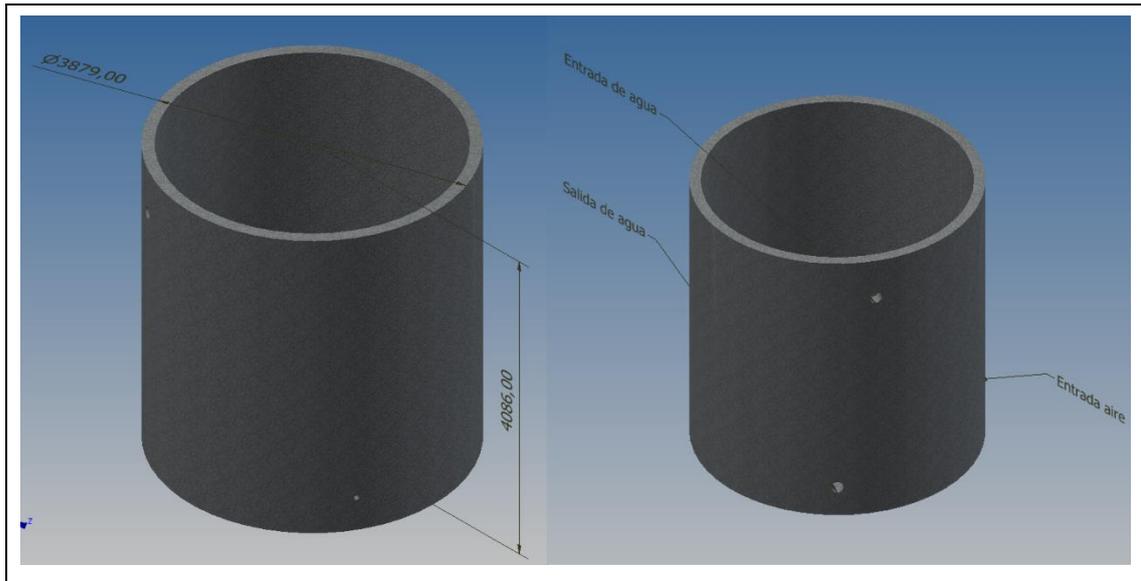
$$q_{\text{aire}} = 0,048 \frac{kg O_2}{h} \frac{100 kg \text{ aire}}{21 kg O_2} \frac{1 m^3}{1,2041 kg \text{ aire}} \times (1,15) = 0,218 \frac{m^3 \text{ aire}}{h} \quad \text{Ecuación 38}$$

$$q_{\text{aire}} = 0,218 \frac{m^3 \text{ aire}}{h} \rightarrow 0,129 \text{ cfm}$$

**Tabla 100-3:** Diseño de tanque de aireación (LA-001).

Tanque de aireación cilíndrico (LA-001)					
Estructura			Dimensionamiento compresor		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
q <sub>i</sub>	130,56	[m <sup>3</sup> /día]	t <sub>a</sub>	6	[h]
t <sub>r</sub>	6,00	[h]	c <sub>o2</sub>	8,84	[mg/L]
V <sub>T</sub>	32,64	[m <sup>3</sup> ]	p <sub>o2</sub>	21	[kg O <sub>2</sub> /kg aire]
k (h/φ)	1,20	[adm]	m <sub>o2</sub>	0,048	[kg O <sub>2</sub> /h]
f <sub>v</sub>	0,5	[adm]	q <sub>aire</sub>	0,219	[m <sup>3</sup> /h]
h	4,478	[m]	q <sub>aire</sub>	0,129	[cfm]
φ	3,731	[m]			
V <sub>r</sub>	48,96	[m <sup>3</sup> ]			

Realizado por: Daquilema L., 2019



**Figura 12- 3:** Tanque de aireación (LA-001). Dimensiones en mm.  
Realizado por: Daquilema L., 2019

### 3.2.5.13. Tanque de aireación y dosificación de sulfato de manganeso

Previo a la dosificación de ácido sulfúrico en el flujo de agua con sulfuros (pelambre), es necesario tratarlo con un proceso de aireación y Sulfato de manganeso. Para ello, se diseña una versión modificada de un floculador cilíndrico de agitador vertical, agregándole un dosificador de aire. A diferencia de los floculadores, este mezclador y aireador mecánico tiene un tiempo de retención de 6 h.

**Tabla 101-3:** Diseño de tanque aireador y mezclador. (LA-002).

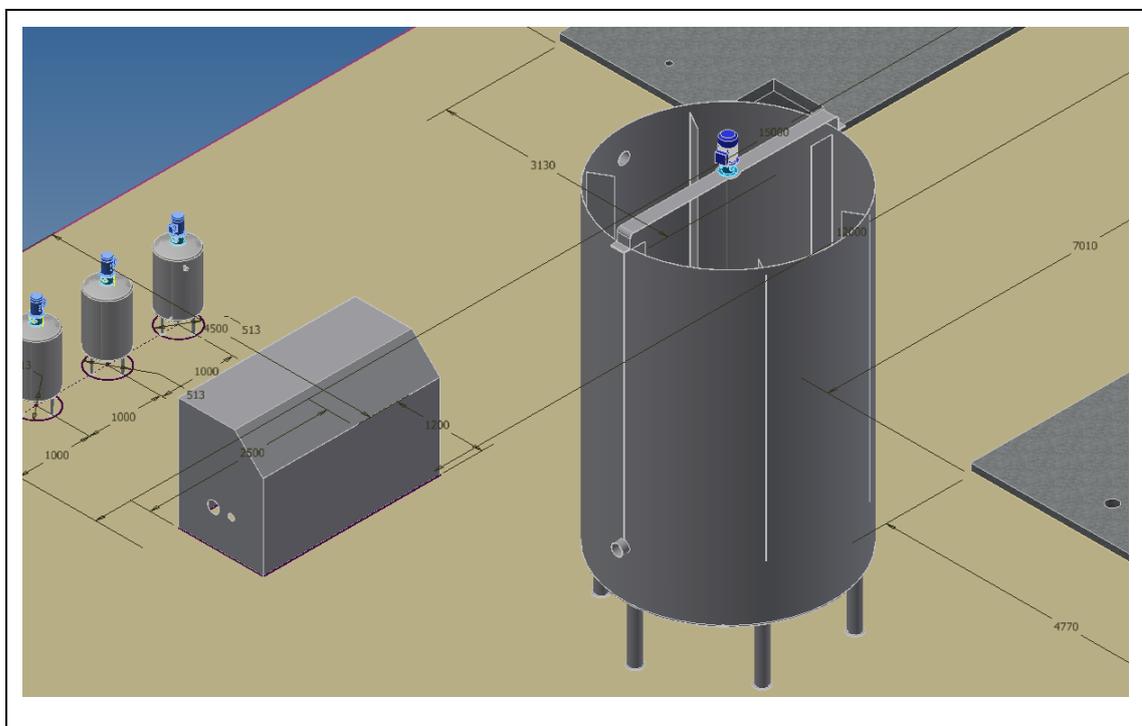
Tanque aireador y mezclador (LA-002)								
Dimensiones estructurales			Constantes diseño agitador			Dimensiones de agitador		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
qi	90,00	[m <sup>3</sup> /día]	k1 (φi/φf)	1/3	[adm]	φi	0,933	0,933
tr	360,00	[min]	k2 (hi/φi)	1,00	[adm]	hi	0,933	0,933
VT	22,50	[m <sup>3</sup> ]	k3 (hb/φi)	0,12	[adm]	hb	0,112	0,112
k (h/φ)	1,50	[adm]	k4 (rb/φi)	0,28	[adm]	rb	0,261	0,261
f <sub>v</sub>	0,15	[adm]	k5 (rb/2φi)	0,13	[adm]	rb/2	0,042	0,042
h	4,201	[m]	k6 (hf/φi)	1,00	[adm]	hfs	0,933	0,933
φ	2,800	[m]	k7 (w/φf)	0,10	[adm]	w	0,280	0,280
V <sub>r</sub>	25,88	[m <sup>3</sup> ]	k8 (φc/φf)	0,10	[adm]	φc	0,280	0,280
			nb	6	[unidad]	ni	3	[unidad]

Realizado por: Daquilema L., 2019

**Tabla 102-3:** Dimensionamiento compresor para de t Tanque aireador y mezclador (LA-002).

<i>Requerimiento de potencia para tanque aireador y mezclador (LA-002)</i>		
Parámetro	Valor	Unidad
Tipo de agitador	HF-3SLAVES	
Np	0,25	[adm]
d_liq	997,000	[kg/m <sup>3</sup> ]
μ_liq	8,91E-04	[Pa s]
s_i	100	[rpm]
fp	50	[%]
P	1227	[J/s]
P-motor	1 2/3	[hp]
Re	1625136	[adm]
Régimen	TURBULENTO	

Realizado por: Daquilema L., 2019



**Figura 13- 3:** Tanque de aireación y dosificación de sulfato de aluminio (LA-001).

Realizado por: Daquilema L., 2019

El volumen del cilindro es de 26 m<sup>3</sup>, los que la retención del flujo de agua por 6 horas, por la parte superior se dosifica mediante tubería, la solución de Sulfato de manganeso. El aire es ingresado por la parte inferior mediante conductos.

#### 3.2.5.14. Filtro descendente (FT-001)

Para el diseño del filtro, como no se hicieron estudio profundo del proceso de filtración se plantea extrapolar las dimensiones del filtro experimental. Las dimensiones usadas en el filtro experimental se muestran en la tabla 89-3. De esta se obtienen las fracciones correspondientes a la altura total del filtro.

**Tabla 103-3:** Distribución de filtro experimental.

Material	Longitud [cm]	Fracción
Zeolita	3,00	0,230
Carbón activado	4,50	0,340
Piedra pómez	3,00	0,230
Limo	2,50	0,200
Total	13,00	1,00

Realizado por: Daquilema L., 2019

Lo primero calcular el número de filtro a usarse con la siguiente expresión:

$$nf = 0,44\sqrt{q_i} = 0,44\sqrt{137,73} = 5 \quad \text{Ecuación 39}$$

Luego calculamos el área de superficie filtrante, que servirá para calcular el diámetro del filtro cilíndrico:

$$A_f = \frac{q_i}{k} = \frac{137,73}{120} = 1,147 m^2 \quad \text{Ecuación 40}$$

$$\phi = \sqrt{\frac{4A_f}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(1,147)}{\pi}} = 1,210$$

Para calcular la altura del filtro definimos que altura deberá tener toda la columna filtrante (1 m), la columna de líquido superior (1,5 m) y la parte de drenaje (0,5 m) que da un total de 3 metros. La distribución de espesores de los materiales según la distribución experimental de materiales se muestra en la tabla 90-3, en los valores e<sub>1</sub>, e<sub>2</sub>, e<sub>3</sub> y e<sub>4</sub>.

**Tabla 104-3:** Diseño de filtro descendente (FT-001).

<i>Filtro descendente cilíndrico FD (FT-001)</i>					
Estructura			Capas		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
$q_i$	130,56	[m <sup>3</sup> /dia]	$h_1$	1,00	[m]
$n_f$	5,00	[unidad]	$e_1$	0,231	[m]
$k$	120,00	[m/dia]	$e_2$	0,346	[m]
$A_f$	1,09	[adm]	$e_3$	0,231	[m]
$k_d$	1,67	[adm]	$e_4$	0,192	[m]
$\phi$	1,18	[m]	$e_{liq}$	1,500	[m]
			$e_{drain}$	0,5	[m]
			$h_t$	3,00	[m]

Realizado por: Daquilema L., 2019

En la figura 14-3, se muestra un diseño base del filtro de flujo descendente, del cual se requieren 5 unidades para tratar el flujo de agua a tratar.



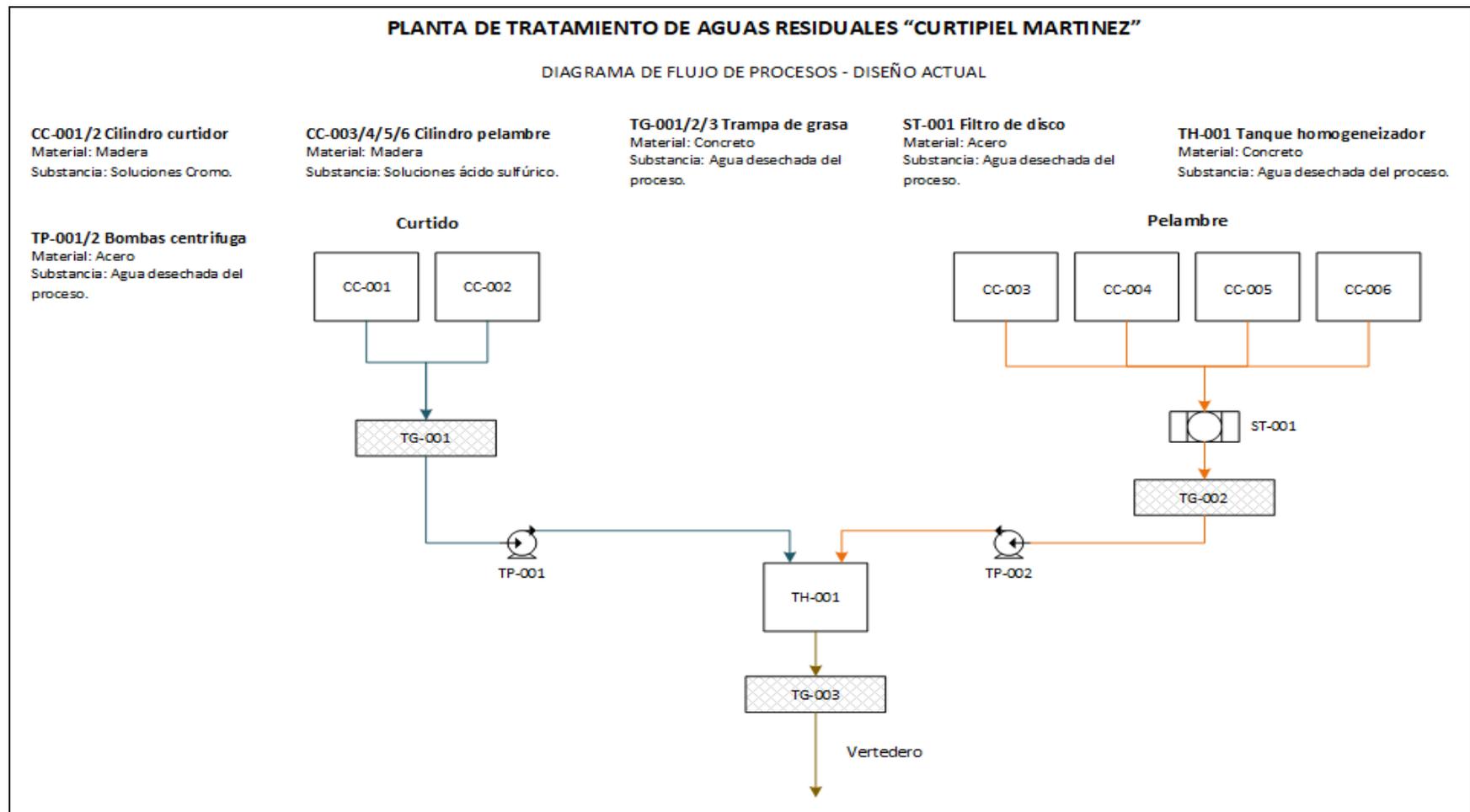
**Figura 14- 3:** Filtro de flujo descendente (FT-001). Dimensiones en mm.  
Realizado por: Daquilema L., 2019

### **3.3. Procesos de producción**

#### ***3.3.1. Diagrama preexistente planta de tratamiento de aguas Curtipel Martinez***

El sistema de tratamiento actual de la curtiembre consta de dos cilindros curtidores de madera, un cuarto de bombas con dos bombas centrifugas, tres trampas de grasa de concreto, un filtro de disco de acero y un tanque homogenizador de concreto

A continuación se presenta el diagrama de la planta:

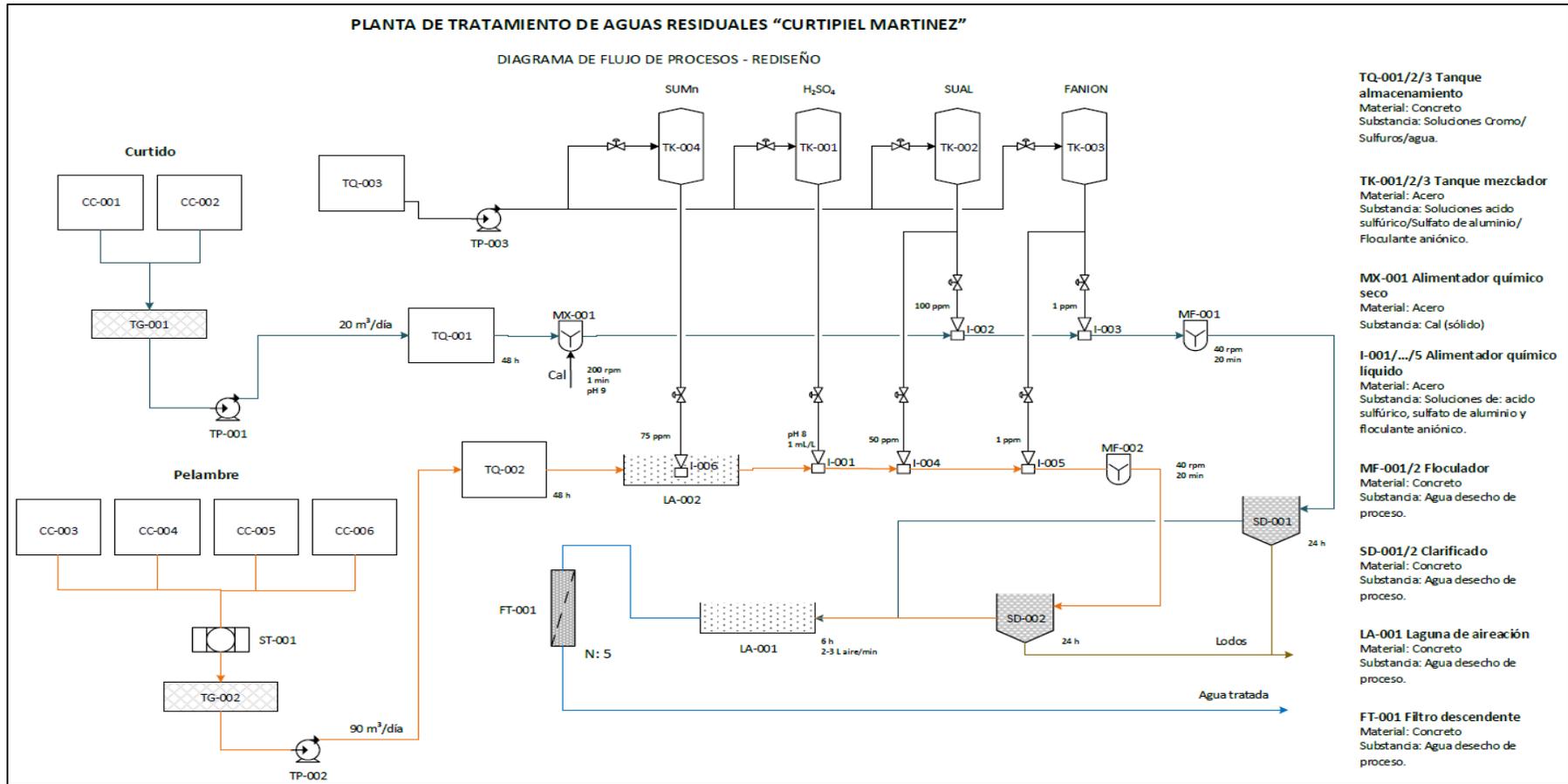


**Figura 15- 3:** Distribución del proceso de tratamiento preexistente.  
Realizado por: Daquilema L., 2019

### ***3.3.2. Diagrama rediseño planta de tratamiento de aguas***

La planta rediseñada constara de tanques de almacenamiento, cilindros de curtido y pelambre, tanques mezcladores, alimentadores químicos, floculadores, clarificadores y un filtro descendente.

A continuación se presenta el diagrama de la planta rediseñada:



**Figura 16- 3:** Distribución del proceso de tratamiento preexistente.  
 Realizado por: Daquilema L., 2019

### 3.3.3. Descripción etapas planta de tratamientos

#### **Tanques cilíndricos de curtido y pelambre (CC)**

Estos tanques contienen los efluentes tanto del curtido como del pelambre sin ningún tipo de tratamiento previo, el material de estos cilindros es de madera.

#### **Etapa preliminar**

#### **Tanques trampas de grasa (TG)**

Estos tanques poseen una trampa de grasa con esto se logrará la disminución de las grasas presentes en el agua residual, cuyo material es de concreto

#### **Tanques de almacenamiento (TQ)**

Los efluentes deben estar contenidos en tanques de almacenamiento cuyo material es concreto para posteriormente pasar a los tanques mezcladores, cuyo material es de concreto.

**Tabla 105-3:** Tanques de almacenamiento

Tanque	Capacidad(m <sup>3</sup> )
TQ-001	46
TQ-002	103,5
TQ-003	10,35

Realizado por: Daquilema L., 2019

#### **Etapa tratamiento secundario**

En esta etapa se utilizarán los coagulantes y flóculos que ayudarán a la descontaminación del efluente.

#### **Alimentadores químicos y de sólidos (Mx;I)**

La sustancia a utilizar en los alimentadores MX es la cal y en los alimentadores I serán usadas las sustancias como: soluciones de ácido, sulfato de aluminio y floculante aniónico.

### **Tanques mezcladores (TK)**

Los tanque Tk contendrán al efluente y al coagulante y floculante en este equipo se realiza el mezclado de estas sustancias con el agua residual para la formación de los flóculos.

**Tabla 106-3:** Tanques mezcladores

<b>Tanque</b>	<b>Capacidad(m<sup>3</sup>)</b>
TK-001	0,1035
TK-002	0,2
TK-003	0,15
TK-004	0,155

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

### **Floculadores (MF)**

Se depositaran las aguas de desecho.

**Tabla 107-3:** Floculadores

<b>Floculador</b>	<b>Capacidad(m<sup>3</sup>)</b>
MF-001	0,966
MF-002	2,16

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

### **Sedimentadores (SD)**

Depósito de aguas de desecho

**Tabla 108-3:** Sedimentadores

<b>Sedimentador</b>	<b>Capacidad(m<sup>3</sup>)</b>
SD-001	40,12
SD-002	90,44

**Realizado por:** Daquilema L., 2019

### **Laguna de aeración (LA)**

Laguna para llevar acabo la aeración del efluente de pelambre.

**Tabla 109-3:** Laguna de aeración

<b>Laguna</b>	<b>Capacidad(m<sup>3</sup>)</b>
LA-001	48,96
LA-002	25,85

**Realizado por:** Daquilema L., 2019



### 3.4. Requerimientos de Tecnología, equipos y maquinaria

#### Maquinaria y equipos a implementar en el rediseño

**Tabla 111-3:** Materiales a implementar en el rediseño

Equipo	Cantidad	Descripción
Tanque de concreto	1	Volumen: 46 m <sup>3</sup> Dimensiones: 3,45x4,47x2,98 [m] Material: Concreto gris Transporte: Bomba 2hp sumergible. Ingreso: 2 escotillas con escalera.
Tanque de concreto	1	Volumen: 104 m <sup>3</sup> Dimensiones: 3,45x6,71x4,47 [m] Material: Concreto gris Transporte: Bomba 2hp sumergible. Ingreso: 2 escotillas con escalera.
Tanque de concreto	1	Volumen: 10 m <sup>3</sup> Dimensiones: 3,45x3,67x2,45 [m] Material: Concreto gris Transporte: Bomba 2hp sumergible. Ingreso: 2 escotillas con escalera.
Tanque mezclador de acero	4	Volumen: 200 L Diámetro: 0,5 [m] Altura: 0,8 [m] Material: Acero inoxidable 304L Transporte: Motor 0,5 hp. Entradas: 2 (1 in) Salidas: 1 (2 in)
Dosificador químico multi-entrada	1	Ancho: 1,2 [m] Altura: 1,60 [m] Largo: 2,5 [m] Material: Acero al carbón Transporte: 4 bombas desplazamiento positivo Entradas flujo principal: 3 (1 in, 1 in, 4 in) Entradas reactivas: 4 (1 in) Salidas flujo principal: 4 (1 in, 1 in, 4 in)
Dosificador químico solidos	1	Material: Acero al carbón Transporte: 1 motor eléctrico 0,5 hp Entradas flujo principal: 1 (1 in) Entradas de reactivos: 1 tolva para solidos Salidas Flujo principal: 1 (1 in)
Floculador	1	Volumen: 1 m <sup>3</sup> (1000L) Diámetro: 0,96 [m]

		<p>Altura: 1,5 [m]  Material: Acero inoxidable 304L  Transporte: Motor 0,5 hp.  Entradas: 1 (4 in)  Salidas: 2 (2 in, 4 in)</p>
Floculador	1	<p>Volumen: 2 m3 (2000L)  Diámetro: 1,86 [m]  Altura: 1,5 [m]  Material: Acero inoxidable 304L  Transporte: Motor 0,5 hp.  Entradas: 1 (4 in)  Salidas: 2 (2 in, 4 in)</p>
Sedimentador rectangular de flujo horizontal	1	<p>Volumen: 44 m3 (35000L)  Ancho: 2,00 [m]  Largo: 7,00 [m]  Altura: 3,00 [m]  Material: Concreto gris  Entradas: Canal cuadrado (60 cm)  Salidas: 2 ( Canal cuadrado 60 cm, tubo 4 in)</p>
Sedimentador rectangular de flujo horizontal	1	<p>Volumen: 95 m3 (35000L)  Ancho: 2,80 [m]  Largo: 11,30 [m]  Altura: 3,00 [m]  Material: Concreto gris  Entradas: Canal cuadrado (60 cm)  Salidas: 2 ( Canal cuadrado 60 cm, tubo 4 in)</p>
Tanque cilíndrico de aireación	1	<p>Volumen: 40 m3  Diámetro: 3,70 [m]  Altura: 3,70 [m]  Material: Concreto gris  Transporte: Compresor aire 136 cfm-14 hp.  Entradas: 2 (1 in, 6 in)  Salidas: 1 (6 in)</p>
Tanque mezclador y de aireación	1	<p>Volumen: 26 m3  Diámetro: 2,8 [m]  Altura: 4,2 [m]  Material: Acero  Transporte: Compresor aire 136 cfm-14 hp.  Entradas: 2 (1 in, 6 in)  Salidas: 1 (6 in)</p>
Filtro vertical de empaque	5	<p>Volumen: 40 m3  Diámetro: 1,21 [m]  Altura: 3 [m]  Material: Acero inoxidable 304L</p>

		Entradas: 2 (1 in) Salidas: 1 (2 in)
Bomba de pistón	2	Potencia: 2 hp Sujeción: Axial, base Disposición: horizontal.
Bomba centrífuga	2	Potencia: 2 hp Sujeción: Axial, base Disposición: horizontal.

Realizado por: Daquilema L., 2019

### 3.5. Análisis de costos

El análisis económico se realizará en base a ciclos de operación, ya que se plantea que la planta sea de tipos semi-continua. Es decir, una vez llenados los tanques de depósito de agua de pelambre y curtiembre, se procede a ejecutar el proceso que tarda un día en procesar todo el contenido de los tanques.

#### *Consumo de reactivos*

Para el consumo de reactivos vamos a estimar que la planta entrara en funcionamiento al menos una vez por semana. Por lo tanto, se convertirían en 48 veces por año, puestas en funcionamiento de la planta.

**Tabla 112-3:** Consumo de reactivo por ciclo operativo y anual. (Costos anuales).

Reactivo	Cant. Ciclo	Unidad	Cant. anual	Valor unitario	Total
Sulfato de aluminio (Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ) [SUAL]	7,50	[kg/día]	360 [kg/año]	0,60 USD/kg	216,00 USD
Ácido Sulfúrico (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	5,80	[L/día]	278.4 [L/año]	9 USD/kg	2505,60 USD
Cal	104,00	[kg/día]	4992 [kg/año]	0,35 USD/kg	1747,20 USD
Floculante aniónico (FANION)	0,130	[kg/día]	6,24 [kg/año]	6,50 USD/kg	40,56 USD
Sulfato de manganeso	6,75	[kg/día]	324 [kg/año]	0,90 USD/kg	291,6 USD
<b>Total</b>					4800,96 USD

Realizado por: Daquilema L., 2019

## Equipos

Para los equipos se procede a investigar precios aproximados presentados en páginas de venta de equipos industriales. Para el caso de los equipos construidos en concreto se toma el precio promedio de obra civil vigente para abril 2018 en Ecuador (240 USD/m<sup>2</sup>). Calculando el área de superficie de cada equipo y ajustando el precio a un valor redondo.

**Tabla 113-3:** Costos por adquisición de equipos y maquinaria (Costo estimado de inversión inicial)

Equipo	Cantidad	Valor unitario	Total
Tanque de concreto	1	3200 USD	3200
Tanque de concreto	1	7200 USD	7200
Tanque de concreto	1	700 USD	700
Tanque mezclador de acero	4	300 USD	1200 USD
Dosificador químico multi-entrada	1	3200 USD	3200 USD
Dosificador químico sólidos	1	1200 USD	1200 USD
Floculador	1	2000 USD	2300 USD
Floculador	1	1200 USD	1200 USD
Sedimentador rectangular de flujo horizontal	1	3360 USD	3360 USD
Sedimentador rectangular de flujo horizontal	1	7600 USD	7600 USD
Tanque cilíndrico de aireación	1	2600 USD	2600 USD
Tanque mezclador y de aireación	1	9000 USD	9000 USD
Filtro vertical de empaque	5	1600 USD	8000 USD
Bomba de pistón	2	800 USD	1600 USD
Bomba centrífuga	2	1500 USD	3000 USD
<b>Total</b>			55360 USD

Realizado por: Daquilema L., 2019

## Instalaciones y adecuaciones

Para los costos en instalaciones y adecuaciones (obra civil), se estima la cantidad de tubería necesaria para conectar todos los equipos, los costos por instalación eléctrica y la superficie de obra civil necesaria para acondicionar el espacio de la planta, junto con el precio promedio por metro cuadrado de construcción.

**Tabla 114-3:** Costos por inhalaciones de servicios y obras de adecuación (Inversión inicial).

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Total
Tubería 4 pulgadas (Cast Iron)	200 m	45 USD/3 m	3000 USD
Tubería 1 pulgada PVC	40 m	3,5 USD/m	140 USD
Uniones, codos y aditamentos para tubería de acero.	1	3500 USD	3500 USD
Uniones, codos y aditamentos para tubería de acero.	1	500 USD	500 USD
Instalación de tuberías de acero	1	1500 USD	1500 USD
Instalación de tuberías de pvc	1	100 USD	100 USD
Equipo eléctrico general	1	1500 USD	1500 USD
Obra civil	100 m <sup>2</sup>	240 USD/m <sup>2</sup>	24000 USD
<b>Total</b>			34240 USD

Realizado por: Daquilema L., 2019

*Costos de personal***Tabla 115-3:** Costos por personal. (Costos anuales)

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Total
Operadores	2	7200 USD/año	14400 USD/año
Supervisor de planta	1	14400 USD/año	14400 USD/año
<b>Total</b>			28800 USD/año

Realizado por: Daquilema L., 2019

*Balance general de costos***Tabla 116-3:** Costos por personal. (Costos anuales)

Descripción	Valor
INVERSION	
Inversión por equipos y maquinaria	55360 USD
Inversión por instalaciones y obra civil	34240 USD
Inversión sin ajuste	89600 USD
Ajuste de inversión (5%)	4480 USD
<b>Total</b>	<b>94080 USD</b>
COSTOS	
Costo por reactivos y consumibles	4800,96 USD
Costo por personal	28880,00 USD
Costos sin ajuste (10 %)	33680,96 USD
Costos variables (ajuste 10%)	3368,10 USD
<b>Total</b>	<b>37049,06 USD</b>

Realizado por: Daquilema L., 2019

Para el análisis económico se consultaron los precios de reactivos, costo de construcción a nivel nacional y se estimó los costos de los equipos. Por ejemplo, los precios de los equipos contruidos en talleres con partes mecanizadas, se obtuvieron de páginas especializadas en venta de equipo industrial. En el caso de los tanques contruidos en concreto, se utilizó el área de construcción y el precio de construcción por metro cuadrado vigente, en el mes de abril de 2019 [240 USD/m<sup>2</sup>] (primer trimestre) dato obtenido de los resultados de las encuestas del INEC Para la mano de obra se usó la escala de sueldo nacional, para el sector privado, por ejemplo: para operadores especializados y técnicos 600 USD/mes y para especialistas (ingenieros) 800-1200 USD/mes. Los resultados son los siguientes: monto de inversión 94080 USD y costos fijos anuales de 37049,06 USD. No se realizó análisis de TIR y VAN por ser un proceso que no genera ingresos por venta de producto.

### 3.6. Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	TIEMPO																											
	1° mes				2° mes				3° mes				4° mes				5° mes				6° mes							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Revisión bibliográfica	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Caracterización física, química		■	■	■		■	■	■		■	■	■		■	■	■												
Realización de pruebas de tratabilidad		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
Dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales													■	■	■	■	■	■										
Factibilidad técnica y económica del diseño															■	■	■	■	■	■								
Validación del diseño (caracterización física)																	■	■	■	■								
Elaboración y corrección de borradores																	■	■	■	■								
Redacción del trabajo final					■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Empastado y presentación del trabajo final																					■	■	■	■	■	■	■	■
Auditoría académica																					■	■	■	■	■	■	■	■
Defensa del trabajo																					■	■	■	■	■	■	■	■

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de la caracterización de los efluente así como los tratamientos aplicados sobre los mismos buscan la reducción de los contaminantes, por lo cual es necesario determinar cuáles son los tratamientos más adecuados para la reducción de la carga contaminante, estos tratamientos fueron: uso de coagulantes de  $Al_2(SO_4)_3$ , utilización de floculantes, tratamientos por aireación y un filtro de zeolita, carbón activado, piedra pómez y limo como tratamiento físico.

Se consideró muestras simples para la caracterización y posterior tratamiento de los efluentes los parámetros a considerar en la caracterización tanto del agua residual de pelambre como la de curtido fueron: sulfuros, cromo hexavalente, cromo total, DBO, DQO, turbiedad, conductividad, sólidos disueltos, sólidos totales, sólidos totales en suspensión, temperatura, pH cuyos valores están tabulados en la tabla siendo estos comparados con los límites dados por la el TULSMA (Tabla 9).

El tratamiento físico-químico se realizó por el valor obtenido con el cálculo del índice de biodegradabilidad de ambos efluentes los valores fueron de 0,16 para el efluente de curtido por dicha razón se optó por este tratamiento, en el caso del efluente de pelambre su valor de 0,31 permitió cuestionar el uso de un tratamiento biológico o físico-químico, finalmente se escoge éste último.

El efluente del proceso de curtido fue tratado con el coagulante de sulfato de aluminio, floculante aniónico y un tratamiento por aeración para la reducción de sus contaminantes dando los siguientes resultados: pH 8,9; temperatura 23,2; conductividad 1,96 ms/cm; turbidez 18 NTU; sólidos totales disueltos 1040 mg/L, DBO 790 mg/L, DQO 2330 mg/L, sólidos totales 2416 mg/L, sólidos suspendidos 0 mg/L, cromo hexavalente 0,06 mg/l y cromo total 11,62 mg/L posteriormente se trató el agua residual con un proceso de filtrado ya que sus parámetros no cumplían con los valores dados por la norma obteniendo los siguientes resultados pH 6,7; temperatura 23,2; conductividad 2,05 ms/cm; turbidez 5 NTU; sólidos totales disueltos 1080 mg/L, DBO 280 mg/L, DQO 410 mg/L, sólidos totales 2541 mg/L, sólidos suspendidos 0 mg/L, cromo hexavalente 0,043 mg/l y cromo total 9,77 mg/L

Una vez caracterizado el efluente de pelambre y determinado su índice de biodegradabilidad se procedió a realizar los tratamientos con el uso de sulfato de aluminio como coagulante y floculante aniónico, el valor de pH paso de 12,39 a 6,92, la temperatura subió dos grados de 21 a 23 °C esto es debido a los cambios de temperatura en el ambiente, la conductividad

disminuyo de 5,09 ms/cm a 0,63 ms/cm, la turbidez paso de 5200 a 1700 NTU, los sólidos totales suspendidos se redujeron de 1,88 g/L a 0,33 g/L el DBO paso de 6300 mg/L a 2800 mg/L, el DQO bajo de 19900 mg/L a 3800 mg/L, los sólidos suspendidos tuvieron una remoción del 100%, los sólidos totales disminuyeron su valor de 29680 mg/L a 4592 mg/L y los sulfuros pasaron de 832 mg/L a 160 mg/L, terminado el proceso de floculación coagulación y los parámetros al no cumplir con los valores de la norma se procedió a realizar el proceso de aeración del sulfuro teniendo una remoción del mismo del 88,46%, después de eso se realizó el proceso de filtrado con lo cual se obtuvo los siguientes resultados: pH 6,71, temperatura 21 °C , conductividad de 0,54 ms/cm, turbidez de 520 NTU, sólidos totales suspendidos 118 mg/L, DBO 391 mg/L, DQO 1430 mg/L, los sólidos suspendidos, sólidos totales 2680 mg/L y sulfuros 38,4 mg/L, se debe considerar que sobre el efluente de pelambre se aplicó doble aeración para disminuir la carga contaminante.

En la primera parte de la sección de dimensionamiento de las operaciones planteadas en la propuesta de rediseño. Definimos el diagrama de flujo de procesos. Previo a esto se presenta el diagrama de bloques de las operaciones actualmente instaladas. Entre los equipos utilizados tenemos: tanques de almacenamiento de agua subproducto de curtiembre y pelambre, un dosificador de sólidos, un dosificador de soluciones químicas, tanques de almacenamiento de químicos, floculadores, sedimentadores, tanques de aireación y filtros descendentes de empaque. A continuación, se les asigno un código con secuencia numérica entre cada prefijo asignado. Por ejemplo, para los tanques de almacenamiento se les asigno el prefijo “TQ-“y seguido el número correspondiente al tanque. Definido el diagrama de flujo de proceso del rediseño, se procedió a dimensionar las operaciones planteadas.

Los primeros equipos en ser dimensionados fueron los tanques de almacenamiento de agua residual de los procesos de curtiembre y pelambre. Se escogió un diseño rectangular soterrado hechos de concreto gris. El volumen final del tanque de curtiembre TQ-001 (agua con cromo) es de 46 metros cúbicos, con un largo de 4,48m, ancho de 2,98 m (3m) y una altura de 3m. Para la entrada del agua se puede usar una tubería o un canal. En el caso de la salida de agua se usa una tubería de 2 pulgadas para un caudal de salida de 0,463 litros por segundo. Para la extracción del agua se usa una bomba centrifuga. En el caso del tanque de almacenamiento de agua con sulfuro TQ-002 (pelambre), tomando en cuenta un factor de seguridad de 15%, se obtuvo como resultado un volumen de 103,5 metros cúbicos (104 m<sup>3</sup>), con un lago de 6.7 m, ancho de 4,47m y una profundidad de 3m. El caudal de descarga debe ser de 1,041 litros por segundo. Por lo que se recomienda una tubería de 1,5 a 2 pulgadas. Para calcular las dimensiones del tanque de almacenamiento de agua TQ-003 (potable), se debe primero conocer el requerimiento de agua

por parte de los tanques de mezclado, por esta razón se dimensionó después de los tanques mezcladores.

El siguiente bloque de equipos son los dosificadores químicos. En total son 5 dosificadores químicos: 1 dosificador para ácido sulfúrico (I-001), 2 dosificadores para el sulfato de aluminio “SUAL” (I-002) y 2 dosificadores para el floculante aniónico. En base a las dosis óptimas encontradas en el laboratorio, se obtuvieron los siguientes resultados: para el alimentador de solución de ácido sulfúrico 2N, se requiere un caudal de inyección de 0,0463 mL/s con un gasto por ciclo operativo (24 horas) de 5,8 litros de ácido sulfúrico al 37%, los alimentadores de sulfato de aluminio requieren un caudal de inyección de 0,93 mL/s para la línea de agua de curtiembre y 0,460 mL/s para la línea de sulfuro, el consumo de sulfato de aluminio por ciclo operativo es de 9,5 kg para preparar una solución al 5%. En los dosificadores de floculante aniónico, para la línea de curtiembre se necesita un caudal de 0,463 mL/s y 1,042 mL/s para la línea de pelambre. Se requiere 90 g al día para preparar una solución al 0,1%. Para el dosificador de Sulfato de Manganeso se requiere un caudal de alimentación de 1,56 mL/s de una solución al 5%. Para el alimentador de cal (MX-001), se requiere una cantidad de 104 kg de cal al día con un flujo másico de dosificación de 1203,7 mg/s. No se profundizó en el diseño mecánico de estos equipos.

Previo al diseño de los tanques de mezclado se debe calcular con el caudal de salida el tanque de aguas de sulfuros. El volumen del tanque es de 26 m<sup>3</sup>, con un motor de 2 hp y un compresor con un flujo de aire de 3 litros por minuto (0,105 cfm).

Posteriormente se diseñó los tanques para almacenar las soluciones a ser inyectadas en cada línea. Se deben dimensionar 3 tanques de mezclado y almacenamiento. El primer tanque almacenará la solución de ácido sulfúrico (TK-001), siendo el material de construcción acero inoxidable con recubrimiento anticorrosivo y de forma cilíndrica, para los tanques de sulfato de aluminio, floculante aniónico y sulfato de manganeso se consideró el mismo material de construcción y forma. El volumen necesario para los tanques mezcladores fueron: tanque TK-001 es de 104 litros, TK-002 de 200 litros, TK-003 de 150 litros y TK-003 de 150 litros.

Después se diseñó el tanque de almacenamiento TQ-003 definiéndose un tiempo de almacenamiento de 15 días, el volumen de dicho tanque es de 10 metros cúbicos.

El siguiente equipo a diseñar fue un floculador del tipo cilíndrico con agitador vertical y flujo descendente por su baja capacidad en volumen.

Para el proceso de sedimentación se seleccionó un sedimentador de flujo horizontal, ya que este diseño permite acumular los lodos en un área específica para luego ser retirados, para el sedimentador de la línea de curtiembre se requiere un volumen de 40 metros cúbicos y para la línea de pelambre un volumen de 91 metros cúbicos.

Para el proceso de aireación se escogió el diseño de un tanque cilíndrico además, se dimensiono un compresor que permitiría saturar el agua con oxígeno con un tiempo de residencia de 6 horas, el volumen requerido para el tanque de aeración es de 49 metros cúbicos.

Para finalizar el proceso de tratamiento se diseñó un filtro descendente constituido por: zeolita, carbón activado, piedra pómez y limo, para obtener sus dimensiones se extrapolo las dimensiones del filtro usado en el laboratorio, las dimensiones del filtro diseñado serán: altura de 3 metros, diámetro de 1,21 metros y una altura de empaque de 1,5 metros.

El área ocupada por las operaciones es de 35 m de largo por 20 metros de ancho. En esta propuesta no se toman en cuenta el diseño hidráulico (tuberías, bombas) y equipos auxiliares.

## CONCLUSIONES

La planta de tratamiento de agua residual instalada actualmente, consta de un sistema de estribas, trampa de cromo, trampa de sulfuros y un tanque homogeneizador, sistema que no es suficiente para depurar las aguas residuales pues su eficiencia, en relación a DBQ, DQO, Sulfuros Cromo total, oscila entre el 15 a 30%, condición que genera aguas que no cumplen con la normativa ambiental vigente de evacuación.

La caracterización del efluente de curtido presentó los siguientes parámetros que se encontraron fuera de norma: pH 4; DBO 1700 mg/L; DQO 10900 mg/L; sólidos totales 25044 mg/L; cromo total 587,38 mg/L, en la caracterización para el efluente de pelambre: pH de 12,39; DBO 6300 mg/L; DQO 19900 mg/L; sólidos totales 29680 mg/L y sulfuros de 832 mg/L.

Para el efluente de curtido: se debe bajar la carga orgánica-biológica contaminante además del cromo, para ello se utilizan los siguientes procesos: sulfato de aluminio a una concentración de 100 ppm, el floculante aniónico con concentración de 1 ppm, aireación de 6 h y un proceso de filtración, se utilizó como materiales filtrantes: limo, piedra pómez, carbón activado y zeolita.

Para el efluente de pelambre; oxidación de sulfuros con sulfato de manganeso a una concentración de 75 ppm; coagulación con sulfato de aluminio a 50 ppm y la floculación con floculante aniónico a 1 ppm; aeración con un tiempo de 6h, se filtró el efluente utilizando el mismo material filtrante que para el proceso de curtido.

Las variables a considerar son el caudal y el tiempo de retención, para el tanque de aeración se consideró el caudal del aire y el volumen diario de agua que recibirá el tanque, para el filtro descendente como variables se determinó a partir de un filtro experimental: longitud y fracción de los materiales filtrantes.

A partir de los cálculos de ingeniería se determinó el dimensionamiento del rediseño de la planta que constará de los siguientes equipos: tanques cilíndricos de curtido y pelambre, tanques con trampas de grasa, tanques de almacenamiento, alimentadores químicos y de sólidos, tanques mezcladores, floculadores, sedimentadores, laguna de aireación y filtro descendente.

Con los tratamientos aplicados, se logra validar los siguientes parámetros en función al porcentaje de remoción de los contaminantes para el efluente de curtido son: DBO 83,53%, DQO 96,24%, sólidos totales 89,85%, sólidos suspendidos 100%, cromo hexavalente 73,13% y cromo total 98,34%. efluente de pelambre fue: turbidez 90%; sólidos totales disueltos 93,72%,

DBO 93,79%, DQO 92,81%, sólidos totales 90,97%, sólidos suspendidos 100%, sulfuros 95,38%, aun así con porcentajes elevados de tratabilidad no se logra cumplir con la normativa por lo que se recomienda una recirculación del agua tratada.

## **RECOMENDACIONES**

Realizar la caracterización semestral de la descarga de efluentes antes y después de entrar al sistema de tratamiento implementando laboratorios en la curtiembre para realizar caracterizaciones inmediatas y determinar si el sistema está funcionando de la manera más adecuada

Uso de mayor variedad de floculantes y coagulantes para mejorar el tratamiento químico del efluente a su vez que se recomienda un estudio de la afección ambiental que tendrán estos compuestos en el efluente donde han sido utilizados.

Investigar la recuperación del cromo existente en los lodos determinando métodos que favorezcan económicamente a la curtiembre.

Realizar el lavado de los filtros cada 3 meses y el cambio de los empaques cada año.

Realizar la capacitación de los operadores de la curtiembre para que tengan una mayor capacidad en el uso del sistema de tratamiento.

## GLOSARIO

<b>Abreviatura</b>	<b>Definición</b>
SUAL	Sulfato de aluminio.
SUMn	Sulfato de manganeso
FANION	Floculante aniónico
adm	Adimensional.
HF-3SLAVES	Agitador de tipo hidroáala de 3 cuchillas con inclinación de 60°.

<b>Símbolo</b>	<b>Definición</b>
L	Longitud de tanque rectangular. [m]
w	Ancho de tanque rectangular. [m]
k(L/w)	Factor de diseño que relaciona longitud y ancho de tanques rectangulares. [adm]
V <sub>r</sub>	Volumen sin ajuste de seguridad de un tanque rectangular. [adm]
H <sub>T</sub>	Altura con ajuste de seguridad. [m]
V <sub>T</sub>	Volumen de diseño de tanque rectangular. [m]
f <sub>h</sub>	Factor de seguridad para altura de tanques rectangulares.[%]
q <sub>i</sub>	Caudal de entrada. [m <sup>3</sup> /día]
t <sub>r</sub>	Tiempo de retención. [día]
H	Altura sin ajuste de seguridad para tanques rectangulares. [m]
H <sub>f</sub>	Altura de seguridad para tanques rectangulares. [m]
q <sub>f</sub>	Caudal de salida de tanques rectangulares. [m <sup>3</sup> /día]
t <sub>ft</sub>	Tiempo de descarga de tanque rectangular. [día]
d <sub>c</sub>	Dosificación de químico líquido o solución. [mL/L] [mg/L]
q <sub>c</sub>	Caudal de químico necesario para flujo de agua. [mL/s]
C <sub>c</sub>	Concentración de solución a alimentar. [mol/L]
p <sub>assay</sub>	Pureza de químico a usar, en la preparación de la solución. [%]
d <sub>ac</sub>	Densidad de químico a usar, en la preparación de la solución. [g/mL]
pm <sub>ac</sub>	Peso molecular de químico usar, en la preparación de la solución. [g/mol]
M <sub>ac</sub>	Concentración molar de químico a usar, en la preparación de la solución. [mol/L]
V <sub>acc</sub>	Volumen de químico patrón a usar en la preparación de la solución. [L/día]
V <sub>cs</sub>	Volumen de solución a preparar para proceso. [m <sup>3</sup> /día]
q <sub>ci</sub>	Caudal de solución a dosificarse a la línea de flujo correspondiente. [mL/s]

$m_c$	Masa de químico patrón a usar en la preparación de la solución. [kg/día]
$V_f$	Volumen nominal de entrada al tanque mezclador. [m <sup>3</sup> /día]
$f_v$	Factor de seguridad sobre volumen de tanque. [%]
$V_{ft}$	Volumen ajustado con factor de seguridad. [m <sup>3</sup> /día]
$k (h_f/\phi_f)$	Factor de diseño entre altura de tanque cilíndrico y su diámetro.
$h_f$	Altura de tanque cilíndrico. [m]
$\phi_f$	Diámetro de tanque cilíndrico. [m]
$V_{ft}$	Volumen recalculado con dimensiones de diseño. [m <sup>3</sup> ]
$k_1 (\phi_i/\phi_f)$	Factor de diseño de agitador que relaciona diámetro del agitador y diámetro de tanque. [adm]
$k_2 (h_i/\phi_i)$	Factor de diseño de agitador que relaciona diámetro del agitador y su altura con respecto al fondo del tanque. [adm]
$k_3 (h_b/\phi_i)$	Factor de diseño de agitador que relaciona diámetro del agitador y el ancho de las cuchillas del agitador. [adm]
$k_4 (r_b/\phi_i)$	Factor de diseño de agitador que relaciona diámetro del agitador y la distancia de prolongación de cuchilla y la placa circular de soporte. [adm]
$k_5 (r_b/2\phi_i)$	Factor de diseño de agitador que relaciona diámetro del agitador y la distancia de inserción de cuchilla y la placa circular de soporte. [adm]
$k_6 (h_f/\phi_i)$	Factor de diseño de agitador que relaciona diámetro del agitador y altura de fluido recomendada por agitador. [adm]
$k_7 (w/\phi_f)$	Factor de diseño de deflector que relaciona diámetro del tanque y el ancho del deflector. [adm]
$k_8 (\phi_c/\phi_f)$	Factor de diseño de deflector que relaciona diámetro del tanque y diámetro de la placa circular de soporte. [adm]
$n_b$	Número de deflectores necesarios. [unidad]
$n_i$	Número de agitadores necesarios. [unidad]
$N_p$	Número de potencia para un tipo definido de agitador. [adm]
$d_{liq}$	Densidad de líquido. [kg/m <sup>3</sup> ]
$\mu_{liq}$	Viscosidad dinámica de líquido. [Pa s]
$s_i$	Velocidad de giro de eje de motor eléctrico. [rpm]
$P$	Potencia de agitación. [J/s]
$P_{mix}$	Potencia de motor seleccionado para mezclador. [hp]
$Re$	Número de Reynolds. [adm]
$V_s$	Velocidad de flujo superficial. [m/s]
$A_c$	Superficie de sedimentador. [m <sup>2</sup> ]
$\tau$	Tiempo de retención de sedimentador. [h]

$R_h$	Radio hidráulico. [m]
$v_f$	Velocidad de flujo horizontal. [m/s]
$F_r$	Número de Froud. [adm]
$A_f$	Superficie de filtración. [m <sup>2</sup> ]
$k_d$	Constante de diseño para filtros. [amd]
$h_i$	Altura de empaque de filtro. [m]
$e_i$	Altura de componente i en empaque de filtro. [m]
$e_{liq}$	Altura de columna de líquido en filtro. [m]
$e_{drain}$	Altura de sección de drenaje en filtros. [m]
$h_t$	Altura de filtro de empaque. [m]

## BIBLIOGRAFÍA

**ÁLVAREZ,N.** *Proceso para obtención de cuero.* [en línea]. México DF-México. Revérte, 2017. [Consulta: 03 de marzo del 2019]. Disponible en: <http://www.alpacaproducts.com/curtido.htm>

**CORTÉS CUBILLOS, Omar Dario.** Evaluar la reducción de la carga de sulfuros en los efluentes del proceso de pelambre mediante su recuperación por el método de acidificación. [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Univesidad de Pereira, la Salle, Colombia. 2016. pp.13-22. [Consulta:2019-05-17]. Disponible en: [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20462/41092125\\_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20462/41092125_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**CUBEROS et al.,** “Niveles de cromo y alteraciones de salud en una población expuesta a las actividades de Curtiembres en Bogotá, Colombia”. *Revista Salud Pública* [en línea], 2009. (Bogotá) 11(2), pp.278-289. ISSN 0124-0064. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v11n2/v11n2a12.pdf>

**GARCÍ,J.** "IMPACTO AMBIENTAL GENERADO EN EL PROCESO PRODUCTIVO DE LA EMPRESA DE CURTIDOS DEL ORIENTE COLOMBIA". *Revista Ingeniería Química* [en línea], 2011. (Bogota) 56(1), pp. 20-60. ISSN 0123-1881. DOI [dx.doi.org/10.22517/23447214.2589](http://dx.doi.org/10.22517/23447214.2589). Disponible en: <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/37857.pdf>

**IGLESIAS,E.** *Las industrias del cuero.* 1ª ed.México D.F-México: UNAM, 1998, pp.5-150.

**JARAMILLO,B.** "REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES DE CURTIEMBRE". *Chemical Engineering Journal* [en línea], 2009. (México) 42(2), pp. 290-295. ISSN 0122-1701. DOI [dx.doi.org/10.22517/23447214.2679](http://dx.doi.org/10.22517/23447214.2679). Disponible en: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/2679>

**LORBER,L.** *La Industria de los Cueros.* 2ª ed.Madrid - España: Revérte, S:A., 2013, pp.70-90.

**LÓPEZ,J.** *Tratamiento de aguas para abastecimiento público.* 1ª ed.Barcelona- España: Mcgrawhill:, 2006, pp.110-120.

**MARTINEZ,S.** *Tratamiento de aguas residuales con MATLAB*. 1ª ed. Buenos Aires - Argentina: Revérte. S:A., 2010, pp.70-80.

**MENDEZ,G.,** 2011. *Producción de cuero*. [En línea]. [Consulta:2019-03-15] Disponible en: <https://www.alfonsomorant.com/curtido-de-piel-vegetal/>

**MINISTERIO DEL AMBIENTE ECUADOR.** *Reforma del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria*.

**MOROCHO YASCARIBAY, Mario Vinicio.** Tratamiento de aguas residuales de una curtiembre en el cantón Cuenca mediante la aplicación dosificada de Emas (Microorganismos Eficientes Autóctonos) [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad de Cuenca,Ecuador .2017 .pp.15-25. [Consulta:2019-05-18]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26955/1/Tesis.pdf>

**OLIVARES,K.** *El cuero más fino de colombia*. [En línea]. Bogotá-Colombia, 2015. Revérte [Consulta:09 de marzo del 2019]. Disponible en <https://armandoplata.wordpress.com/2013/03/04/choconta-y-villapinzon-producen-el-cuero-mas-fino-de-colombia-pero/>

**ORTIZ,S.** *Cuero Producción*. [En línea]. Puebla-México: Boixareu, 2016. [Consulta: 12 de marzo del 2019]. Disponible en: <http://cueroamerica.info/wpnews/2015/05/rusia-extiende-la-prohibicion-para-exportar-pieles-curtidas-acabadas-y-semi-acabadas/>

**OSORIO,F.** *Tratamiento de aguas para la eliminación de agentes contaminantes*. 1ª ed.México D.F-México: Diaz de Santos, 2003, p.13.

**PLATA,C.** *Pelambre y Cutido de Pieles*. [En línea]. Bogota-Colombia: Mcgrawhill, 2013. [Consulta:20 de marzo del 2019]. Disponible en: <https://pedro-olivares.com/el-pelambre-curtido-de-pieles-iii/>

**RAMALHO,S.** *Tratamiento de aguas residuales*. 2ª ed.Utah-USA: Reverté, S.A., 2016, pp.10-40.

**RIGOLA,M.** *Tratamiento de aguas industriales*. 1ª ed.México D.F-México: Boixareu, editores, 2010, p.40.

**SALAS,G.** "TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE UNA CURTIEMBRE". *Revista PerQuímica* [en línea], 2015. (México) 59(8), pp. 50-59. ISSN 0154-1798. DOI dx.doi.org/10.525477/2344755.2679. Disponible en: [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/ing\\_quimica/v08\\_n1/pdf/a08v8.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/ing_quimica/v08_n1/pdf/a08v8.pdf)

**TAYUPANDA PAGALO, Segundo Juan.** Diseño de un sistema de tratamiento de agua residual del proceso de pelambre para su reutilización, curtiembre pieles "Puma", Provincia de Tungurahua [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo , Riobamba , Ecuador. 2010. pp.30-65. [Consulta:2019-03-15]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2650/1/96T00123.pdf>

**TULSMA LIBRO VI ANEXO I.** *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.*

**VIDAL,K.** *Producción Limpia en la industria de curtiembre.* 1ª ed. Bogotá-Colombia: Científico, 2011, pp.127-150.

## ANEXOS

### ANEXO A: Caracterización inicial del agua de Curtido.



# ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

#### LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA FACULTAD DE CIENCIAS

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

#### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Lisbeth Xiomara Daquilema Sucunota

Fecha de Análisis: 17/12/2018

Tipo de muestras: Agua Residual de Curtido, Curtiembre "CURTIPIEL MARTÍNEZ"

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

#### TRABAJO DE TITULACION – MUESTRA 3

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und.	4500-B	6-9	4,3
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	1,5
TDS	mg/L	2540-C	....	730
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	1750
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	.....	35
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	27044
Cromo Hexavalente	mg/L	3500-CrB	0,5	0,16

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

\*\*TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.

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

## ANEXO B: Caracterización inicial del agua de Pelambre.



# ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA FACULTAD DE CIENCIAS

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

#### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Lisbeth Xiomara Daquilema Sucunota

Fecha de Análisis: 19/02/2019

Tipo de muestras: Agua Residual de Pelambre, Curtiembre "CURTIPIEL MARTÍNEZ"

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

#### TRABAJO DE TITULACION – MUESTRA 1

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und	4500-B	6-9	13
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	5,6
TDS	mg/L	2540-C	....	2475
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	5000
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	18000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	6500
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	.....	52
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	29680
Sulfuros	mg/L	4500-S <sup>2-</sup> -E	0,5	920

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

\*\*TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.

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

## ANEXO C: Caracterización inicial de cromo Hexavalente y Total.



### LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

Nº SE: 047-19

#### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Lisbeth Daquilema **INFORME Nº:** 047- 19  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **Nº SE:** 047 - 19  
**DIRECCIÓN:** Barrio Maestros de Chimborazo **FECHA DE RECEPCIÓN:** 25 - 03 - 19  
**TELÉFONO:** 0982971978 **FECHA DE INFORME:** 29- 03 - 19  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1, Agua residual, Curtiduría **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 099-19 Agua residual

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

#### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA -099-19

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	587,38	N/A	25 - 03 - 19
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0,16	N/A	25 - 03 - 19

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN.

#### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara  
Benito Mendoza T., Ph.D.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 1

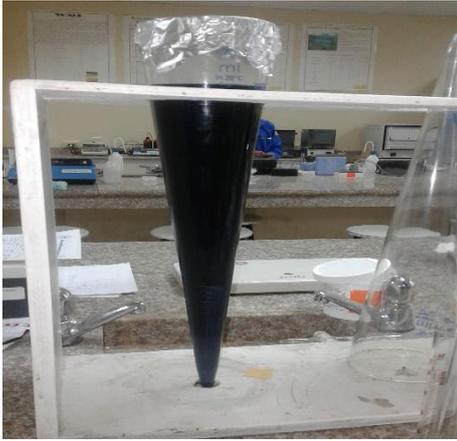
FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

**ANEXO D: Muestreo.**



## ANEXO E: Test de Jarras



**ANEXO F: Caracterización del agua residual de Curtido tratada (Coagulación-Floculación).**



**ESPOCH**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

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

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

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Lisbeth Xiomara Daquilema Sucunota

Fecha de Análisis: 20/11/2018

Tipo de muestras: Agua Residual Tratada (Coagulación-Floculación) de Curtido, Curtiembre "CURTIPIEL MARTÍNEZ"

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

**TRABAJO DE TITULACION – MUESTRA 1**

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und	4500-B	6-9	8,9
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	1,96
TDS	mg/L	2540-C	.....	1040
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	18
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	2330
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	790
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	.....	0
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	2416
Cromo Hexavalente	mg/L	3500-CrB	0,5	0,06

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

\*\*TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.

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





## LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES



Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

N° SE: 064-19

### INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Lisbeth Daquilema **INFORME N°:** 064- 19  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 064 - 19  
**DIRECCIÓN:** Barrio Maestros de Chimborazo **FECHA DE RECEPCIÓN:** 05 - 04 - 19  
**TELÉFONO:** 0982971978 **FECHA DE INFORME:** 12- 04 - 19  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** 1, Agua residual tratada, Curtiduría **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 119-19 Agua residual tratada

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA -119-19

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	11,62	N/A	05 - 04 - 19
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0,06	N/A	05 - 04 - 19

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN.

### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara  
Benito Mendoza T., Ph.D.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 1

FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

**ANEXO G: Caracterización del agua residual de Curtido tratada (Coagulación-Floculación+ Aireación y Filtro).**



**ESPOCH**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

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

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

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Lisbeth Xiomara Daquilema Sucunota

Fecha de Análisis: 05/12/2018

Tipo de muestras: Agua Residual Tratada (Coagulación-Floculación+ Filtro) de Curtido, Curtiembre "CURTIPIEL MARTÍNEZ"

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

**TRABAJO DE TITULACION – MUESTRA 2**

Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und	4500-B	6-9	6,7
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	2,05
TDS	mg/L	2540-C	.....	1080
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	5
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	410
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	280
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	.....	0
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	2541
Cromo Hexavalente	mg/L	3500-CrB	0,5	0,043

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

\*\*TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.

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



# LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con acreditación No. OAE LE C 12-006



N° SE: 068-19

## INFORME DE ANALISIS

**NOMBRE:** Lisbeth Daquilema **INFORME N°:** 068- 19  
**EMPRESA:** Proyecto de Tesis ESPOCH **N° SE:** 068 - 19  
**DIRECCIÓN:** Barrio Maestros de Chimborazo **FECHA DE RECEPCIÓN:** 16 - 04 - 19  
**TELÉFONO:** 0982971978 **FECHA DE INFORME:** 22- 04 - 19  
**NÚMERO DE MUESTRAS:** 2, Agua residual tratada, Curtiduría **TIPO DE MUESTRA:**  
**IDENTIFICACIÓN:** MA - 144-19 Filtración Agua residual tratada  
MA - 145-19 Aireación Agua residual tratada

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

### RESULTADO DE ANÁLISIS

MA -144-19

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	9,77	N/A	16 - 04 - 19
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0,043	N/A	16 - 04 - 19

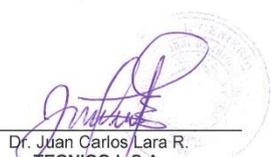
MA -145-19

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
* Cromo total	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	12,03	N/A	16 - 04 - 19
* Cromo hexavalente	mg/l	STANDARD METHODS 3500 - Cr - 3111B	0,069	N/A	16 - 04 - 19

**MÉTODOS UTILIZADOS:** Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 22ª EDICIÓN.

### RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara  
Benito Mendoza T., Ph.D.

  
Dr. Juan Carlos Lara R.  
TECNICO L.S.A.

-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).  
- Los ensayos marcados con (\*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.  
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 1

FMC2101-01

L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 ½ vía a Guano Bloque Administrativo.

## ANEXO H: Caracterización del agua residual de Pelambre tratada (Coagulación-Floculación).



# ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

### LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

#### INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Lisbeth Xiomara Daquilema Sucunota

Fecha de Análisis: 20/02/2019

Tipo de muestras: Agua Tratada de agua Residual de Pelambre (Coagulación-Floculación), Curtiembre "CURTIPIEL MARTÍNEZ"

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

#### TRABAJO DE TITULACION – MUESTRA 1

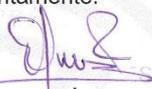
Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und	4500-B	6-9	6,92
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	0,63
TDS	mg/L	2540-C	.....	1700
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	67
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	3800
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	2800
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	.....	0
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	4592
Sulfuros	mg/L	4500-S <sup>-2</sup> -E	0,5	160

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

\*\*TULSMA.

Observaciones:

Atentamente.

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

**ANEXO I: Caracterización del agua residual de Pelambre tratada (Coagulación-Floculación+ Aireación y Filtro).**



**ESPOCH**

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

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

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

**INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS**

Análisis solicitado por: Lisbeth Xiomara Daquilema Sucunota

Fecha de Análisis: 05/03/2019

Tipo de muestras: Agua Tratada de agua Residual de Pelambre (Coagulación-Floculación+ Filtro), Curtiembre "CURTIPIEL MARTÍNEZ"

Localidad: Cantón Riobamba - Provincia de Chimborazo.

**TRABAJO DE TITULACION – MUESTRA 2**

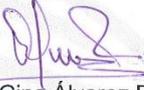
Determinaciones	Unidades	*Método	Limites	Resultados
pH	Und	4500-B	6-9	6,71
Conductividad	mS/cm	2510-B	.....	0,54
TDS	mg/L	2540-C	....	1180
Turbiedad	NTU	2130-B	.....	520
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	5220-C	200	1430
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	5210-B	100	391
Sólidos Sedimentables	mL/L	2540-B	.....	0
Sólidos Totales	mg/L	2540-A	1600	2680
Sulfuros	mg/L	4500-S <sup>-2</sup> -E	0,5	38,4

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

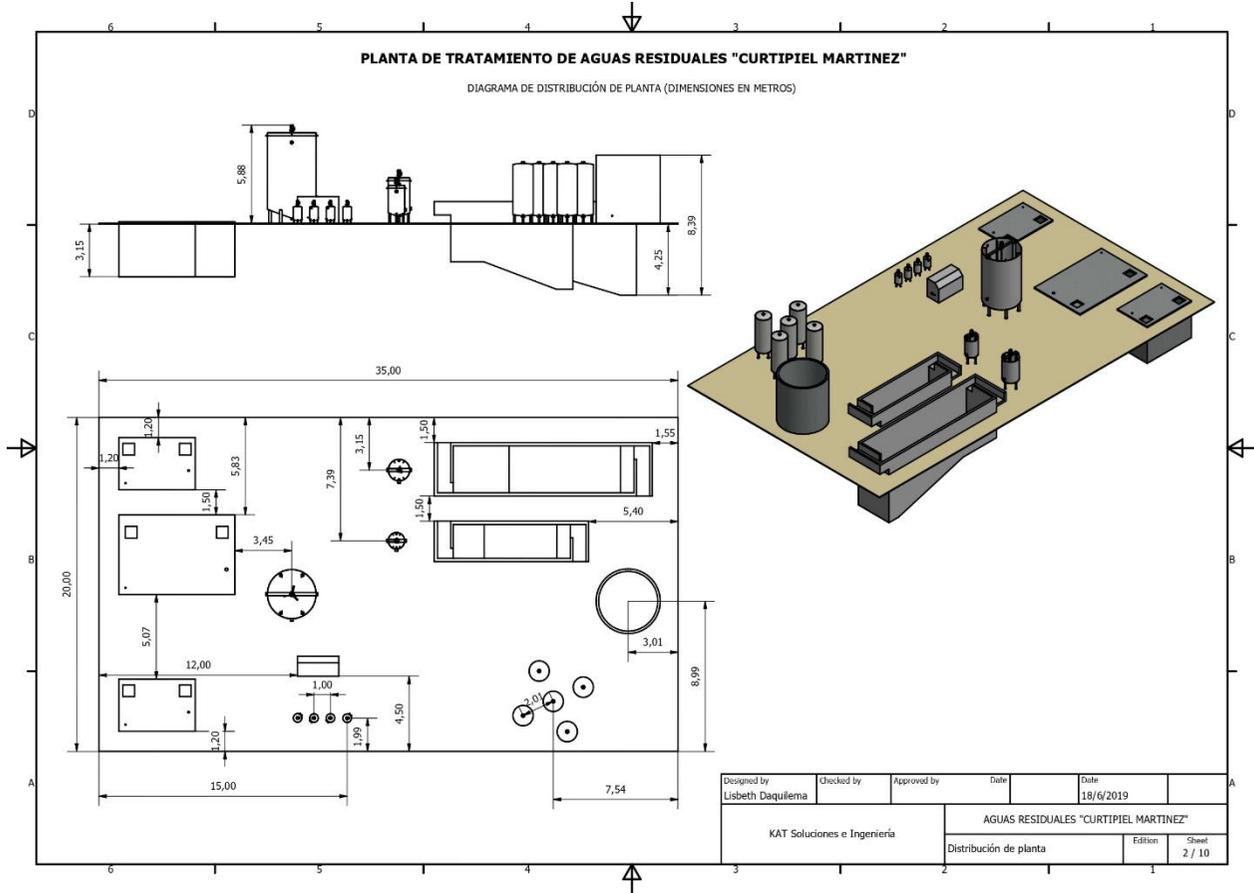
\*\*TULSMA.

Observaciones:

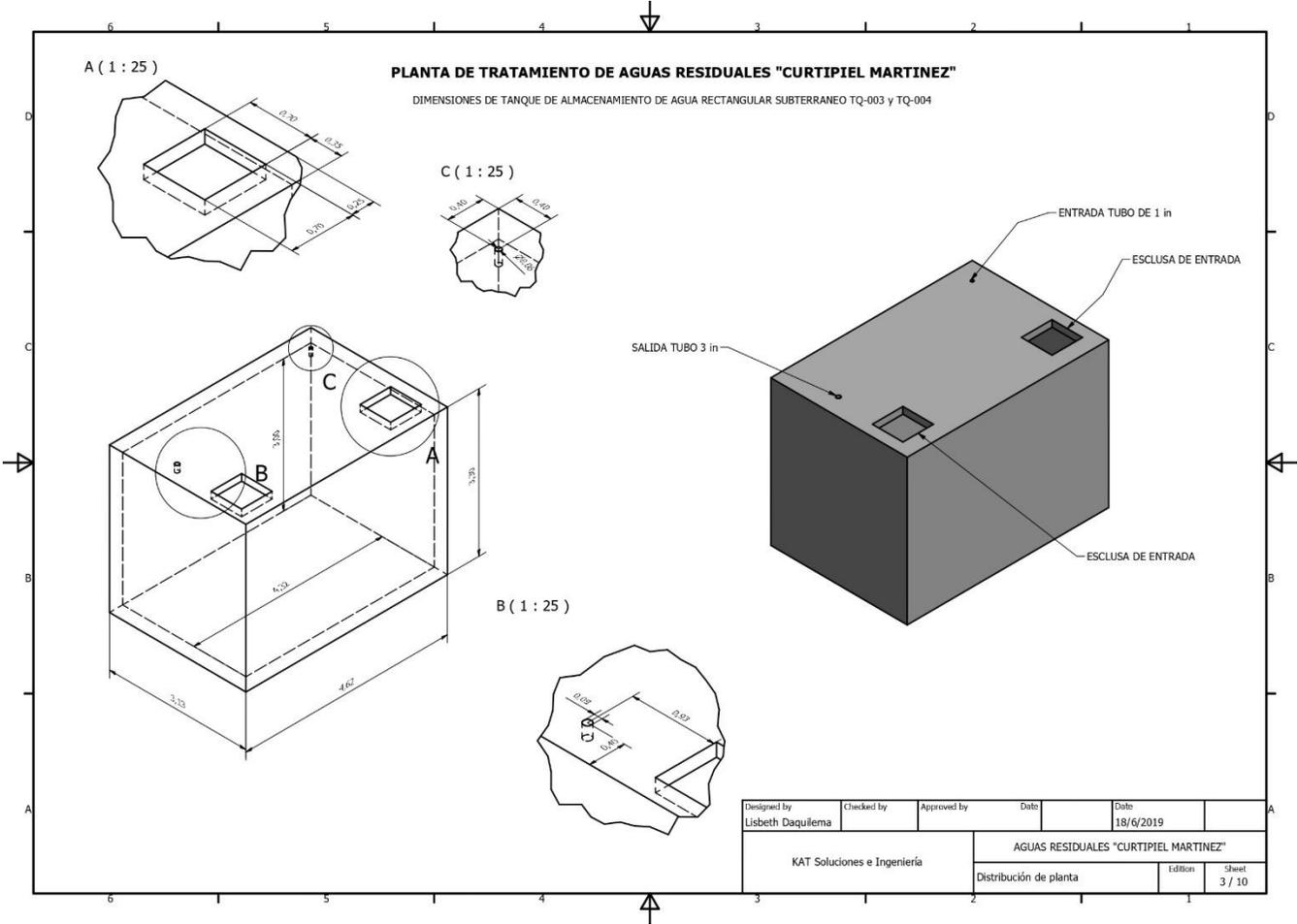
Atentamente.

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

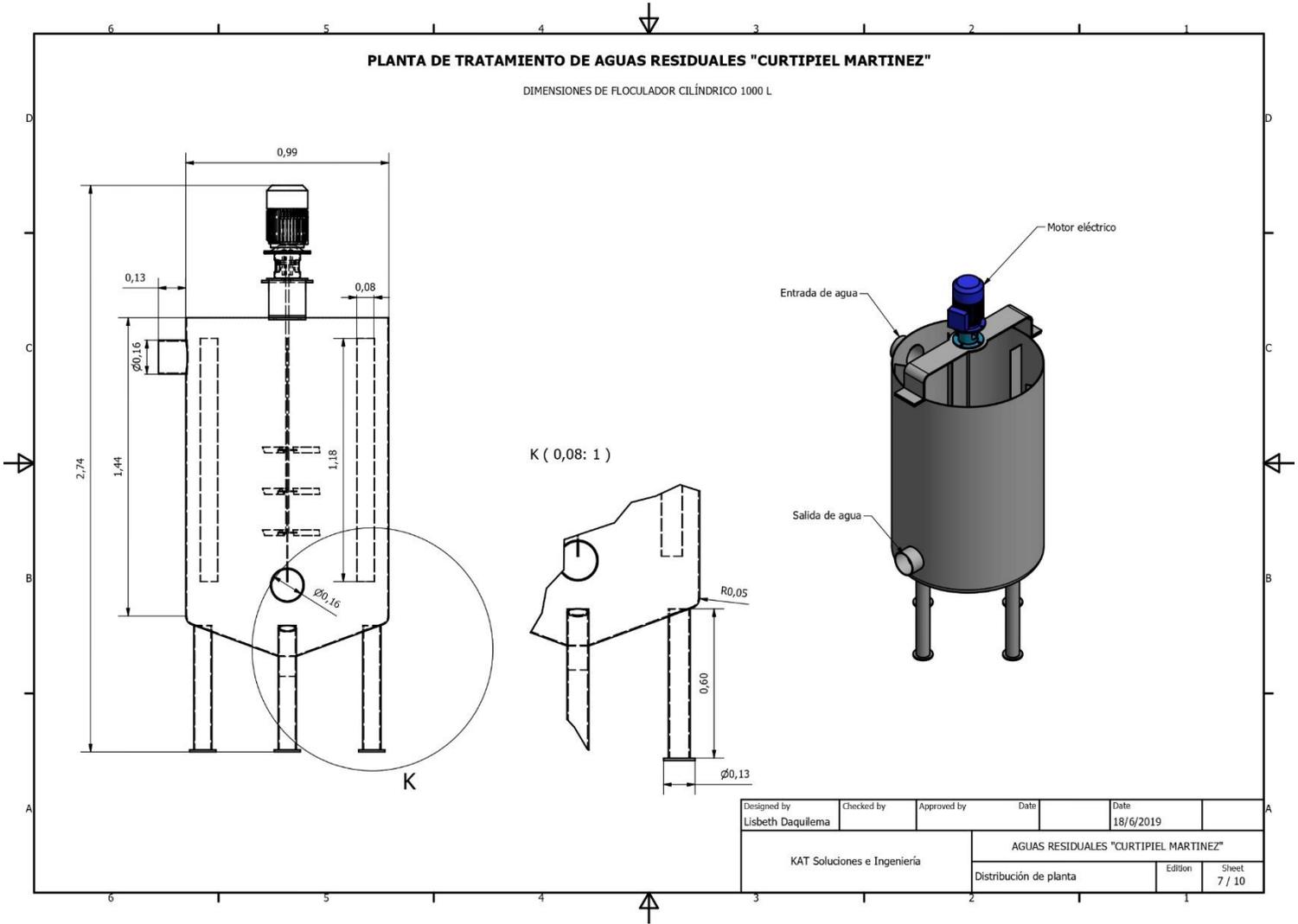
**ANEXO J: Distribución del Rediseño de PTAR**



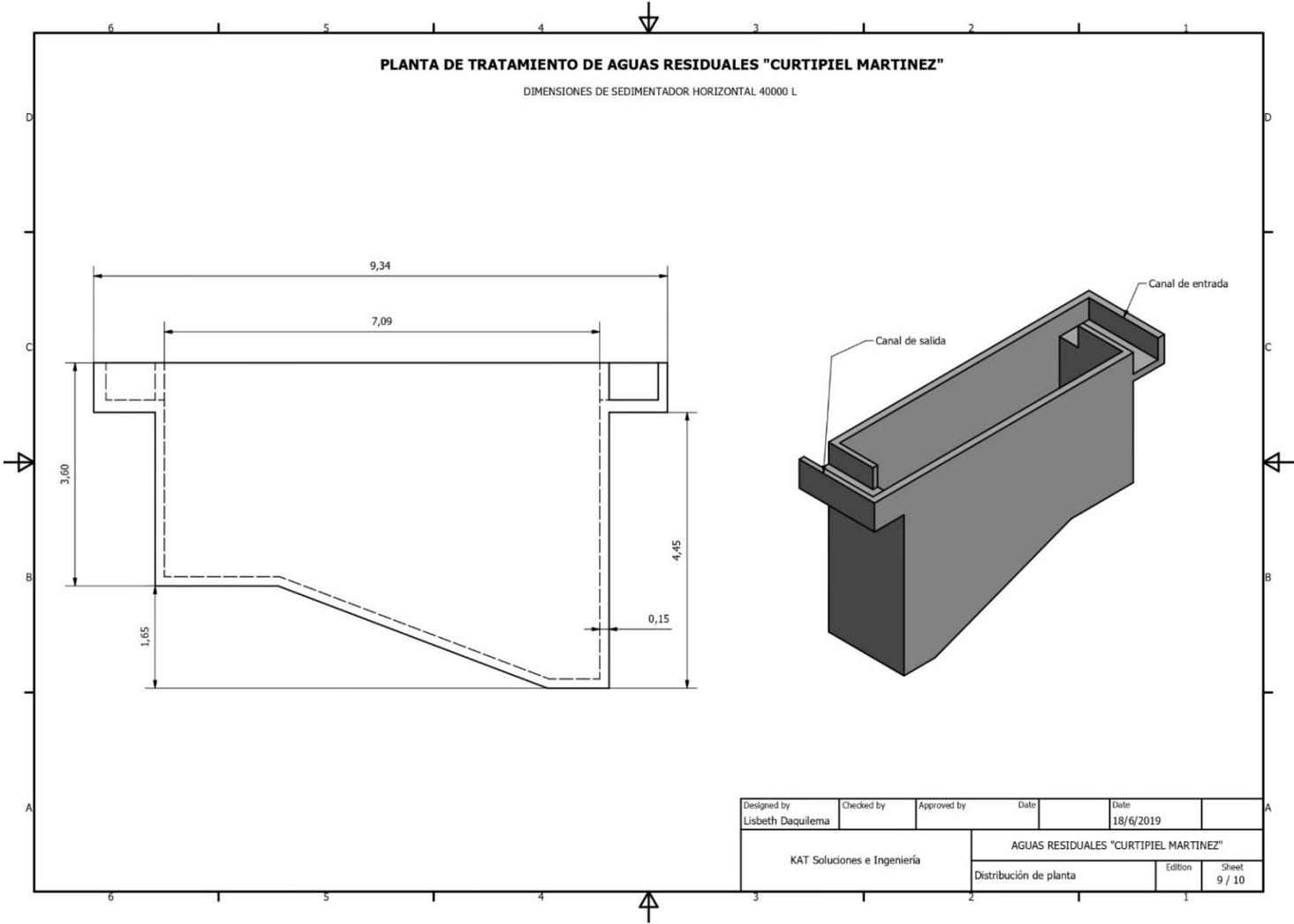
**ANEXO K: Dimensionamiento del tanque de almacenamiento de agua residual.**



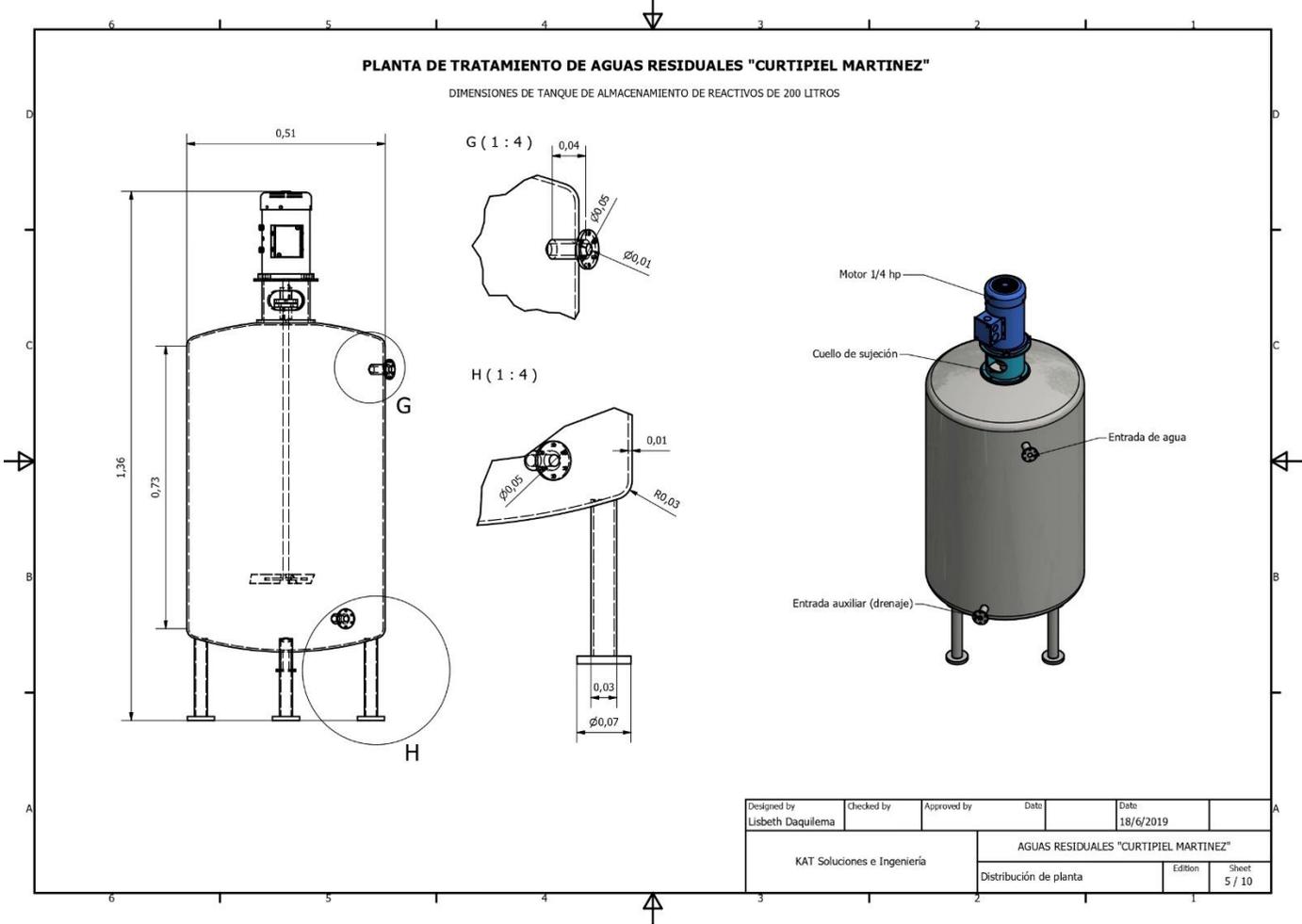
**ANEXO L: Dimensionamiento del Floculador.**



# ANEXO M: Dimensionamiento del Sedimentador Rectangular



**ANEXO N: Dimensionamiento del tanque de almacenamiento de Reactivos.**



# ANEXO O: Descripción de la PTAR del Rediseño

