



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE
LAS ETAPAS RIBERA Y CURTIDO PARA LA TENERÍA SAN JOSÉ”**

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

INÉS PATRICIA BUSTOS MECÍAS

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

Agradezco a todas las personas de espíritu positivo, quienes apostaron por la posible realización de la presente investigación. A la empresa “Tenería San José” por la apertura y apoyo incondicional durante el desarrollo del estudio, en especial al Ing. Mauricio Zurita quien ayudó en la fundamentación y planificación.

Al personal docente de la Escuela de Ingeniería Química por la inducción de conocimientos indispensables para la formación profesional, de manera especial al Dr. Gerardo León director de tesis y al Dr. Edmundo Caluña colaborador, quienes fueron una guía imprescindible durante el avance del presente estudio.

Dedico a mis padres quienes siempre me han apoyado, haciéndose manifiesto con sus consejos y palabras alientas siendo el móvil para avanzar cada día. Gracias por permitirme obtener una carrera profesional

A esa persona de corazón especial que al darme fuerzas permite que el caminar sea más resistible.

NOMBRE

FECHA

FIRMA

Dra. Yolanda Díaz
**DECANA DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS**

.....

.....

Ing. Mario Villacrés
**DIRECTOR DE LA ESCUELA
DE INGENIERÍA QUÍMICA**

.....

.....

Dr. Gerardo León
DIRECTOR DE TESIS

.....

.....

Dr. Edmundo Caluña
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....

.....

Sr. Carlos Rodríguez
**DIRECTOR DEL CENTRO
DE DOCUMENTACIÓN**

.....

.....

HOJA DE RESPONSABILIDAD

“Yo, **INÉS PATRICIA BUSTOS MECÍAS**, soy responsable de las ideas expuestas y propuestas en el presente trabajo de investigación y el patrimonio intelectual de la Memoria de Grado pertenece a la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**”

Patricia Bustos

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

A	Área
A_b	Área entre barras
A_l	Área de la sección transversal del flujo
A_n	Ancho
A_s	Área superficial
A_t	Área de la sección transversal del sedimentador
b	Base
Cl^-	Cloruros
h_1	Altura del canal hasta el nivel de agua
h_c	Pérdida de carga a través de una rejilla
k_d	Coefficiente de degradación endógena
L_g	Largo del sedimentador
L_s	Longitud sumergida de la rejilla
P_w	Potencia necesaria
P_x	Producción diaria neta de fango activado
V_c	Velocidad terminal
Y_{obs}	Producción observada
C_D	Coefficiente de resistencia al avance de las paletas
C_s	Carga superficial
N°	Número de barras
d_{max}	Nivel máximo de agua
θ_c	Tiempo medio de retención celular

∅	Diámetro
C	Grados centígrados
CEPL	Centro Ecuatoriano de Producción más Limpia
cm	Centímetros
CPTS	Centro de Promociones de Tecnologías Sostenibles
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
e	Espesor máximo de las barras
h	Altura
Km	Kilómetro
KW	Kilowatt
m	Metros
MICIP	Comercio Exterior, Industrialización, Pesca y Competitividad
mm	Milímetros
NKT	Nitrógeno Total de Kjeldahl
°Bé	Grados de Baumé
pH	Potencial de hidrógeno
R	Porcentaje de remoción esperado
SS	Sólidos Suspendidos
SST	Sólidos Suspendidos Totales
T	Temperatura
Tn	Toneladas
Trh	Tiempo de retención hidráulico
TULAS	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario

V	Volumen
W	Separación entre barras
X	Concentración de sólidos suspendidos volátiles
Y	Coefficiente de producción celular
β	Factor dependiente de la forma de la barra
E	Eficiencia
G	Gradiente medio de velocidad
P	Potencia necesaria
Q	Caudal
R	Radio hidráulico
S	Concentración de DBO en el efluente
S_0	Concentración de DBO en el afluente
g	Gravedad
n	Coefficiente de Manning
p	Presión
v	Velocidad
δ	Grado de inclinación de las barras
μ	Viscosidad dinámica
π	Pi
ρ	Densidad del fluido
%	Porcentaje

TABLA DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

HOJA DE FIRMAS

HOJA DE RESPONSABILIDAD

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

ÍNDICE DE FOTOS

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE ECUACIONES

ÍNDICE DE ANEXOS

RESUMEN

SUMMARY

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

JUSTIFICACIÓN

OBJETIVOS

1	MARCO TEÓRICO	1
1.1	GENERALIDADES	1
1.2	TENERÍA SAN JOSÉ	2
1.2.1	ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA.....	3
1.3	ETAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN CURTIEMBRES.....	4
1.3.2	PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN EL PROCESO	9
1.3.3	AGUAS RESIDUALES GENERADOS EN CURTIEMBRES	10
1.3.4	CONSUMO DE AGUA EN CURTIEMBRES SEGÚN LAS ETAPAS DE PROCESO... ..	15
1.3.5	CARGA CONTAMINANTE DEL AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRES ..	16
1.4	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	18
1.4.1	PRETRATAMIENTO.....	18
1.4.2	TRATAMIENTO PRIMARIO.....	19
1.4.3	TRATAMIENTO SECUNDARIO	19
1.4.4	TRATAMIENTO Terciario.....	20
1.5	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE.....	20
1.5.1	REJILLA	20
1.5.2	SEDIMENTACIÓN	29
1.5.3	COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN	38
1.5.4	LODOS ACTIVOS	44

1.5.5 SEDIMENTADOR SECUNDARIO.....	54
1.6 NORMATIVA AMBIENTAL	59
1.6.1 CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR	59
1.6.2 LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL	59
1.6.3 TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULAS).....	59
1.6.4 LEY ORGÁNICA DE LA SALUD	60
1.6.5 NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES (IEOS).....	61
1.6.6 INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).....	61
1.6.7 ORDENANZA MUNICIPAL.....	62
2 PARTE EXPERIMENTAL	63
2.1 MUESTREO.....	63
2.1.1 PLAN DE MUESTREO.....	63
2.1.2 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN	64
2.1.3 MANEJO DE LAS MUESTRAS.....	64
2.2 METODOLOGÍA.....	65
2.2.1 RECONOCIMIENTO DE LA PLANTA.....	65
2.2.2 DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA	66
2.2.3 DETERMINACIÓN DEL EFLUENTE DE AGUAS RESIDUALES	67
2.2.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES...	68

2.2.5 MÉTODOS Y TÉCNICAS	68
2.3 DATOS EXPERIMENTALES.....	81
2.3.1 DIAGNÓSTICO.....	81
2.3.2 DATOS.....	82
3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS ETAPAS RIBERA Y CURTIDO PARA LA TENERÍA SAN JOSÉ..	89
3.1 IDENTIFICACIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO	89
3.2 BALANCES DE MASA	94
3.2.1 BALANCE DE MASA DE LA ETAPA DE RIBERA.....	94
3.2.2 BALANCE DE MASA DE LA ETAPA DE CURTIDO.....	97
3.3 CÁLCULOS	101
3.3.1 CÁLCULOS PARA EL CANAL.....	101
3.3.2 CÁLCULOS PARA LAS REJILLAS.....	102
3.3.3 CÁLCULOS PARA EL SEDIMENTADOR PRIMARIO	105
3.3.4 CÁLCULOS PARA EL TANQUE DE FLOCULACIÓN	108
3.3.5 CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS	110
3.3.6 CÁLCULOS PARA EL SEDIMENTADOR SECUNDARIO	114
3.4 RESULTADOS	117
3.4.1 CANAL DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA ETAPA DE RIBERA Y CURTIDO	117

3.4.2 REJILLAS PARA EL CANAL DE RIBERA.....	117
3.4.3 REJILLAS PARA EL CANAL DE CURTIDO.....	118
3.4.4 SEDIMENTADOR CIRCULAR PRIMARIO PARA AGUAS RESIDUALES DE LA ETAPA DE RIBERA	119
3.4.5 SEDIMENTADOR CIRCULAR PRIMARIO PARA AGUAS RESIDUALES DE LA ETAPA DE CURTIDO	120
3.4.6 TANQUE CIRCULAR DE FLOCULACIÓN.....	121
3.4.7 SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS	122
3.5 PROPUESTA	124
3.6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	126
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
4.1 CONCLUSIONES.....	128
4.2 RECOMENDACIONES.....	131

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Insumos y residuos del proceso de producción de cuero	14
Figura 2 Disposición de rejillas de limpieza manual	22
Figura 3 Disposición de rejillas de limpieza mecánica.....	23
Figura 4 Factores de forma B para secciones de barras.....	26
Figura 5 Tanque de sedimentación primaria rectangular.....	31
Figura 6 Tanque de sedimentación primaria circular	32
Figura 7 Diagrama de flujo del proceso de lodos activados	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Productos químicos utilizados en la etapa de Ribera.....	9
Tabla 2 Productos químicos utilizados en la etapa de curtido	10
Tabla 3 Principales consumos de agua por etapas	15
Tabla 4 Carga contaminante de la etapa de Ribera.....	17
Tabla 5 Carga contaminante de la etapa de Curtido	18
Tabla 6 Parámetros de diseño para rejillas de barras de limpieza manual y mecánica ..	28
Tabla 7 Material retenido según aberturas de rejillas	28
Tabla 8 Consideraciones de diseño de decantación primaria	33
Tabla 9 Parámetros de diseño para sedimentadores rectangulares y circulares en el tratamiento primario	33
Tabla 10 Velocidades terminales a caudal medio.....	34
Tabla 11 Velocidades terminales a caudal máximo.....	34
Tabla 12 Tiempo de retención	37
Tabla 13 Valores de las constantes empíricas, a y b a 20 ° C	38
Tabla 14 Coagulantes y Floculantes	39
Tabla 15 Cargas de superficie recomendadas para diversas suspensiones químicas	40
Tabla 16 Parámetros de diseño para floculadores	42
Tabla 17 Datos de sedimentación de SSLM.....	48
Tabla 18 Valores de coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados	50
Tabla 19 Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios	57
Tabla 20 Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	60
Tabla 21 Determinación de la DQO método APHA 5220 D	70

Tabla 22 Determinación de la DBO método APHA 5210B	71
Tabla 23 Determinación de sólidos totales método APHA 2540 B	72
Tabla 24 Determinación de sólidos sedimentables método APHA 2540 B	73
Tabla 25 Determinación de sólidos suspendidos totales método APHA 2540 D.....	74
Tabla 26 Determinación de aceites y grasas método APHA 5520 C	75
Tabla 27 Determinación de cloruros método 4500 Cl ⁻ B	76
Tabla 28 Determinación de nitrógeno total método Kjeldahl.....	77
Tabla 29 Determinación de sulfuros método APHA 4500 S ⁻²	78
Tabla 30 Determinación de cromo total método APHA 3030 B, 3111 B	79
Tabla 31 Determinación de cromo hexavalente método APHA 3111 B, 3030 E	80
Tabla 32 Número de producción de pieles de Ribera y Curtido.....	82
Tabla 33 Consumo de agua de la etapa Ribera para 8460 kg, 450 pieles.....	84
Tabla 34 Consumo de agua para la etapa de Curtido para 2820 kg, 375 pieles	85
Tabla 35 Resultados de análisis físico-químico de la etapa de Ribera	87
Tabla 36 Resultados de análisis físico-químico de la etapa de Curtido.....	88
Tabla 37 Resumen de dimensionamiento de rejillas para la etapa de ribera	118
Tabla 38 Resumen de dimensionamiento de rejillas para la etapa de curtido	119
Tabla 39 Resumen de dimensionamiento del sedimentador primario para la etapa de ribera	120
Tabla 40 Resumen de dimensionamiento del sedimentador primario para la etapa de curtido	121
Tabla 41 Resumen de dimensionamiento del tanque de floculación.....	122
Tabla 42 Resumen del dimensionamiento del sistema de lodos activos	123
Tabla 43 Resumen de dimensionamiento del sedimentador secundario	124

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Relación de producción de pieles y tiempo para la etapa de ribera.....	82
Gráfico 2 Porcentaje de producción de pieles para la etapa de curtido	83
Gráfico 3 Cantidad de efluentes generados por la etapa de ribera para distintos días....	84
Gráfico 4 Cantidad de efluentes generados por la etapa de curtido para distintos días..	86

ÍNDICE DE FOTOS

Foto 1 Muestras de la etapa de Ribera	64
Foto 2 Muestras de la etapa de Curtido.....	65
Foto 3 Toma de alícuotas para muestra compuesta	139
Foto 4 Muestras compuestas de las etapas ribera y curtido.....	139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Diagrama de flujo de la etapa de ribera	90
Ilustración 2 Diagrama de flujo de la etapa de ribera	91
Ilustración 3 Diagrama de flujo de la etapa de curtido	92
Ilustración 4 Diagrama de flujo de la etapa de curtido	93

ÍNDICE DE ECUACIONES

1. Área de canal.....	24
2. Radio hidráulico.....	24
3. Velocidad a la que se transporta el fluido.....	24
4. Área entre barras.....	25
5. Área de la sección transversal del fluido.....	25
6. Número de barras	26
7. Nivel máximo de agua.....	27
8. Longitud sumergida de la rejilla.....	27

9. Pérdida de carga.....	27
10. Área del sedimentador.....	32
11. Área superficial del sedimentador.....	34
12. Área del sedimentador.....	35
13. Relación de área.....	35
14. Relación de área.....	35
15. Ancho del sedimentador.....	35
16. Volumen del sedimentador.....	35
17. Diámetro del sedimentador.....	36
18. Tiempo de retención hidráulico.....	36
19. Área de la sección transversal.....	37
20. Eficiencia de remoción.....	38
21. Área del tanque de floculación.....	40
22. Ancho del tanque de floculación.....	40
23. Longitud del tanque de floculación.....	41
24. Volumen del tanque floculación.....	41
25. Diámetro del tanque floculación.....	41
26. Tiempo de retención hidráulico.....	42
27. Potencia disipada de la mezcla.....	43
28. Área requerida de las paletas.....	43
29. Volumen del reactor	47
30. Eficiencia del sistema de lodos activos.....	48
31. Relación de alimento/microorganismo.....	48
32. Tiempo de retención hidráulica.....	49

33. Producción diaria de lodo.....	50
34. Producción observada.....	50
35. Necesidad y transferencia de oxígeno.....	51
36. Potencia necesaria.....	53
37. Área del sedimentador secundario.....	56
38. Diámetro del sedimentador secundario	56
39. Reparto central.....	56
40. Altura de reparto.....	56
41. Carga de vertedero de salida.....	57
42. Ancho del sedimentador secundario.....	57
43. Longitud del sedimentador secundario.....	58
44. Volumen de sedimentador secundario.....	58
45. Tiempo de retención hidráulica	58
46. Caudal usado en el proceso.....	66
47. Volumen de agua.....	66
48. Volumen utilizado del bombo.....	67

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Vista isométrica del sistema de Tratamiento de aguas Residuales de las etapas de Ribera y Curtido.....	136
Anexo 2 Caudales para la etapa de Ribera tomados por 5 días	137
Anexo 3 Caudales para la etapa de Curtido tomados por 5 días.....	138
Anexo 4 Muestreo para las etapas de Ribera y Curtido.....	139
Anexo 5 Resultados de análisis físico- químicos de la etapa de Ribera.....	140
Anexo 6 Resultados de Sulfuros de la etapa de Ribera	141
Anexo 7 Resultados de análisis físico- químicos de la etapa de Curtido	142
Anexo 8 Planos del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales.....	143

RESUMEN

Se diseñó el sistemas de tratamiento de aguas residuales de las etapas de ribera y curtido para la “Tenería San José” ubicada en la ciudad de Ambato.

Mediante el método deductivo, el estudio empezó por el reconocimiento de la planta, luego se realizó la determinación de los afluentes por el método de aforo y mediante los balances de masa se calculó los efluentes, para la etapa de ribera se obtuvo un caudal de diseño de 37,17 m³/d y para la etapa de curtido 33,92 m³/d.

Posteriormente aplicando el método experimental se obtuvo los resultados de los análisis físico – químicos de las aguas residuales siendo para la etapa de ribera: DBO₅ 3185 mg/L, DQO 1200 mg/L, sólidos totales 29388 mg/L, sólidos sedimentables 100 mg/L, sólidos suspendidos totales 800 mg/L, cloruros 14800 mg/L, sulfuros 495 mg/L, pH 12,7. Y para la etapa de curtido se obtuvo una DBO₅ 726 mg/L, DQO 550 mg/L, sólidos totales 11632 mg/L, sólidos sedimentables 68 mg/L, sólidos suspendidos totales 480 mg/L, cloruros 4200 mg/L, pH 3,8, cromo total 102, 05 mg/L. Los parámetros mencionados se encuentran fuera de los límites permisibles de las normas del TULAS.

Se concluye que los parámetros analizados permitieron determinar los componentes sistemas de tratamiento, el cual constará: rejillas, tanque circular primario de forma individual para las etapas de ribera y curtido; en forma conjunta se dispondrá de un tanque circular de floculación y un sistema de lodos activos.

Recomiendo a la empresa “Tenería San José” que la planta de tratamiento de aguas residuales diseñada sea instalada para manejo y control de la contaminación de los efluentes líquidos descargados al alcantarillado público.

SUMMARY

A wastewater treatment system was developed for the river banks of the San Jose Tannery, located in the city of Ambato. The study, consisted of the deductive method, which initiated with the identification of the tannery followed by an effluent determination of the tributaries by the gauging method and the mass balance calculated for the river bank effluent yielded a 37, 17 m³ flow and a 33,92 m³ flow for the tanning stage. The physical analysis for the river resulted in 3185 mg/L BOD₅, 1200 mg/L COD, 29388 mg/L Total Solids, 100 mg/L Total Dissolved solids, 800 mg/L Total Suspended Solids, 14800 mg/L chlorides, 495 mg/L sulfide, and a 12,7 pH after applying the experimental method. The tanning stage resulted in 726 mg/L BOD₅, 550 mg/L COD, 11632 mg/L Total Solids, 68 mg/L Total Dissolved solids, 480 mg/L Total Suspended Solids, 4200 mg/L chlorides, 102,05 mg/L total chromium and a pH of 3,8. These parameters are outside the permissible limits of the TULAS norms. It is concluded that the analyzed parameters permit to determine the components of the treatment system, which consist of screens and an individual primary circular tank for the river banks and tanning stage which will result in a flocculation circular tank and an active sludge system. It is recommended that the San Jose Tannery design and install a wastewater treatment system for the handling and pollution control of liquid effluents discharged to public sewers.

INTRODUCCIÓN

Las empresas comúnmente se preocupan por proveer productos de calidad dejando a un lado el aspecto ambiental, pues muchas de las veces implica gastos económicos pero en primera instancia es cuestión de conciencia aplicada desde el uso racional de insumos y productos químicos.

El agua es el recurso fundamental para la vida en todas las formas, la misma que lleva consigo una memoria pues es un ser vivo que manifiesta lo que recibe; en la actualidad la mayor parte de empresas produce desechos y efectos adversos en el agua, lo cual se ve reflejado en la disminución de éste recurso.

Tenería San José es una empresa activa y constantemente está actualizando su método de trabajo, actualizando sus fórmulas empleadas en el proceso de producción con productos químicos que sean amigables con el medio ambiente y concientizando a los trabajadores acerca del consumo de agua; por lo que brinda su apoyo para el desarrollo del presente estudio.

El desarrollo de la investigación empezó con una previa visita, fundamentación de las operaciones que realiza determinando la realidad de la empresa y la problemática ambiental, posteriormente se realizó mediciones para determinar el caudal, luego se realizó la toma de muestras compuestas para su caracterización cuyos resultados muestran un elevado grado de contaminación.

La incidencia negativa directa en el agua, es el principal impulso para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.

ANTECEDENTES

Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO), desde 2004 hasta 2007 la producción mundial de cueros bovinos aumentó en un 36%, siendo producción global para el año 2007 de 7.640.474 toneladas métricas de cueros bovinos. Los países mayores productores de cuero a nivel mundial son China, Italia e India.

En Latinoamérica el mayor productor de cuero es Brasil con 75 millones de pies², seguido de Argentina, Colombia, Bolivia, Ecuador, Uruguay, Perú, Chile y Paraguay; países que han ido desarrollando nuevas técnicas para obtener productos de calidad y competitivos. Pero lo más importante los países mencionados anteriormente cuentan con estudios de impacto ambiental al recurso agua para cada realidad; ya que los estándares de calidad para descarga de efluentes son diferentes y cada vez más exigentes debido a la complejidad y alto grado de contaminación que presentan las aguas residuales.

La Unión Internacional de Sociedades de Tecnólogos y Químicos de la Industria del Cuero (IULTCS), junto con otras asociaciones de otros países realiza continuamente Congresos Internacionales en donde promueven a los empresarios de curtiembres el uso de tecnologías limpias, también se tratan sobre propuestas para sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Países como Bolivia, a través del Centro de Promociones de Tecnologías Sostenibles (CPTS) ha realizado estudios minuciosos acerca de las curtiembres y su incidencia en el medio ambiente, promoviendo mediadas de producción más limpia y por medio de la valorización de efluentes líquidos han establecido formas de sistemas de tratamiento para aguas residuales. Además Colombia, por medio de la Asociación Colombiana de Químicos y Técnicos de la Industria del Cuero (ACOLCUR) cuenta con una guía técnica para la protección ambiental debido a la contaminación generada por curtiembres.

Actualmente la mayor parte de las curtiembres ubicadas en los países citados cuentan con plantas de tratamiento para aguas residuales, siendo un ejemplo para que curtiembres de otros países se unan al control de la contaminación.

En Ecuador el 75 % de curtiembres están ubicadas en el cantón Ambato, promoviendo la materia prima para el sector calzado, las curtiembres han iniciado un estudio de Impacto Ambiental con el propósito de controlar la contaminación en los efluentes líquidos ocasionada por el proceso de producción de cuero. Es importante mencionar que curtiembres como: Quisapincha, Tungurahua, cuentan con plantas de tratamiento de acuerdo al proceso y volumen de producción; otras curtiembres como la Tenería Díaz cuentan con estudios de plantas de tratamientos de aguas residuales.

Así, Tenería San José ha ido fundamentando medidas de manejo ambiental, desarrollando un sistema de recirculación de aguas de pelambre y controlando los procesos de producción. Actualmente brinda el apoyo para el desarrollo del presente estudio.

JUSTIFICACIÓN

Entidades ambientales han unido esfuerzos para controlar la contaminación generada por las diferentes industrias ubicadas en el cantón Ambato, la Cooperativa de Producción de Curtidores Artesanales de Tungurahua (COPROCAT) realizó las jornadas ambientales asociativas tanto para pequeños como medianos curtidores, se trató sobre producción más limpia y plantas de tratamiento de aguas residuales; con ello se logró crear conciencia acerca de la importancia del conocimiento y ejecución de planes de manejo ambiental.

Las aguas residuales como producto del proceso de producción de las curtiembres contienen un elevado nivel de contaminación como materia orgánica, restos de sulfuros, cal, pelo destruido, cromo trivalente; estos contaminantes elevan los valores de DBO_5 y DQO. Y al ser descargadas sin un previo tratamiento ocasionan un elevado impacto ambiental a otros cuerpos de agua, vida acuática y volviéndose inutilizable por el elevado grado de contaminación.

En base a los análisis físico - químicos de las aguas provenientes de las etapas de ribera y curtido, se encontró que los parámetros de descarga de las aguas residuales están fuera de límites de acuerdo al TULAS. Razón por lo cual, por medio del siguiente estudio se da una alternativa de sistema de tratamiento para las aguas residuales generadas por la Tenería San José, de manera que las aguas residuales al ser tratadas disminuyan el grado de contaminación y cumplan con lo establecido en la norma.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales de las etapas ribera y curtido de la Tenería San José.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los parámetros físicos-químicos de las aguas residuales de ribera y curtido de la Tenería San José.
- Definir las especificaciones necesarias que permitan un adecuado diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Obtener a nivel de laboratorio los parámetros de diseño.
- Dimensionar la planta de tratamiento de la empresa.

CAPÍTULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 GENERALIDADES

El curtido de pieles constituye el tercer eslabón de la cadena productiva de cuero, dando paso a su manufactura y obteniendo productos como calzado y artículos de marroquinería. Según estudios realizados por el CEPL en base a datos del MICIP las curtiembres se ubican en cuatro provincias del Ecuador: Tungurahua, Pichincha, Azuay y Cotopaxi; siendo la provincia de Tungurahua, cantón Ambato en donde se concentran el 75% de las curtiembres.

Encuestas realizadas por Centro de Promoción de Exportaciones e Inversiones (CORPEI) encontró que el 44% de la producción de calzado se ubica en Tungurahua, una de las empresas de mayor producción de calzado es Plasticaucho S.A. con 3500 pares de zapatos de cuero diarios, además en la ciudad de Ambato se encuentran alrededor de 15000 talleres de manufactura artesanal de calzado con productos de elevada durabilidad y resistencia; ubicadas en parroquias rurales del cantón Ambato como Ambatillo, Quisapincha, Atahualpa, Huachi, Izamba, Martínez, Picaihua, Cevallos y Totoras.

La producción de calzado para el año 2009 fue de 10 millones de pares de zapatos, razón por la cual en el V Foro Latinoamericano del Calzado la ciudad de Ambato fue asignada como la capital mundial del calzado.

“El sector de cuero y calzado se ha constituido en una importante generación de fuentes de empleo representando el 3,8% a nivel nacional”¹, convirtiéndose en el sustento indispensable de familias ecuatorianas.

1.2 TENERÍA SAN JOSÉ

Tenería San José inicia su producción en el mes de febrero de 1979, logrando mantenerse firme y entusiasta, frente a éxitos y fracasos que la empresa ha pasado en estos últimos años.

“Acontecimientos importantes han sucedido durante la trayectoria del desarrollo de la empresa: un incendio en el área de acabados en 1982, un premio Internacional a la Calidad logrado en Brasil en 1985, fallecimiento de su inspirador en 1989, renovación de maquinaria en el año 1993 y logra completar su equipo en 1996.”²

Tras un arduo trabajo asume metodológicamente el reto de la “Cultura de Calidad”, permitiéndole ser competitivo a nivel nacional e internacional, y es parte de su desafío el mejoramiento continuo de calidad total, para dar a sus clientes un producto de confiable.

¹Comercio Exterior, Industrialización, Pesca y Competitividad.

² Identidad Corporativa., Presentación Tenería San José., 2000

La empresa se dedica al procesamiento de pieles para la fabricación de artículos como: napas, softys, prada, nubucks y plena flor abatanados, siendo su producción mensual aproximadamente de 2400 pieles.

1.2.1 ASPECTOS GENERALES DE LA EMPRESA

▪ UBICACIÓN

Provincia de Tungurahua, Cantón Ambato, Parroquia Izamba, Panamericana Norte – Km 4 ½.

▪ MATERIA PRIMA

Utilizan comúnmente pieles de ganado vacuno serrano en estado salado, que provienen de Centros de Faenamiento de Ambato y Riobamba.

▪ SERVICIOS BÁSICOS

- **Energía:** es suministrada por la Empresa Eléctrica de Ambato S.A., siendo la demanda máxima de energía de 300KW, Voltaje 220 y 380 V.
- **Acueducto:** el agua potable se utiliza para el departamento administrativo la misma que provee la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado, para el proceso de producción de cuero se usa agua de acequia.

- **Telefónica:** servicio a través de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones S.A.

▪ **SISTEMA DE TRABAJO**

La empresa labora bajo un sistema tipo bach o por lotes, en donde el lote inicial pasa por una serie de etapas hasta convertirse en el producto final; la empresa produce aproximadamente 2460 pieles mensuales.

1.3 ETAPAS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN EN CURTIEMBRES

Las curtiembres comúnmente usan pieles de ganado vacuno saladas o frescas, sin embargo la transformación de las pieles en cuero constituyen varias etapas, siendo las más comunes para piel de ganado vacuno: ribera, curtido, teñido y acabado.

El presente estudio se basa en las etapas de ribera y curtido las mismas que serán detalladas a continuación:

1.3.1.1 RIBERA

Consiste en la preparación y acondicionamiento de las pieles, provenientes de los saladeros, las mismas que son sometidas a varias etapas para dar a las pieles un adecuado grado de humedad e hinchamiento para penetración de los productos químicos.

a) RECEPCIÓN DE PIELES

Las pieles son llevadas desde los saladeros a las curtiembres para ser procesadas, al llegar a la curtiembre son apiladas en montones diferentes de acuerdo al proveedor, luego son clasificadas tomando en cuenta: tamaño, presencia de garrapatas, cortes, tupe y cicatrices. Posteriormente las pieles saladas se pesan para elaborar la fórmula a usarse.

b) LAVADO

Las pieles se cargan en los bombos, y se les somete a un lavado para retirar la sal, sangre, suciedad, estiércol y microorganismos que se encuentran adheridas a las pieles; por lo que es necesario efectuar dos lavados.

c) REMOJO

Es un paso determinante para la hidratación de las pieles, ya que por medio del tratamiento con agua junto con hidróxido de sodio y tensoactivos, las pieles adquieren flexibilidad y morbidez. Para evitar el ataque bacteriano se usa bactericida y con un estricto control de pH.

Al término del proceso se verifica el pH que oscila generalmente entre 9 - 10 y a su vez los grados de Baumé (°Bé) que se encuentra entre 1,0 - 2,0.

d) PELAMBRE Y CALERO

Las pieles son tratadas con agente depilatorio orgánico, cal y sulfuro de sodio, para remover el pelo y la epidermis dando lugar al cuero en tripa. Se logra abrir la estructura de las pieles con un hinchamiento por el sulfuro de sodio y así puedan impregnar otros

químicos de las etapas posteriores, éste químico es un agente depilante, siendo una sal de ácido muy fuerte y base fuerte dando soluciones de pH alto superior a 12. Además el sulfuro de sodio permite la saponificación de las grasas.

Por el hidróxido de calcio (cal apagada) se frena el hinchamiento de las pieles; éste producto químico mantiene el pH alcalino permitiendo el ataque químico hacia todas las fibras de colágeno y raíces de pelo.

Al siguiente día se drena el baño anterior, y se lava el cuero en tripa para disminuir sulfuros y cal.

Entre los factores que deben ser controlados para un pelambre eficiente son: la temperatura, cantidad de baño, efecto mecánico, tiempo, productos químicos, pH y un adecuado remojo.

e) DESCARNADO

Se ejecuta en forma mecánica y se desprende restos de músculos, grasas y epidermis se genera el sebo como residuo. A continuación se retira de forma manual los bordes de la piel y luego son seleccionadas dependiendo del artículo final que se desee obtener, pues si es para nubuck no se divide.

f) DIVIDIDO

Se separa la flor de la carnaza mecánicamente por medio de cuchillas, con un previo ajuste de acuerdo al calibre que se requiera; se obtiene la flor la cual continúa la etapa

de curtido, y como residuo se obtiene la carnaza que se ocupa como materia prima para la elaboración de la gelatina.

1.3.1.2 CURTIDO

Constituyen varios pasos en donde el cuero en tripa reacciona con productos químicos para estabilizar su composición orgánica y evitar descomposición, obteniéndose el cuero azul.

a) PRIMER LAVADO

Se adiciona tensoactivo, sulfato de amonio, y bisulfito de sodio para eliminar restos de sulfuros y cal que se encuentren adheridas a la piel.

b) DESENCALADO

Permite la eliminación de la cal que se encuentra combinada con la piel y en los espacios interfibrilares, deteniendo el deshinchamiento de las pieles; además se ajusta el pH para el proceso de purga; mediante sulfato de amonio, sulfito de sodio, tensoactivos y descalcificante añadidos al mismo baño anterior. Es importante controlar el pH del baño y del corte el mismo que debe oscilar entre 7,5 – 8,5.

c) PURGADO

Se emplean sistemas enzimáticos para el aflojamiento de fibras de colágeno y degradación de las grasas naturales. La intensidad del purgado dependerá del artículo

final que se desee obtener. Luego se drena el baño anterior y se realiza un lavado para eliminar enzimas.

d) PIQUEL

Se adicionan ácido sulfúrico, ácido fórmico, los cuales aportan sus protones para el enlace con los grupos carboxílicos, de manera que el curtiente se fije en la parte superior de la piel.

También se adiciona sal para contención del hinchamiento ácido de la piel, los cuales interrumpen las reacciones enzimáticas del purgado y preparan al cuero para el curtido y se realiza un control de pH que varía entre 2,7 - 3.

e) CURTIDO-LAVADO

Se utilizan sales de cromo, el cual es un curtiente mineral que da al cuero una calidad uniforme, elasticidad y tacto; dando lugar al cuero azul, comúnmente conocido como wet blue. Además se adiciona un basificante que aumenta el pH del baño entre 3,6 - 3,9.

f) ESCURRIDO

Se ejecuta en forma mecánica para quitar el exceso de agua y estirar las partes arrugadas del cuero azul, seguidamente se corta por la mitad el cuero obteniéndose dos bandas, las cuales son clasificadas de acuerdo a los defectos y su incidencia en el área de la falda del cuero.

g) REBAJADO

Consiste en reducir el calibre del cuero hasta obtener un espesor uniforme, según la clasificación; en ésta operación se genera como desecho virutas de cromo.

1.3.2 PRODUCTOS QUÍMICOS UTILIZADOS EN EL PROCESO

En el proceso de curtido de pieles se emplean diferentes productos químicos, cada uno cumple una función específica que en conjunto dan lugar a la transformación de la piel en cuero, debido a la complejidad de los productos químicos sus remanentes en los efluentes aumentan el índice de contaminación. Dentro de los cuales los productos de mayor contaminación en los efluentes líquidos se encuentran, el sulfuro de sodio, cal y sobre todo el cromo que es considerado un producto tóxico.

Tabla 1 Productos químicos utilizados en la etapa de Ribera

Operaciones	Productos Químicos
Remojo	- Enzima - Bactericida - Humectante - Hidróxido de sodio
Pelambre	- Cal - Sulfuro de sodio - Depilante orgánico

Fuente: El autor

Tabla 2 Productos químicos utilizados en la etapa de curtido

Operaciones	Productos Químicos
Lavado	- Tensoactivo - Sulfato de amonio - Bisulfito de sodio
Desencalado – purgado	- Sulfato de amonio - Tensoactivo - Enzima - Bisulfito de sodio - Desencalante
Piquel	- Sal - Ácido Fórmico - Blanqueante - Ácido Sulfúrico
Curtido	- Cromo
Basificado	- Basificante

Fuente: El autor

1.3.3 AGUAS RESIDUALES GENERADOS EN CURTIEMBRES

El análisis de las aguas residuales permite cuantificar la presencia de impurezas disueltas en el agua, propiedades físico químicas, como el pH, y materia orgánica contenida en el agua; estableciendo de ésta forma la complejidad en cuanto al grado de contaminación del agua residual analizada.

1.3.3.1 SÓLIDOS

Se generan en las diferentes operaciones del proceso de producción, en la etapa de ribera los efluentes contienen suciedad, sangre, estiércol; una de las operaciones con

elevado grado de contaminación es el pelambre cuyos efluentes contienen pelo destruido, aumentando la presencia de sólidos en las aguas residuales.

La cal es un producto químico empleado en la operación de pelambre, es poco soluble en agua, y debido a que se emplea en grandes cantidades aumentan los sólidos suspendidos en las aguas residuales.

Los productos químicos intervienen en todas las etapas del proceso de producción de cuero, los cuales un porcentaje considerable contienen los efluentes eliminados de las curtiembres aumentando la presencia de sólidos.

1.3.3.2 pH

En el proceso de curtido el pH es muy variante, en la etapa de ribera por el sulfuro y la cal el pH de los efluentes se encuentra entre 11 a 12, luego baja drásticamente a un pH ácido en la etapa de curtido que oscila entre 3,6 - 3,9 dependiendo del producto que se emplee. La variación de pH en los efluentes afecta de forma significativa a la vida acuática.

1.3.3.3 CROMO

En la operación de curtido mineral se emplean sales de cromo trivalente, siendo en agente más usado el sulfato básico de cromo trivalente, y presenta un contenido de óxido de cromo del 20 – 25 %. Dicha sal se fija solo del “60 - 80% el resto se elimina en los efluentes líquidos aumentando su toxicidad por ser un metal pesado.”³

³ Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS)., 2003., Pp. 30

1.3.3.4 CLORUROS

Para conservación de las pieles son saladas con cloruro de sodio, en el remojo y lavado de las pieles los efluentes contienen grandes cantidades de cloruros, según estudios realizados por el Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles el 60% de cloruros presente en las aguas residuales proviene de la sal usada en la conservación de las pieles y el 40% restante proviene del piquelado y curtido.

La alta solubilidad del cloruro de sodio dificulta su eliminación de los efluentes líquidos.

1.3.3.5 NITRÓGENO TOTAL

La presencia de pelo en los efluentes del pelambre aumenta el nitrógeno orgánico de los efluentes ya que comúnmente se usa un proceso de destrucción del pelo, lo cual tiene una mayor incidencia en la contaminación de los efluentes.

El nitrógeno amoniacal se debe a las fermentaciones anaeróbicas de las proteínas, además en la operación de desencalado se emplea sulfato de amonio aumentando la presencia de nitrógeno amoniacal; su presencia puede ocasionar el crecimiento acelerado de plantas acuáticas.

1.3.3.6 SULFUROS

En la operación de pelambre se usa sulfuro de sodio para eliminación del pelo, el cual, en medio ácido desprende ácido sulfhídrico generando un olor desagradable similar a huevo podrido, en alta concentración es muy tóxico y tiene un elevado poder corrosivo.

1.3.3.7 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

Se debe a la presencia de los diferentes constituyentes orgánicos de la piel como grasas, proteínas, sangre, pelo los cuales aumentan considerablemente la carga de DBO₅.

1.3.3.8 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO

En las operaciones de lavado tanto para pelambre como curtido se emplean humectantes y tensoactivos, los cuales incrementan la presencia de DQO en los efluentes, también lo hacen los ésteres o ácidos orgánicos débiles empleados comúnmente en el desencalado.

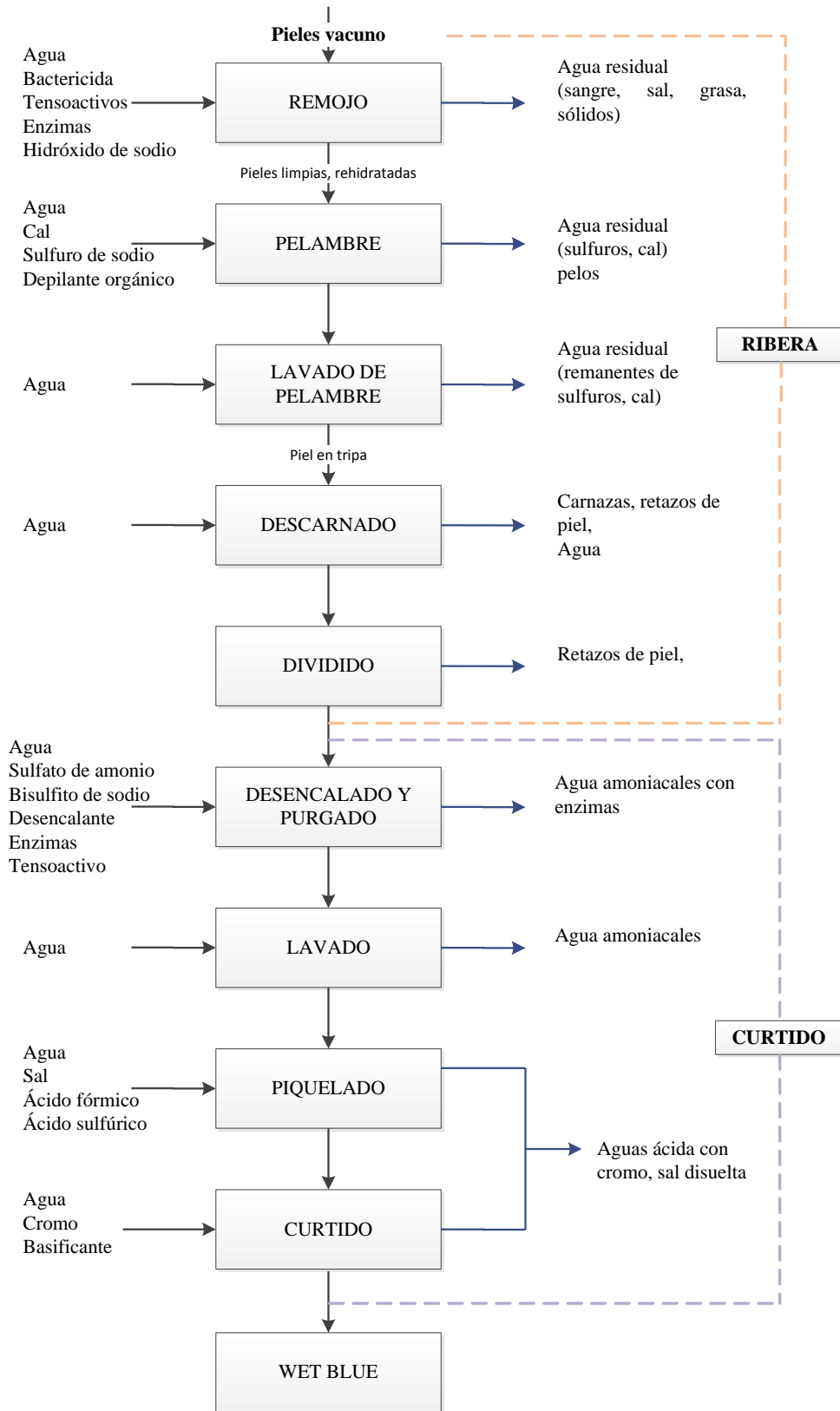
“Del 100% de los productos químicos empleados, sólo el 15% es retenido en el cuero mientras que el 85% se elimina en el efluente líquido,”⁴ lo que muestra la elevada complejidad y contaminación de los efluentes provenientes de las curtiembres.

1.3.3.9 GRASAS Y ACEITES

En la operación de pelambre se da lugar a la saponificación de las grasas por el sulfuro de sodio, siendo eliminados en los efluentes líquidos y aumentando la materia orgánica; en el desencalado sus efluentes contienen restos de grasas. Las grasas y aceites se presentan en forma de materia flotante y generan mal olor.

⁴ Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS), 2003., Pp.35

Figura 1 Insumos y residuos del proceso de producción de cuero



Fuente: Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS), 2003, pág 21.

1.3.4 CONSUMO DE AGUA EN CURTIEMBRES SEGÚN LAS ETAPAS DE PROCESO

Las curtiembres emplean como insumo principal el agua en todas sus etapas, siendo de principal preocupación ya que al ser descargados junto con restos de productos químicos generan aguas residuales altamente contaminantes.

La etapa de ribera consume aproximadamente el 50% de agua de todo el proceso de producción, pues sus operaciones incluyen extensos lavados aumentando el consumo.

A continuación se muestran valores de consumo de agua correspondientes a las diferentes etapas, cabe recalcar que los valores van a diferir de una empresa a otra, ya que están en función de la materia prima, proceso y tiempo empleado.

Tabla 3 Principales consumos de agua por etapas

Etapa	Unidades	
	m ³ de agua/Tn piel fresca	m ³ de agua/Tn piel salada
Ribera (hasta la purga)	19,5 - 27	7 - 25
Curtido	3,6 - 5	1 - 3

Fuente: Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS), 2003, pág 34.

1.3.5 CARGA CONTAMINANTE DEL AGUA RESIDUAL DE CURTIEMBRES

1.3.5.1 ETAPA DE RIBERA

El 50% de los efluentes líquidos generados en el proceso de la curtiembre provienen de la etapa de ribera y constituye la etapa más contaminante, específicamente la operación de pelambre.

Las pieles saladas al someterlas a un lavado producen efluentes con altos contenidos de cloruros, sangre, estiércol, sebo, presentándose un remanente de los mencionados contaminantes en los efluentes del remojo los cuales elevan la DBO₅.

En la operación de pelambre se usa sulfuro de sodio cuyos efluentes contienen altos niveles de sulfitos alcalinos, que al encontrarse en condiciones alcalinas causan poca incidencia ambiental; pero al ser descargados al sistema de alcantarillado y disminuir el pH se forma el sulfuro de hidrógeno, gas tóxico; que a su vez pueden causar corrosión y averías en las alcantarillas.

Además el sulfuro de sodio al ser un producto altamente alcalino eleva el pH de los efluentes generalmente mayores a 11.

Tabla 4 Carga contaminante de la etapa de Ribera

Parámetro	Remojo (kg/ton de cuero crudo)	Pelambre (kg/ton de cuero crudo)
SS	11 - 21	53 - 97
DQO	22 - 33	79 - 122
DBO ₅	7 - 11	28 - 45
NKT	1 - 2	6 - 8
Cloruros	133 - 186	5 - 10
Sulfatos	1 - 2	1 - 2
Sulfuros	-	4 - 9

Fuente: Dirección de Producción Limpia y Consumo Sustentable, DPLyCS, Argentina, 2007

a) ETAPA DE CURTIDO

Del desencalado la carga de cal en el efluente puede causar depósitos y producir incrustaciones en las tuberías de desagüe; los desechos de la etapa de curtido contienen curtientes, sales de sodio y ácidos orgánicos e inorgánicos; debido a los ácidos empleados dan lugar a aguas residuales con pH entre 2,7 - 4,0; el efluente del curtido presenta del 20 – 40% de sales de cromo.

Tabla 5 Carga contaminante de la etapa de Curtido

Parámetro	Desencalado (kg/ton de cuero crudo)	Curtido (kg/ton de cuero crudo)
SS	8 - 14	5 - 10
DQO	13 - 20	7 - 11
DBO ₅	5 - 10	2 - 4
NKT	3 - 5	0,6 - 0,9
Cloruros	2 - 4	40 - 60
Cromo III	-	2 - 5
Sulfatos	10 - 26	30 - 55

Fuente: Dirección de Producción Limpia y Consumo Sustentable, DPLyCS, Argentina, 2007

1.4 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

De acuerdo al grado de contaminación de las aguas residuales, se considera los tipos de tratamiento para tratar el agua residual; para lo cual es necesario conocer la carga contaminante de los parámetros más relevantes. Además de la complejidad de las etapas de tratamiento empleadas dependerá el destino que se le vaya a dar al agua tratada.

1.4.1 PRETRATAMIENTO

Incluyen operaciones físico-mecánicas destinadas a eliminar sólidos gruesos, arenas; disminuyendo materia en suspensión que puedan afectar en las etapas posteriores del sistema de tratamiento provocando daños en tuberías, válvulas.

Las operaciones de pretratamiento constan de desbaste, tamizado, dilaceración, desarenado, desengrasado.

1.4.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

Se usa tratamientos físicos o físicos químicos para remover materiales sedimentables, mediante procesos como decantación, floculación-coagulación y precipitación.

La decantación permite la eliminación de sólidos en suspensión por diferencia de densidades, la coagulación-floculación trata partículas coloidales mediante reactivos químicos adecuados. Finalmente la precipitación elimina metales pesados por la adición de reactivos apropiados.

1.4.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Consiste en procesos biológicos para convertir la materia orgánica soluble y de partículas coloidales, en sólidos sedimentables floculentos que puedan separarse en tanques de sedimentación secundaria.

Puede ser mediante procesos aeróbicos, siendo el más común, de lodos activados, en donde intervienen microorganismos facultativos que en presencia de oxígeno metabolizan la materia orgánica, ideal para tratamiento de aguas con carga orgánica leve.

Otro tipo de procesos son los anaeróbicos para tratar efluentes con alta carga orgánica, empleando bacterias específicas para degradar la materia orgánica en ausencia de oxígeno, produciendo metano.

1.4.4 TRATAMIENTO TERCIARIO

Mediante procesos físicos y químicos se eliminan contaminantes específicos como: minerales, fósforo; hay procesos como adsorción que utilizan carbón activado para fijar en su superficie ciertos compuestos presentes en los efluente a tratar. Además, dependiendo de la complejidad del efluente se emplean otros procesos como: intercambio iónico, ultrafiltración, electrodiálisis, oxidación-reducción, desinfección, entre otras.

1.5 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA CURTIEMBRE

1.5.1 REJILLA

Constituyen un acondicionamiento previo a la planta ya que separan sólidos de gran tamaño que puedan interferir en las etapas posteriores del sistema de tratamiento, como obstruyendo tuberías y dañando equipos. La instalación de estos equipos físicos es necesaria para aumentar la eficiencia del sistema de tratamiento.

La operación física consiste en hacer pasar el agua residual por el sistema de rejillas, las mismas que deben tener aberturas de cierta dimensión de acuerdo al sólido a que se vaya a retener.

Las rejillas pueden ser de limpieza manual o mecánica, pueden estar en función a la separación entre barras finas o gruesas, también de acuerdo a la inclinación de la reja:

horizontales, verticales, inclinadas y curvas. Incluso hay ciertos tipos de rejillas que pueden estar dispuestas en forma fija o móvil.

“Las aberturas entre barras para rejillas gruesas se encuentran entre 4 y 8 o 9 cm están fabricados de mallas metálicas de acero, mientras que para las rejillas finas tienen aberturas de 0,5 cm o menos.”⁵

1.5.1.1 REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL

De acuerdo a las normas IEOS las barras deberán tener una longitud máxima de 2m y el ángulo que forman con la horizontal debe ser de máximo 60°, de manera que se consiga una adecuada y fácil limpieza. Cuando el peso de la rejilla sea mayor de 50 kg deberá disponer de un sistema elevador.

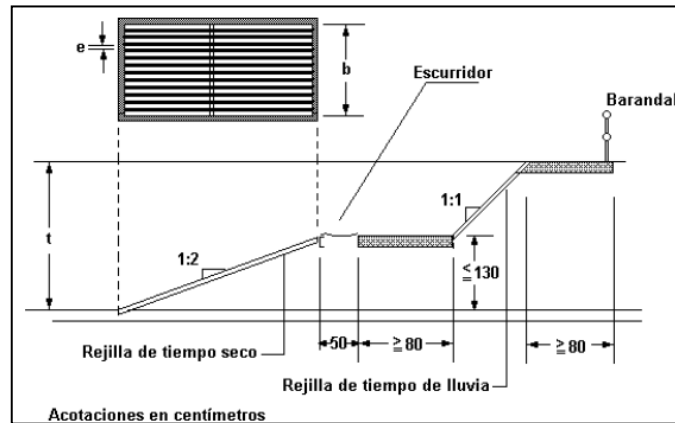
Es necesario que en este tipo de rejillas se retire cada cierto tiempo el material sólido acumulado, ya que la pérdida de carga aumenta a medida que se presenta una mayor obturación; para la disposición de los sólidos extraídos se debe contar con una bandeja de drenaje en la parte superior de la rejilla.

“Las barras que conforman la reja llegan a tener máximo 10 mm de anchura por 50 mm de profundidad, se considera propicio un canal recto y perpendicular a la reja, de manera que se consiga una distribución uniforme de los sólidos en el flujo y en la reja.”⁶

⁵ RAMALHO, R., Tratamiento de Aguas Residuales., 1983., Pp. 92

⁶METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995., Pp. 510

La velocidad de aproximación debe ser de $0,45 \text{ m/s}$ para que haya una mayor superficie de contacto del agua con la rejilla.



Fuente: VALDEZ, E., Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de las aguas residuales., Unidad 2.3

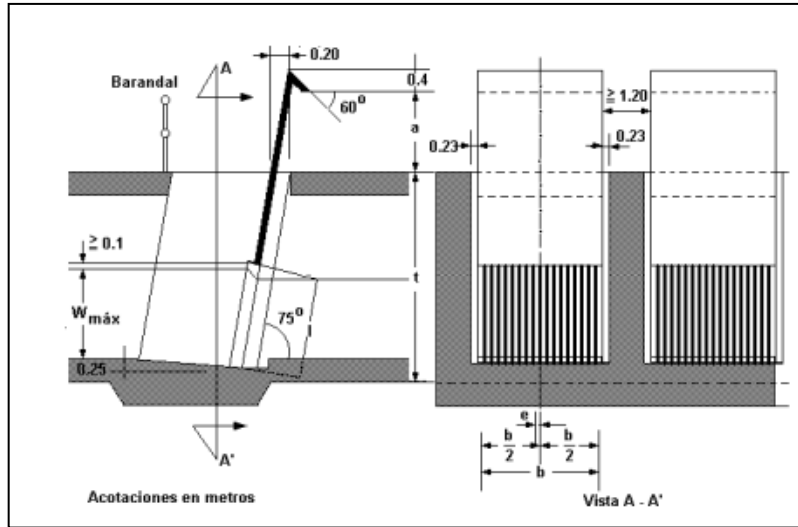
Figura 2 Disposición de rejillas de limpieza manual

1.5.1.2 REJILLAS DE LIMPIEZA AUTOMÁTICA

Éste tipo de rejillas tienen inclinaciones de 60 a 90° , la activación de limpieza puede ser programada o por un electrónivel antes de la rejilla.

“Las normas IEOS establecen que éste tipo de rejillas deben contar con un sistema de accionamiento del dispositivo de limpieza y un sistema para la recolección y salida del material removido. El funcionamiento del dispositivo de limpieza debe ser intermitente y comandado por la pérdida de carga debido al material retenido en la rejilla.”⁷

⁷ Normas del Instituto Ecuatoriano de Obras Públicas (IEOS), 1992., Pp. 202



Fuente: VALDEZ, E., Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de las aguas residuales., Unidad 2.3

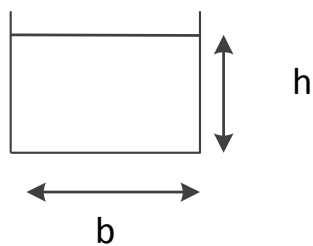
Figura 3 Disposición de rejillas de limpieza mecánica

El material a considerarse para el diseño de las rejillas debe ser anticorrosivo, de manera que se evite el desgaste con la fricción del paso del agua.

1.5.1.3 CONSIDERACIONES DE DISEÑO CANAL

Para el diseño de las rejillas es necesario conocer las dimensiones del canal en donde van a ser dispuestas.

a) SECCIÓN DEL CANAL



b) ÁREA DEL CANAL

$$A = b \times h_1 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

A = Área del canal (m^2)

b = Base del canal (m)

h_1 = Altura del canal hasta el nivel de agua (m)

c) RADIO HIDRÁULICO

$$R = \frac{b \times h}{b + 2h} \quad (\text{Ec. 2})$$

También es necesario calcular la velocidad a la que se transporta el agua residual hacia el proceso de tratamiento, mediante la ecuación de Manning:

$$v = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad (\text{Ec. 3})$$

Donde:

v = Velocidad (m/s)

n = Coeficiente de Manning (0,013 para canales de hormigón)

R = Radio hidráulico (m)

S = Gradiente hidráulico (m/m)

1.5.1.4 CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA REJILLAS

a) **ÁREA ENTRE BARRAS**

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$A_b = \frac{Q}{v} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

A_b = Área entre barras (m^2)

Q = Caudal (m^3/s)

v = Velocidad de aproximación (m/s)

b) **ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL FLUJO**

$$A_1 = \frac{A_b(W + e)}{W} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

A_b = Área entre barras (m^2)

W = Separación entre barras (m)

e = Espesor máximo de las barras (m)

c) **NÚMERO DE BARRAS**

Para determinar el número de barras se puede usar la siguiente ecuación:

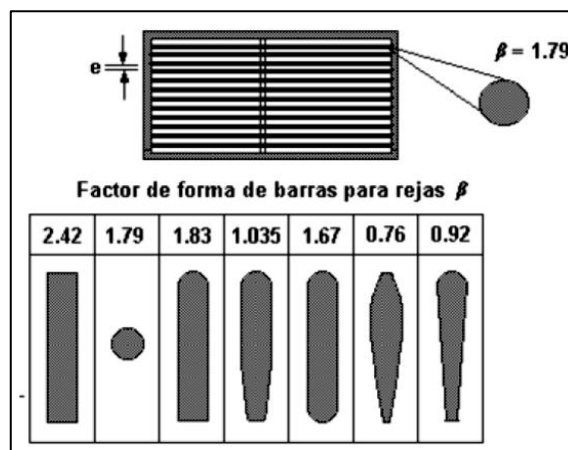
$$N^{\circ} = \frac{b - W}{W - e} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

b = Ancho del canal (m)

W = Separación entre barras (m)

e = Espesor máximo de las barras (m)



Fuente: VALDEZ, E., Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de las aguas residuales., Unidad 2.3

Figura 4 Factores de forma B para secciones de barras

d) LONGITUD SUMERGIDA DE LA REJILLA

Se requiere conocer el nivel máximo de agua, usando la siguiente ecuación:

$$d_{max} = \frac{Q}{v \times b} \quad (\text{Ec. 7})$$

Para la longitud, tenemos:

$$L_s = \frac{d_{max}}{\text{sen}\delta} \quad (\text{Ec. 8})$$

Donde:

d_{max} = Nivel máximo de agua (m)

v = Velocidad de aproximación (m/s)

b = Ancho del canal (m)

δ = Grado de inclinación de las barras

e) PÉRDIDA DE CARGA

Las pérdidas de carga a través de una rejilla se pueden determinar a través de la siguiente ecuación propuesta por Kirschmer (1926):

$$h_c = \beta \left(\frac{e}{W} \right)^{4/3} \frac{v^2}{2g} \text{sen}\delta \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

h_c = Pérdida de carga (m)

e = Espesor máximo de las barras (m)

W = Separación entre barras (m)

$v^2/2g$ = Carga de velocidad antes de la reja (m)

δ = Ángulo de inclinación de las barras

β = Factor dependiente de la forma de la barra

Tabla 6 Parámetros de diseño para rejillas de barras de limpieza manual y mecánica

Parámetro	Unidad	Limpieza manual	Limpieza mecánica
Tamaño de la barra: Ancho	mm	5-15	5-15
Profundidad	mm	25-37,5	25-37,5
Separación entre barras	mm	25-50	17-75
Pendiente en relación a la vertical	Grados	25-50	50-82,5
Velocidad de aproximación	m/s	0,45	0,60
Pérdidas de carga admisible	mm	150	150

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995., Pp. 510

Tabla 7 Material retenido según aberturas de rejillas

Abertura (mm)	Cantidad 1/m ³
20	0,038
25	0,023
35	0,012
40	0,009

Fuente: Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales (IEOS)., 1992., Pp. 347

1.5.2 SEDIMENTACIÓN

Es un proceso físico que elimina los sólidos sedimentables presentes en el agua residual, por acción de la gravedad, los cuales tienen mayor densidad que el líquido en donde se encuentran suspendidos; se da generalmente sin que se añadan sustancias químicas.

La operación consiste en reducir la velocidad de flujo del agua, haciéndola pasar por un estanque o piscina, de tal forma que los sólidos en suspensión sedimenten de acuerdo a diferencias de densidades.

Mediante la aplicación de éste método, la remoción de impurezas es parcial, pues depende fundamentalmente de naturaleza y tamaño de las suspensiones, así como la temperatura y el tiempo de reposo del agua.

“Los tanques de sedimentación primaria eliminan entre el 50 – 70 % de sólidos suspendidos, y entre el 25 – 40 % de DBO₅, siempre que las consideraciones de diseño sean bien manejadas.”⁸

La sedimentación de las partículas está en función de la concentración, cuando hay una baja concentración de sólidos se da lugar a una sedimentación libre, por lo contrario si se presenta una suspensión concentrada la sedimentación es más lenta y se denomina sedimentación por zonas.

Además se puede dar una sedimentación continua en donde la alimentación es constante, teniendo la separación de un líquido claro y una suspensión concentrada.

⁸METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995., Pp. 539

1.5.2.1 TIPOS BÁSICOS DE SEDIMENTADORES

a) TANQUES RECTANGULARES

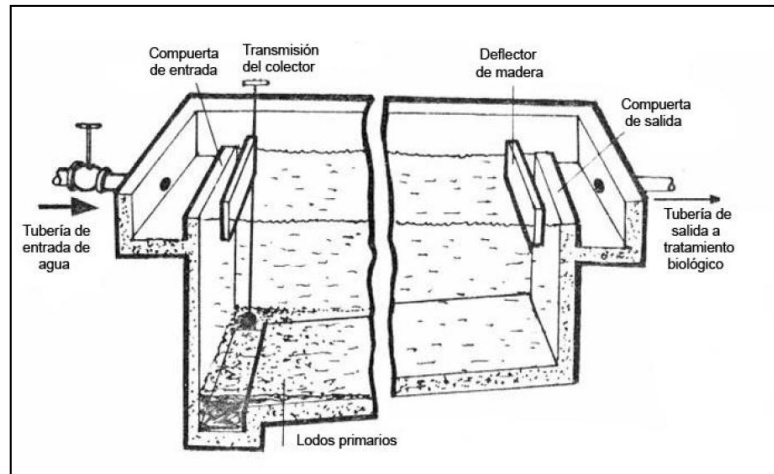
Estos tipos de sedimentadores son construidos en zonas con poca disponibilidad de terreno, la remoción de lodos es más complicada por su geometría.

Las entradas del agua residual se encuentran en un extremo y están destinadas a minimizar la velocidad. Los diseños más comunes constan de pequeñas tuberías con eles hacia arriba, deflectores perforados, de manera que no queden atrapados los sólidos flotantes o sedimentables.

“Las salidas en tanques rectangulares constan de vertederos localizados hacia el extremo de descarga del tanque, la relación longitud a ancho se encuentra habitualmente en el rango de 4:1 con profundidades mínimas de 2m; el fondo se inclina suavemente hacia la tolva de lodos para facilitar el drenaje del tanque.”⁹

Para retirar los sólidos que sedimentan en plantas de tratamiento pequeñas se arrastran a unos cuencos de recogida de fangos, que son comúnmente una doble cadena cerrada de 3m de aleación de acero; en cambio para plantas grandes se llevan a canales de fondo transversales. Las espumas son recogidas en el extremo de salida del tanque a través de rascadores, hasta ser detenidos por deflectores para su extracción; también se puede hacer mediante el rociado con agua a presión o por un barredor helicoidal.

⁹ TERENCE, J., Ingeniería Ambiental., 1999., Pp. 424



Fuente: HORAN., Tratamiento de Aguas Residuales., 2003

Figura 5 Tanque de sedimentación primaria rectangular

b) TANQUES CIRCULARES

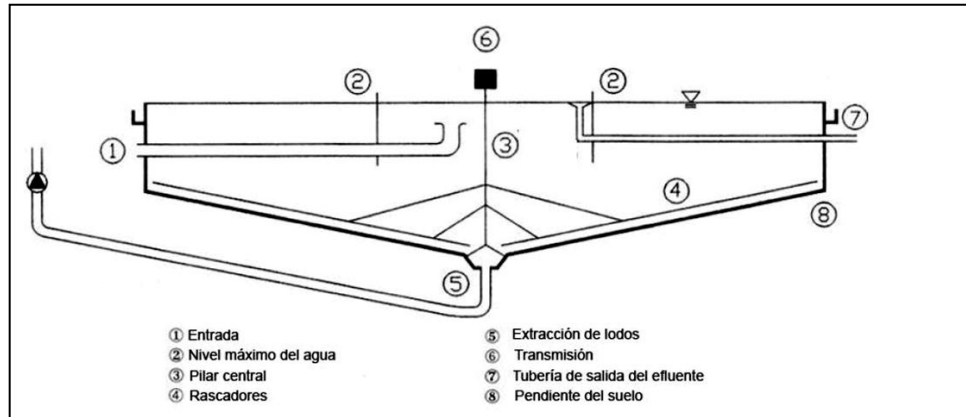
Son de uso común en plantas de tratamiento, ya que se puede lograr una buena remoción de lodos, el sistema de flujo es radial, para lo cual el agua residual se introduce por el centro o por la periferia del tanque.

Comúnmente se emplea unidades de “alimentación central en donde el agua residual es llevada por tubería al centro del tanque, luego el agua pasa por una campana circular para distribuir el flujo en todas las direcciones. La campana circular tiene un diámetro entre 15 - 20% del diámetro total del tanque y una profundidad entre 1 – 2,5 m.”¹⁰

La remoción de los lodos es mediante rastras para tanques con diámetros menores de 15m, y para grandes cantidades de lodo se usa unidades con succionadores.

¹⁰METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995., Pp. 551

Los vertederos de salida se extienden en forma usual alrededor de la periferia del tanque con deflectores que se extienden de 200 a 300 mm bajo la superficie del agua.



Fuente: HORAN., Tratamiento de Aguas Residuales., 2003

Figura 6 Tanque de sedimentación primaria circular

1.5.2.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

a) CARGA DE SUPERFICIE

Está en función del tipo de sedimentación que se requiere decantar, y deben ser reducidas para asegurar el rendimiento de las instalaciones.

Se puede determinar el área del sedimentador, en base a la carga superficial, mediante la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q}{C_s} \quad (\text{Ec. 10})$$

Donde:

$A = \text{Área (m}^2\text{)}$

Q = Caudal a tratar en el sedimentador primario (m^3/h)

C_s = Carga superficial ($m^3/m \times d$)

Tabla 8 Consideraciones de diseño de decantación primaria

Características	Intervalo	Típico
Decantación primaria seguida de tratamiento secundario:		
Tiempo de detención (h)	1,5-2,5	2
Carga superficie, ($m^3/m \times d$)	32-48	-
Carga sobre vertedero ($m^3/m \times d$)	10000-40000	20000
Sedimentación primaria con adición del fango activado en exceso:		
Tiempo de detención (h)	1,5-2,5	2
Carga superficie, ($m^3/m^2 \times d$)	24 - 60	-
Carga sobre vertedero ($m^3/m \times d$)	10000-40000	20000

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995., Pp. 542

Tabla 9 Parámetros de diseño para sedimentadores rectangulares y circulares en el tratamiento primario

Tipo de tanque	Intervalo	Típico
Rectangular:	3-4,5	3,6
Profundidad (m)	15-90	25-40
Longitud (m)	3-25	5-10
*Anchura (m)	0,6-1,2	0,9
Velocidad de los rascadores (m/min)	0,6-1,2	0,9
Circular:		
Profundidad (m)	3-4,5	3,6
Longitud (m)	3-60	12-45
Pendiente de la solera (mm/m)	6,25-16	8
Velocidad de los rascadores (r/min)	0,02 - 0,05	0,03

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995., Pp. 544

*Si las anchuras de los tanques rectangulares de limpieza mecánica son mayores de 6m, pueden utilizarse compartimentos múltiples con equipos de raspado individuales, permitiendo, anchuras de tanques hasta 24 m o mayores.

El área superficial del sedimentador se obtiene:

$$A = \frac{Q}{V_c} \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

A = Área superficial del sedimentador (m²)

Q = Caudal a tratar el sedimentador primario(m³/h)

V_c = Velocidad terminal (m/h)

Tabla 10 Velocidades terminales a caudal medio

Decantación primaria	Velocidad a caudal medio		
	Mínimo(m/h)	Típico (m/h)	Máximo (m/h)
Decantadores circulares	1	1,5	2
Decantadores rectangulares	0,8	1,3	1,8

Fuente: Manual de depuración Uralita., Pp. 96

Tabla 11 Velocidades terminales a caudal máximo

Decantación primaria	Velocidad a caudal máximo		
	Mínimo (m/h)	Típico (m/h)	Máximo (m/h)
Decantadores circulares	2	2,5	3
Decantadores rectangulares	1,8	2,2	2,6

Fuente: Manual de depuración Uralita., Pp. 96

Se usa una relación 1/2 de ancho/largo para el cálculo de las medidas interiores del sedimentador, mediante la siguiente ecuación:

$$A = L_g \times A_n \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

L_g = Largo del sedimentador (m)

A_n = Ancho del sedimentador (m)

Aplicando la relación se obtiene:

$$A = 2 A_n \times A_n \quad (\text{Ec. 13})$$

$$A = 2 A_n^2 \quad (\text{Ec. 14})$$

$$A_n = \sqrt{A/2} \quad (\text{Ec. 15})$$

Posteriormente se calcula el volumen del tanque mediante la siguiente ecuación:

$$V = A_n \times L_g \times h \quad (\text{Ec. 16})$$

Donde:

V = Volumen del tanque de sedimentador (m^3)

A_n = Ancho del sedimentador (m)

L_g = Largo del sedimentador (m)

h = Altura del sedimentador (m)

El diámetro del sedimentador se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$\varnothing = \sqrt{4 \times \frac{A}{\pi}} \quad (\text{Ec. 17})$$

Donde:

\varnothing = Diámetro del sedimentador

A = Área del sedimentador

π = Número irracional (3,14159)

b) **TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO**

El tiempo que demoraría una partícula en recorrer la longitud del sedimentador en sentido horizontal desde el momento de su entrada al sistema.

Si se usa como tratamiento único el tiempo de retención es de 1,5 y 2,5 horas para el caudal medio del agua residual, en cambio si el proceso de decantación primario está previo a un proceso biológico se requiere de un tiempo de detención entre 0,5 a 1 hora.

$$\text{Trh} = \frac{Q}{V} \quad (\text{Ec. 18})$$

Donde:

Trh = Tiempo de retención hidráulico (h)

Q = Caudal a tratar (m³/h)

V = Volumen del sedimentador (m³)

La siguiente tabla se recomienda cuando nos sea posible realizar el cálculo del tiempo de retención.

Tabla 12 Tiempo de retención

Decantación primaria	Velocidad a caudal máximo		
	Mínimo (h)	Típico (h)	Máximo (h)
Tiempo de retención para caudal medio.	1,5	2	3
Tiempo de retención para caudal máximo	1	1,5	2

Fuente: Manual de depuración Uralita., Pp. 96

c) **ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL**

Para su determinación se usa el volumen y el largo del sedimentador:

$$A_t = \frac{V}{L_g} \quad (\text{Ec. 19})$$

Donde:

A_t = Área de la sección transversal (m²)

V = Volumen del tanque de sedimentador (m³)

L_g = Largo del sedimentador (m)

d) **REMOCIÓN DE DBO₅ Y SÓLIDOS SUSPENDIDOS**

La eficiencia de remoción de DBO₅ y sólidos suspendidos, está en función de la concentración del afluente y del tiempo de retención.

$$R = \frac{\text{Trh}}{a + b\text{Trh}} \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde:

R = Porcentaje de remoción esperado (%)

Trh = Tiempo nominal de retención (h)

a, b = Constantes empíricas

Tabla 13 Valores de las constantes empíricas, a y b a 20 ° C

Variable	a, h	b
DBO	0,018	0,02
SST	0,0075	0,014

Fuente: CRITES, R., Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones., Pp. 304

1.5.3 COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN

Mediante este tratamiento se persigue mejorar la eliminación de los sólidos en suspensión y de la DBO₅ que no se consigue en etapas anteriores, sobre todo de las partículas coloidales; además permite “acondicionar el agua residual que contenga

vertidos industriales, mejorar la eficiencia de los sedimentadores secundarios especialmente cuando se trata del proceso de lodos activados.”¹¹

El primer paso consiste en desestabilizar las partículas coloidales mediante la adición de reactivos químicos que reciben el nombre de coagulantes. Una vez han sido desestabilizadas, ya pueden unirse o agregarse, viéndose este proceso favorecido por los compuestos denominados floculantes, que dan lugar a flóculos de mayor tamaño y densidad que precipitan con mayor rapidez.

En la tabla 14 se encuentran los coagulantes y floculantes, recomendados para tratamiento de aguas residuales de curtiembres.

Tabla 14 Coagulantes y Floculantes

Compuesto	Efecto
Sulfato de aluminio	Coagulante
Sulfato férrico	Coagulante
Sulfato ferroso	Coagulante
Polímero a base de sales de aluminio	Floculante
Polímero a base de sales de hierro	Floculante
Poliamina cuaternaria	Floculante
Polímero sintético catiónico	Floculante

Fuente: El autor

¹¹METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995., Pp. 538

1.5.3.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

El área del tanque de floculación, se determina en base a la carga superficial, expuestas en la tabla 15.

$$A = \frac{Q}{C_s} \quad (\text{Ec. 21})$$

Donde:

A = Área del tanque de floculación(m^2)

Q = Caudal a tratar en el tanque de floculación (m^3/h)

C_s = Carga superficial ($\text{m}^3/\text{m} \times \text{d}$)

Tabla 15 Cargas de superficie recomendadas para diversas suspensiones químicas

Suspensión	Carga de superficie ($\text{m}^3/\text{m}^2\text{d}$)	
	Intervalo	Caudal punta
Flóculo de alúmina	25 -50	50
Flóculo de hierro	25 – 50	50
Flóculo de cal	30 – 60	60
Agua residual cruda	25 -50	50

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995., Pp. 557

Luego se calcula el ancho del tanque, con la siguiente ecuación:

$$A_n = \sqrt{A/2} \quad (\text{Ec. 22})$$

Posteriormente se calcula la longitud del tanque de floculación, con el valor del ancho:

$$L_g = \frac{A}{A_n} \quad (\text{Ec. 23})$$

Con los dos valores anteriores se obtiene el volumen del tanque floculación:

$$V = A_n \times L_g \times h \quad (\text{Ec. 24})$$

Donde:

V = Volumen del tanque floculador (m^3)

A_n = Ancho del tanque floculador (m)

L_g = Largo del tanque floculador (m)

h = Altura del tanque floculador (m)

El diámetro del tanque se puede determinar usando la siguiente ecuación:

$$\emptyset = \sqrt{4 \times \frac{A}{\pi}} \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde:

\emptyset = Diámetro del tanque floculador

A = Área del tanque floculador

π = Número irracional (3,14159)

Finalmente en base al caudal a tratar y volumen del tanque se determina el tiempo de retención hidráulico.

$$\text{Trh} = \frac{Q}{V} \quad (\text{Ec. 26})$$

Donde:

Trh = Tiempo de retención hidráulico (h)

Q = Caudal a tratar (m³/h)

V = Volumen del tanque floculador(m³)

Tabla 16 Parámetros de diseño para floculadores

Características	Valor	
	Intervalo	Típico
Tiempo de detención (min)	20 - 60	30
Floculación inducida por paletas, máxima velocidad periférica de la paleta, con reductor de velocidad hasta el 30% de velocidad máxima (m/s)	0,45 – 1,00	0,60
Floculación por agitación por aire, con difusores de tubo poroso (m ³ /10 ³ m ³)	0,60 – 1,20	0,75

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995., Pp. 537

La coagulación – floculación permiten una adecuada tratabilidad del agua residual, y al preceder de un sistema de lodos activados, es necesario que los tanques dispongan de paletas para la agitación mecánica con mecanismos de transmisión de velocidad variable de manera que la velocidad en la parte superior de la paleta tenga una reducción hasta un 30 %.

De manera que se debe es necesario determinar la potencia disipada de la mezcla, Camp y Stein (1943) estudiaron la formación y efectos de velocidad en diferentes clases de tanques desarrollando la siguiente ecuación:

$$P = G^2 \mu V \quad (\text{Ec. 27})$$

Donde:

P = Potencia necesaria (W)

G = Gradiente medio de velocidad ($1/s$)

μ = Viscosidad dinámica ($N s/m^2$)

V = Volumen del floculador (m^3)

Para valores de tiempo de retención hidráulico comprendidos entre 30 – 60 min los valores del gradiente medio de velocidad (G) oscilan entre 50 – 100 s^{-1} .

El área requerida de las paletas se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{2 \times P}{C_D \times \rho \times v^3} \quad (\text{Ec. 28})$$

Donde:

A = Área de la sección transversal de las paletas (m^2)

P = Potencia necesaria (W)

C_D = Coeficiente de resistencia al avance de las paletas

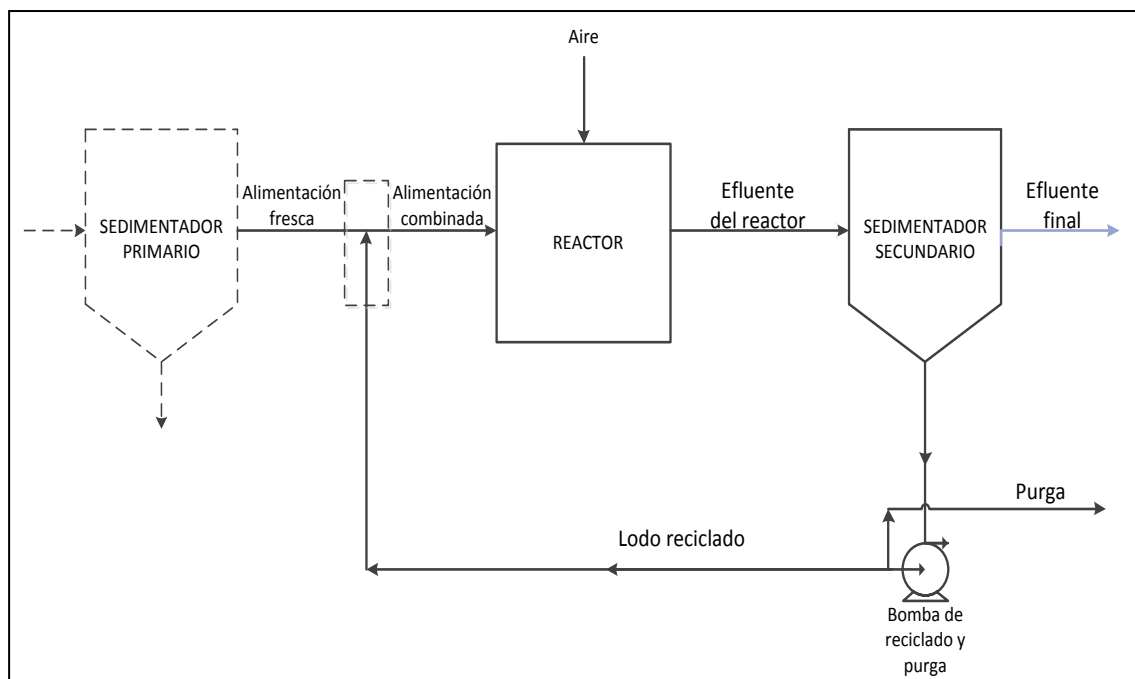
ρ = Densidad del fluido (kg/m^3)

v = Velocidad relativa de las paletas con respecto al fluido (m/s), en general se asumen valores entre 0,6 y 0,75.

1.5.4 LODOS ACTIVOS

Sistema biológico para tratamiento secundario de aguas residuales, desarrollado por Andern y Lockett (1914), fue denominado así debido a la producción de una masa activa de microorganismos los cuales utilizan residuos orgánicos como sustrato, eliminando de ésta forma la materia orgánica del agua residual.

Las operaciones, de lodos activados son: una etapa de oxidación biológica, otra de separación, y un sistema de recirculación de lodos.



Fuente: RAMALHO, R., Tratamiento de Aguas Residuales., 1983., Pp. 254

Figura 7 Diagrama de flujo del proceso de lodos activados

En la figura 7 se muestra un esquema común de lodos activados, el agua residual pasa del sedimentador primario al reactor en donde la materia orgánica contenida en el agua

residual se pone en contacto con los microorganismos, en forma de suspensión floculenta, en un sistema aereado y agitado, en periodo que oscila entre 4 a 8 horas.

Posteriormente al alcanzar el grado de tratamiento que se desea se obtiene una masa microbiana floculenta (lodo), y se denomina efluente del reactor que pasa al sedimentador secundario, para separar el efluente final que debe estar libre de lodos; la mayor parte del lodo asentado regresa al reactor de manera que se mantenga la concentración de lodos en el tanque de aireación para un tratamiento efectivo y actúe como inóculo microbiano; la recirculación es necesaria para mantener la carga bacteriana constante, y finalmente el excedente del lodo llamado purga es extraído, el cual constituye el concentrado de contaminación.

1.5.4.1 TÉCNICAS DE AEREACIÓN

Los equipos de aireación pretenden suministrar el oxígeno requerido para estabilización en sistemas aeróbicos. La transferencia de oxígeno puede ser afectada por la presión parcial del gas.

“Los primeros equipos de aireación emplearon difusores de burbujas finas hechos de materiales cerámicos porosos, los cuales suministran buena eficiencia de transferencia; pero tienden a taponarse debido al crecimiento biológico y contaminante.”¹²

¹² TERENCE J., Ingeniería Ambiental., 1999., Pp. 463

Otros dispositivos que evitan el problema de taponamiento, son los distribuidores de tubería perforada, usan grandes agujeros que producen burbujas gruesas; recientemente se han desarrollado equipos más eficientes como difusores que emplean materiales poliméricos con aberturas muy pequeñas.

Los difusores de burbuja fina pueden tener una eficiencia de transferencia hasta el 10%, a éste nivel se consigue suministrar la mezcla completa contenido del tanque. Actualmente hay un sistema que usa membranas de polímero sintético delgado, también se puede usar compresores, aireadores superficiales, entre otros.

1.5.4.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

“El diseño de las plantas de lodos activos, se basa en el consumo de DBO_5 soluble, éste consumo se debe al proceso de oxidación biológica que tiene lugar en el reactor; mientras que DBO_5 insoluble se separa por sedimentación en los clarificadores primario y secundario.”¹³

En el proceso convencional de lodos activos se logra una reducción de la DBO_5 del 5 al 15% de su valor en la alimentación inicial.

“En el diseño del proceso de lodos activados, se debe considerar: la elección del tipo de reactor, los criterios de carga, la producción de lodo, las necesidades y transferencia de oxígeno, las necesidades de nutrientes y las características del efluente.”¹⁴

¹³ RAMALHO, R., Tratamiento de Aguas Residuales., 1983., Pp. 255

¹⁴ METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995., Pp. 605

a) ELECCIÓN DEL TIPO DE REACTOR

Para la elección del tipo de reactor se debe tener en cuenta, la influencia de la cinética de las reacciones, dentro de las opciones más comunes se encuentra el reactor de mezcla completa y reactor de flujo en pistón. También se debe considerar las necesidades de transferencia de oxígeno, se recomienda el reactor de mezcla completa para suministrar la cantidad de oxígeno adecuada.

Si se desea tratar aguas residuales con elevado grado de contaminación se recomienda usar el reactor de mezcla completa, ya que hay un tratamiento más uniforme; a su vez es necesario el control de temperatura y pH.

Para el cálculo del volumen del reactor se puede usar la siguiente ecuación:

$$V_r = \frac{\theta_c \times Q \times Y \times (S_o - S)}{X(1 + k_d \theta_c)} \quad (\text{Ec. 29})$$

Donde:

θ_c =Tiempo medio de retención celular basado en el volumen del tanque de aireación

(d)

Q = Caudal del agua residual a tratar (m^3/d)

S_o = Concentración de DBO en el afluente (kg/m^3)

S = Concentración de DBO en el efluente (kg/m^3)

X = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación
(kg/m^3)

k_d = Coeficiente de degradación endógena (d^{-1})

Tabla 17 Datos de sedimentación de SSLM

SSLM	1600	2500	2600	4000	5000	8000
Velocidad de sedimentación inicial	3,3	2,4	1,5	0,6	0,3	0,09

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., Pp. 674

b) EFICIENCIA

Se basa en la DBO_5 soluble, y permite conocer si los valores de la concentración del afluente y efluentes de la DBO_5 son correctos. Para su determinación se usa la siguiente ecuación:

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} \times 100 \quad (\text{Ec. 30})$$

c) CRITERIOS DE CARGA

Los parámetros más importantes son: la relación de alimento y microorganismos, y el tiempo de retención celular.

La relación de alimento/microorganismo se define como:

$$F/M = \frac{S_o}{TrhX} \quad (\text{Ec. 31})$$

Donde:

$F/M =$ Relación alimento/microorganismo (d^{-1})

S_0 = Concentración de DBO o DQO en el afluente (kg/m^3)

X = Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el tanque de aireación
(kg/m^3)

Trh = Tiempo de retención hidráulica del tanque de aireación (d)

El tiempo de retención hidráulica se puede obtener a través de la siguiente ecuación:

$$Trh = \frac{V_r}{Q} \quad (\text{Ec. 32})$$

Donde:

V_r = Volumen del tanque de aireación (m^3)

Q = Caudal de entrada al tanque de aireación (m^3/d)

“Si el valor calculado para la relación F/Mes menor que 0,05 los lodos deben ser purgados debido a su exceso, mientras que al ser mayor que 0,15 se debe aumentar la concentración de SST en el estanque aireado; mediante la recirculación del lodo deteniendo la purga de los mismos.”¹⁵

d) PRODUCCIÓN DE LODO

La producción diaria de lodo que hay que purgar se puede determinar a partir de la siguiente ecuación:

¹⁵ Programa de control de parámetros críticos.

$$P_x = Y_{\text{obs}}Q(S_0 - S) \times (10^3 \text{g/kg})^{-1} \quad (\text{Ec. 33})$$

Donde:

P_x = Producción diaria neta de fango activado, medida en términos de SS volátiles (kg/d)

Y_{obs} = Producción observada (kg/kg)

Q, S_0, S = Según definición anterior

La producción observada se puede calcular por medio de la siguiente ecuación:

$$Y_{\text{obs}} = \frac{Y}{1 + k_d \theta_c} \quad (\text{Ec. 34})$$

Donde:

Y = Coeficiente de producción celular (kg de células producidas/kg de materia orgánica eliminada.)

k_d = Coeficiente de degradación endógena (d^{-1})

Tabla 18 Valores de coeficientes cinéticos para el proceso de lodos activados

Coefficientes	Unidades para SSV	Rangos	Típico
Y	mg SSV/ mg DBO ₅	0,4 - 0,8	0,6
k_d	d^{-1}	0,0025 – 0,0075	0,06
k	mg/L DBO ₅	25 -100	60

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., Pp. 408

e) **NECESIDAD Y TRANSFERENCIA DE OXÍGENO**

Se determina a partir de la DBO₅ del agua residual y de la cantidad de microorganismos purgados diariamente en el sistema, de manera que se puedan estimar las cantidades reales del sistema.

Se puede calcular mediante la siguiente expresión, en unidades SI.

$$\text{kg, O}_2/\text{d} = \frac{Q(S_0 - S) \times (10^3 \text{ g/kg})^{-1}}{f} - 1,42(P_x) \quad (\text{Ec. 35})$$

Donde:

f = Factor de conversión de DBO₅ en DBO_L (0,45-0,68)

“El suministro de aire debe proporcionar un mezclado adecuado y mantener una concentración mínima de oxígeno disuelto en todo el tanque de aireación comprendido entre 1 y 2 mg/L.”¹⁶

Tabla 19 Parámetros de diseño para procesos de lodos activados

Modificación del proceso	θ_c (d)	F/M (kg DBO ₅ aplicada / kg SSVLM × d)	Carga volúmica, (kg DBO ₅ aplicada / m ³ × d)	SSLM (mg/L)	V/Q (h)	Q_r/Q
Convencional	5 -15	0,2-0,4	0,32-0,64	1500-3000	4-8	0,25-0,75
Mezcla completa	5 -15	0,2-0,6	0,80-1,92	2500-4000	3-5	0,25-1,0

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995., Pp. 626

¹⁶ METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995., Pp. 611

f) NECESIDADES DE NUTRIENTES

Para una adecuada operación del sistema de lodos activos se debe contar con cantidades propicias de nutrientes, siendo los principales el nitrógeno y el fósforo. La cantidad de nutrientes varía con la edad de lodo.

Los efluentes de curtiembres contienen generalmente materia orgánica como: sangre, pelos, grasas, garantizando de ésta forma la presencia de nutrientes para los microorganismos y a su vez haya un óptimo tratamiento.

g) AEREACIÓN POR MEDIO DE DIFUSORES

En el reactor los microorganismos consumen oxígeno a medida que consumen la materia orgánica, por lo que es necesario emplear un sistema que proporcione la cantidad adecuada de oxígeno.

“Para relaciones de alimento/microorganismos superiores a 0,3 las necesidades de aire para el proceso convencional se sitúa entre 30 y 55 m³/kg de DBO₅ eliminada en sistemas de difusores de burbuja gruesa (no porosos), y entre 24 y 36 m³/kg de DBO₅ eliminada para sistemas de difusores de burbuja fina (porosos).”¹⁷

En cambio cuando los valores de relación alimento/microorganismos, son más bajos aumenta las necesidades de aire hasta entre 75 y 115 m³/kg de DBO₅ eliminada.

¹⁷ METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995., Pp. 611

Comúnmente se usan difusores porosos ya que la eficiencia de transferencia de oxígeno es alta, hay un sin número de formas de los difusores y pueden ser de placa, domo, disco y de tubo. Para que la aireación sea uniforme en todo el tanque, se recomienda instalar difusores de disco o de domo en forma de malla en el reactor de aireación.

La potencia necesaria para llevar a cabo el proceso de compresión adiabática se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$P_w = \frac{W_{\text{aire}}RT_1}{550 ne} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{0,283} - 1 \right] \quad (\text{Ec. 36})$$

Donde:

P_w = Potencia necesaria para cada soplante (kW)

W_{aire} = Caudal de aire en peso (kg/s)

R = Constante universal de los gases (8,314kJ/kmol K)

T_1 = Temperatura absoluta a la entrada (K)

p_1 = Presión absoluta a la entrada (atm)

p_2 = Presión absoluta a la salida (atm)

e = Eficiencia (normalmente entre 0,70 y 0,90)

$n = 0,283$ para el aire

1.5.5 SEDIMENTADOR SECUNDARIO

El sedimentador secundario es parte fundamental del proceso de lodos activos, cumple la función de clarificar el efluente mezclado para la descarga del efluente final y concentra el lodo activado para su retorno al proceso.

Los tanques de sedimentación para el proceso de lodos activados pueden ser rectangulares o circulares, y en pocas ocasiones se emplean tanques cuadrados los cuales tienen poca retención de sólidos.

En cualquier tipo de tanques de sedimentación lo importante es la recogida de lodos, de manera que, “en la recirculación de lodos no haya una succión del líquido de la parte superior a través del lodo y debe ser capaz de transportar y extraer los lodos densos acumulados en el tanque de sedimentación en caso de alguna falla.”¹⁸

1.5.5.1 TANQUES CIRCULARES

Los tanques circulares suelen ser de dos tipos: de alimentación central y de alimentación periférica, los dos tipos de tanques transportan y evacúan los lodos mediante mecanismos rotatorios, cuya velocidad no debe ser mayor a 2 revoluciones por hora.

“Los tanques circulares secundarios con una capacidad de 300m³ no deberán ser diseñados con un sistema de barrido, deberán ser cónicos con una inclinación mínima de las paredes de la tolva de 60 grados, la remoción de lodos será por medio de tuberías.”¹⁹

¹⁸ METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., 1995., Pp. 662

¹⁹ Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales (IEOS), 1992., Pp. 378

Para los tanques que trabajen con mecanismos de barrido deberán disponer de una tolva central para la acumulación de lodos, al menos de 0,6 m de diámetro y 4 m de profundidad máxima. El fondo debe tener una inclinación de 1:12 (vertical: horizontal). Además el diámetro de la zona de entrada en el centro del tanque debe ser aproximadamente el 15-20% del diámetro de sedimentador. El retorno de lodos debe ser continuo y puede ser por medio de bombas centrífugas.

a) TANQUES RECTANGULARES

En los tanques rectangulares se debe conseguir una adecuada distribución del caudal de manera que las velocidades horizontales no resulten excesivas. La relación largo/ancho deberá ser de 4/1 como mínimo y la relación ancho profundidad debe ser superior a 2/1. La remoción de lodos deberá ser intermitente para los tanques que posean mecanismo de barrido de movimiento longitudinal.

Los tanques rectangulares emplean dos tipos de sistemas de extracción: rascadores múltiples y puentes de traslación.

1.5.5.2 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

El área del sedimentador secundario, se obtiene a partir de la relación propuesta por Metcalf y Eddy, utilizando el valor de la carga de superficie para sedimentación a continuación del proceso de lodos activados con oxígeno.

$$A = \frac{Q}{C_s} \quad (\text{Ec. 37})$$

Donde:

A = Área del sedimentador secundario (m^2)

Q = Caudal (m^3/h)

C_s = Carga superficial ($\text{m}^3/\text{m} \times \text{d}$)

El diámetro del sedimentador se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\emptyset = \sqrt{4 \times \frac{A}{\pi}} \quad (\text{Ec. 38})$$

Donde:

\emptyset = Diámetro del sedimentador

A = Área del sedimentador (m^2)

π = Número irracional (3,14159)

El 25% del diámetro es el reparto central, entonces tenemos que:

$$R_{\text{central}} = \emptyset \times 25\% \quad (\text{Ec. 39})$$

Para la determinación de la profundidad del sedimentador secundario se toma como referencia valores establecidos en la tabla 19.

La altura de reparto se toma 1/4 de la profundidad:

$$H_{\text{reparto}} = \frac{1}{4} \times \text{profundidad} \quad (\text{Ec. 40})$$

Tabla 19 Parámetros de diseño para sedimentadores secundarios

Tipo de tratamiento	Carga de superficie m ³ /m d		Carga de sólidos kg/m ² × h		Profundidad (m)
	Media	Punta	Media	Punta	
Sedimentación a continuación del proceso de fangos activados (excepto en la aireación prolongada)	16 - 32	41 - 49	3,90 -5,85	9,76	3,6-6,0
Sedimentación a continuación del proceso de fangos activados con oxígeno	16 - 32	41 - 49	4,88-6,83	9,76	3,5-6,0
Sedimentación a continuación del proceso de aireación prolongada	8 - 16	24,42-32	0,97-4,88	6,83	3,6-6,0
Sedimentación a continuación de filtros percoladores	16 - 24	41 - 49	2,93-4,88	7,81	3,0-4,5
Sedimentación a continuación de biodiscos:					
Efluente secundario	16 - 32	41 - 49	3,90-5,85	9,76	3,0-4,5
Efluente nitrificado	16 - 24	32 - 41	2,93-4,88	7,81	3,0-4,5

Fuente: METCALF & EDDY., Ingeniería de Aguas Residuales., Pp. 669

Además se debe determinar la carga de vertedero de salida, a través de la siguiente ecuación:

$$Carga\ vertedero = \frac{Q}{\pi \times \phi} \quad (Ec. 41)$$

Donde:

Q = Caudal a tratar en el sedimentador secundario (m³/s)

ϕ = Diámetro del sedimentador

Se requiere calcular el ancho del sedimentador una vez obtenida el área, por medio de la siguiente ecuación:

$$A_n = \sqrt{A/2} \quad (Ec. 42)$$

$$L_g = \frac{A}{A_n} \quad (\text{Ec. 43})$$

Con los dos valores anteriores se calcula el volumen de sedimentador:

$$V = A_n \times L_g \times h \quad (\text{Ec. 44})$$

Donde:

V = Volumen del tanque de sedimentador (m^3)

A_n = Ancho del sedimentador (m)

L_g = Largo del sedimentador (m)

h = Altura del sedimentador (m)

Es necesario determinar el tiempo de retención hidráulica, valor que depende del volumen del sedimentador.

$$\text{Trh} = \frac{Q}{V} \quad (\text{Ec. 45})$$

Donde:

Trh = Tiempo de retención hidráulico (h)

Q = Caudal a tratar (m^3/h)

V = Volumen del sedimentador (m^3)

1.6 NORMATIVA AMBIENTAL

1.6.1 CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

En el Art. 264 y 415 se menciona acerca del tratamiento de aguas residuales, obligando a un adecuado manejo de desechos líquidos de manera que no sea perjudicial para otras redes de agua, logrando mantener un ambiente sano conservando la calidad del agua Art. 276.

1.6.2 LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL

Mediante un desarrollo sustentable Art. 7 se pretende no comprometer los recursos disponibles de la naturaleza, aplicando estrategias de protección y manejo ambiental Art. 18, cuyas medidas adoptadas para el control de impactos negativos son sometidos a evaluación por el Ministerio de Ambiente previa a su obtención de la licencia ambiental.

1.6.3 TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA DEL MINISTERIO DEL AMBIENTE (TULAS)

El libro VI Anexo 1 trata sobre la calidad ambiental y descarga de efluentes, tiene como objeto la “prevención y control de la contaminación ambiental en lo que se refiere al agua”²⁰

En la tabla 20 se encuentran los límites de descarga de efluentes al alcantarillado público, los cuales son la base para la caracterización físico-química de la muestra compuesta.

²⁰ TULAS Libro VI., Anexo 1., Pp. 286

TABLA 20 LÍMITES DE DESCARGA AL SISTEMA DE ALCANTARILLADO PÚBLICO

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Cloruros	Cl ⁻	mg/L	-
Cromo Hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/L	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/L	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/L	500
Aceites y Grasas	-	mg/L	-
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/L	40
Sólidos Sedimentables	-	ml/L	20
Sólidos Suspendedos Totales	SST	mg/L	220
Sólidos totales	ST	mg/L	1 600
Potencial de hidrógeno	pH	-	5-9

Fuente: TULAS., Libro VI., Anexo 1., Tabla 11., Pp. 326 -328

1.6.4 LEY ORGÁNICA DE LA SALUD

Es de vital importancia conservar la calidad del agua Art. 6, aplicar un tratamiento de aguas residuales apropiado pues se prohíbe la descarga de efluentes contaminados sin previo tratamiento Art. 103.

1.6.5 NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES (IEOS)

Normas ecuatorianas en donde establecen criterios básicos de diseño para el tratamiento de aguas residuales y sistemas de abastecimiento de agua potable, tomando como referencia sistemas y procesos con tecnología adecuada.

En las normas IEOS constan de varias partes en donde se trata desde definición de términos, etapas a considerarse en el proyecto, normas de la calidad de agua con la concentración aceptable de las sustancias contaminantes, disposiciones específicas acerca de los requisitos para el diseño de los equipos a emplearse en el sistema; entre otros puntos los cuales se detallan en la mencionada norma.

Se acentúa que en 1992 el sector se descentralizó con la Ley de Descentralización y se asignó la rectoría del sector al MIDUVI, por lo que el IEOS se fusionó con el MIDUVI.²¹ De manera que actualmente usa los datos establecidos inicialmente en las normas IEOS.

1.6.6 INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN)

Se toma como referencia la norma técnica 2198:98 acerca de la calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de las muestras; hace mención acerca de lineamientos específicos al momento de la toma de muestra de manera que sea significativa y los resultados no se distorsionen.

²¹Decreto Ejecutivo N° 1820., Registro Oficial No. 461 de 14 de junio de 1994

Es de gran importancia el conocimiento de manejo y conservación de las muestras para los diferentes parámetros, ya que, de los resultados de los análisis de las pruebas físicas-químicas dependerá el sistema de tratamiento para el agua residual.

1.6.7 ORDENANZA MUNICIPAL

Es de interés del Ilustre Consejo Cantonal de Ambato la preservación del medio ambiente para garantizar a la población un ambiente sano. Para el control de la contaminación del agua Art. 6 se apoyará en la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes: recurso agua, detallada en el Texto Unificado de Legislación Secundaria. Los desechos líquidos deben ser tratados antes de su descarga al sistema de alcantarillado Art. 61 y Art. 53.

CAPÍTULO II

2 PARTE EXPERIMENTAL

2.1 MUESTREO

Previo al muestreo del agua residual se identificó los afluentes en las etapas de ribera y curtido, posteriormente se realizó los balances de masa para determinar los efluentes en cada una de las operaciones correspondientes a los dos etapas de estudio.

En base a los datos obtenidos se elaboró una planificación para la toma de la muestra, tomando como referencia la norma técnica INEN 2198:98.

2.1.1 PLAN DE MUESTREO

Se realizó en dos días consecutivos, en base al consumo de agua para cada una de las operaciones y determinando el porcentaje que representa del consumo de agua total para la etapa. Posteriormente se determinó la alícuota a tomarse para cada operación, siendo la cantidad de muestra a analizar de 2 L; obteniendo finalmente una muestra compuesta para ambos casos.

La muestra obtenida del día 1 se dejó en refrigeración a una temperatura de 4 C, según lo establecido en la norma técnica INEN 2198:98 en el punto de refrigeración y congelación de las muestras.

Una vez obtenida la muestra compuesta se midió la temperatura y el pH, en el laboratorio de control de calidad de la empresa.

2.1.2 TÉCNICA DE RECOLECCIÓN

Los recipientes empleados para la toma de muestras fueron de vidrio oscuro, los mismos que se lavaron con agua destilada para asegurar su inocuidad. Para el llenado de recipientes en el caso de los parámetros físico – químicos primero se homogenizó la muestra, luego se adicionó cada una de las alícuotas hasta obtener los 2 L de la muestra compuesta.

Los frascos se llenaron completamente y fueron bien tapados, para evitar la presencia de aire sobre la muestra.

2.1.3 MANEJO DE LAS MUESTRAS

Cada una de las muestras fueron debidamente identificadas con datos como: nombre de la etapa que se tomó la muestra, fecha, hora de inicio, hora final de la toma, y responsable del muestreo.

El transporte de las muestras se realizó en un cooler portátil con hielo, para su conservación y se llevó al laboratorio para su respectivo análisis de los parámetros indicados en la tabla 20.



Fuente: El autor

Foto 1 Muestras de la etapa de Ribera



Fuente: El autor

Foto 2 Muestras de la etapa de Curtido

2.2 METODOLOGÍA

2.2.1 RECONOCIMIENTO DE LA PLANTA

Para inicio del presente estudio se hizo el reconocimiento de la planta, mediante un recorrido y explicación por el Gerente de producción en cada una de las operaciones correspondientes al proceso de producción de cuero, complementando los con la investigación bibliográfica acerca de la tecnología de la producción y se relacionó con las operaciones que la empresa emplea.

Posteriormente se realizó los diagramas de flujo para las etapas de ribera y curtido conociendo las entradas como: agua y productos químicos empleados en cada una de las operaciones, para determinar los desechos generados como los efluentes líquidos y los contaminantes contenidos.

2.2.2 DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA

Se valió del método de aforo, el cual consiste en conocer el tiempo que demora en llenar un recipiente de volumen conocido, para posteriormente calcular el consumo de agua para cada una de las operaciones en base al tiempo que emplean el agua en el proceso.

Las mediciones por el método de aforo se hicieron por cinco días consecutivos en diferentes horas, de manera que los datos sean reales y representativos.

Entonces al conocer el volumen del recipiente y tiempo de llenado, se calcula el caudal en mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V_b}{t} \quad (\text{Ec. 46})$$

Donde:

Q = Caudal usado en el proceso (L/min)

V_b = Volumen del recipiente (L)

t = Tiempo de llenado del balde (min)

Al multiplicar por el tiempo de uso del agua para cada operación se obtiene el volumen de consumo.

$$V = Q \times t \quad (\text{Ec. 47})$$

Donde:

V = Volumen de agua de consumo por cada operación (L)

Q = Caudal usado en el proceso (L/min)

t = Tiempo de uso de cada operación (min)

También se realizó mediante el volumen del bombo para cada uno de los baños utilizados en el procesamiento de un lote de producción, mediante la siguiente ecuación:

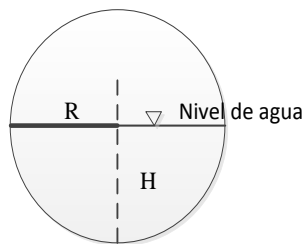
$$VB = \left[\left(\frac{\pi}{2} \right) \times R^2 \right] \times L \quad (\text{Ec. 48})$$

Donde:

VB = Volumen utilizado del bombo (m^3)

R = Radio del bombo (m)

L = Largo del bombo para cada operación (m)



El volumen de agua desplazado por el peso de la piel en el bombo, es aproximadamente 30-40% de VB. Entonces el volumen de agua efectivo por baño es 0.7VB o 0.6VB.

Finalmente sumando los volúmenes de los baños correspondientes a cada etapa, se obtiene el volumen del agua (VH).

2.2.3 DETERMINACIÓN DEL EFLUENTE DE AGUAS RESIDUALES

Se determinó mediante los balances de masa para las etapas de ribera y curtido, considerando el porcentaje de absorción de la piel en cada operación, por ejemplo en la

operación de remojo la piel absorbe el 30% del agua adicionada, lo que la cantidad de agua descargada será menor.

2.2.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Previo al diseño se hizo un modelo del sistema de tratamiento en donde constan sus componentes, mismo que se puede visualizar en el Anexo 1, siendo el prototipo para el diseño definitivo en base al caudal a tratar, análisis físico químico y normas ecuatorianas para estudio, diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales.

2.2.5 MÉTODOS Y TÉCNICAS

2.2.5.1 MÉTODOS

a) MÉTODO DEDUCTIVO

Para curtiembres se dispone de propuestas de sistemas de tratamientos de aguas residuales industriales, pero su diseño está en función de la forma de procesamiento de las pieles, compuestos químicos, volumen de agua, entre otros. Entonces por medio del análisis de la realidad de la empresa se realizó la medición del caudal, la caracterización de las aguas residuales, y en base a los resultados se diseñó el sistema de tratamiento de aguas residuales para la TENERÍA SAN JOSÉ de las etapas de ribera y curtido.

b) MÉTODO EXPERIMENTAL

Tiene relación directa con los aspectos específicos acerca de la caracterización de las aguas residuales, ya que, mediante los parámetros obtenidos se realizó la propuesta del sistema de tratamiento en base al porcentaje de remoción y eficiencia de cada equipo del sistema de tratamiento y finalmente se ejecutó su diseño con parámetros generales establecidos en las normas IEOS.

2.2.5.2 TÉCNICAS

Tabla 21 Determinación de la DQO método APHA 5220 D

Fundamento	Objetivo	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>Una muestra se somete a reflujo con una solución de dicromato de potasio en medio ácido al 50%, y el exceso de bicromato se titula con sulfato ferroso amoniacal. La cantidad de materia orgánica oxidable es proporcional al bicarbonato de potasio que se consume.</p>	<p>Determinar la cantidad de compuestos oxidables presentes en el agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Aparato de reflujo - Probeta graduada - Vaso de precipitación - Pipetas volumétricas <p style="text-align: center;">Reactivos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bicarbonato de potasio - Ácido sulfúrico - Solución valorada de sulfato ferroso amoniacal 0,25 N. - Indicador de ferroín - Sulfato de plata en cristales 	<ul style="list-style-type: none"> - Poner 50 mL de muestra en el matraz esférico, junto con 25 mL de bicarbonato de potasio. - Luego, con cuidado adicionar 75 mL de ácido sulfúrico, mezclando después de cada adición. - Fijar el matraz al refrigerante y someter la mezcla a 2 horas de reflujo. - Diluir la mezcla a unos 350 mL y titular el exceso de bicarbonato con sulfato ferroso amoniacal valorado. 	<p>Se determina a partir de la siguiente ecuación:</p> $\frac{mg}{L} \text{ de DQO} = \frac{(a - b)c \times 8000}{mL \text{ de muestra}} - d$ <p>Donde:</p> <p>DQO = Demanda química de oxígeno al bicromato.</p> <p>a = mL de sulfato ferroso amoniacal usado para el testigo.</p> <p>a = mL de sulfato ferroso amoniacal usado para la muestra.</p> <p>c = Normalidad del sulfato ferroso amoniacal</p> <p>d = Corrección por Cl = mg/L de Cl × 0,23</p>

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método APHA 5220 D., Pp. 356 - 357

Tabla 22 Determinación de la DBO método APHA 5210B

Fundamento	Objetivo	Materiales	Procedimiento	Cálculos
La muestra de agua es incubada por cinco días a 20 C en la oscuridad, el progreso de la descomposición o estabilización de la materia orgánica en el agua se refleja en un lento agotamiento del oxígeno disuelto durante el periodo de incubación.	<ul style="list-style-type: none"> - Conocer la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable. - Determinar la carga contaminante del agua residual analizada. - Conocer la eficiencia del sistema de tratamiento aplicado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Frascos de incubación de 250-300 mL de capacidad. - Incubadora de aire o baño maría. <p style="text-align: center;">Reactivos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agua destilada - Solución amortiguadora de fosfato. - Solución de sulfato de magnesio. - Solución de cloruro de calcio. - Solución de cloruro férrico. - Solución de sulfito de sodio 0,025 N. - Inóculo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Preparación del agua de dilución. - Inoculación, adición de una población adecuada de microorganismos, para que oxiden la materia orgánica biodegradable. - Pretratamiento, tratamientos específicos según la muestra a analizar. - Dilución, de acuerdo a la muestra. - Determinación del OD, - Incubación, por cinco días a 20 C. - Corrección por el inóculo. - Control del agua por dilución. 	<p>Se determina de la siguiente forma:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cuando no se requiere inoculación: $mg/L \text{ de DBO} = \frac{D_1 - D_2}{P}$ - Cuando se emplea agua de dilución inoculada: $mg/L \text{ de DB} = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)f}{P}$ <p>Donde:</p> <p>D_1 = OD de la muestra diluida, después de 15 min de su preparación.</p> <p>D_2 = OD de la muestra diluida, después de la incubación.</p> <p>P = Fracción decimal, de la muestra usada.</p> <p>B_1 = OD de la disolución de control del inóculo, antes de la incubación.</p> <p>B_2 = OD de la disolución de control del inóculo, después de la incubación.</p> <p>f = Relación del inóculo en la muestra al inóculo en el control.</p>

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método APHA 5210 B., Pp.282 - 288

Tabla 23 Determinación de sólidos totales método APHA 2540 B

Fundamento	Objetivo	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>Se evapora una muestra correctamente mezclada, en una placa previamente secada y pesada a peso constante en un horno a 103-105 C.</p> <p>El aumento de peso en la placa vacía representa los sólidos totales.</p>	<p>Estimar la cantidad de materia disuelta y en suspensión presente en el agua residual.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cápsulas de porcelana de 90 mm de diámetro - Desecador - Horno de mufla - Horno de secado - Balanza de análisis 	<ul style="list-style-type: none"> - Llevar las cápsulas una vez pesadas al horno de secado a 103-105 C durante una hora, luego poner en el desecador por el tiempo necesario. - Poner un volumen de la muestra considerable y mezclada en la cápsula, evaporarla hasta que se seque en un horno de secado a 2 C o baño de vapor. - Secar la muestra evaporada en un horno a 103-105 C por una hora. - Enfriar en el desecador y pesar. - Realizar varios ensayos hasta obtener el peso constante. 	<p>Para determinar los sólidos totales se realiza mediante la siguiente ecuación:</p> $\text{mg de sólidos totales/L} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{Volumen de la muestra en mL}}$ <p>Donde:</p> <p>A= Peso de residuo seco + cápsula mg</p> <p>B= Peso de la cápsula en mg</p>

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método APHA 2540B., Pp. 81

Tabla 24 Determinación de sólidos sedimentables método APHA 2540 B

Fundamento	Objetivo	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>Indica la cantidad de sólidos que pueden sedimentarse a partir de un volumen dado de muestra en un tiempo determinado.</p>	<p>Conocer la cantidad de sólidos que pueden ser eliminados en el tratamiento primario de las aguas residuales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cono Imhoff - Soporte para el cono - Varilla de agitación 	<ul style="list-style-type: none"> - Homogenizar la muestra e inmediatamente llenar el cono Imhoff hasta la marca de 1 L. - Dejar que la muestra repose por 45 min. - Dejar que la muestra repose por 45 min. - Se remueven suavemente las paredes con una varilla para facilitar la sedimentación de los sólidos adheridos a las paredes. - Dejar reposar por otros 15 min y se registra el volumen de sólidos sedimentables en el cono como: mg/L. 	<p>Se usa la siguiente ecuación:</p> $mg/L \text{ de materia sedimentable} = mg/L \text{ de materia suspendida} - mg/L \text{ de materia no sedimentable}$

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método APHA 2540B

Tabla 25 Determinación de sólidos suspendidos totales método APHA 2540 D

Fundamento	Objetivo	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>Los sólidos en suspensión se determinan por diferencia de peso de un filtrado por el cual se hace pasar la muestra.</p>	<p>Establecer la cantidad de sólidos a ser tratados en tratamiento secundario.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cápsulas de porcelana - Tubos de centrifugadora - Desecador - Estufa de secado (103-105C) - Balanza analítica - Papel filtro 	<ul style="list-style-type: none"> - Poner en la estufa la cápsula limpia, llevar al desecador por y pesar antes de usarla. - Filtrar un volumen determinado de la mezcla. - Lavar la mezcla con agua destilada. - Colocar el filtro en una cápsula y secarlo en la estufa a 103-105 C por 1 hora. - Poner en el desecador para que se enfríe. - Pesar las cápsulas. 	<p>Se calcula a partir de la siguiente ecuación:</p> $\text{mg de sólidos suspendidos/L} = \frac{(A - B) \times 1000}{\text{Volumen de la muestra en mL}}$ <p>Donde:</p> <p>A= Peso de residuo seco + cápsula mg</p> <p>B= Peso de la cápsula en mg</p>

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método APHA 2540D

Tabla 26 Determinación de aceites y grasas método APHA 5520 C

Fundamento	Objetivo	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>Los aceites y grasas disueltas se extraen de las aguas por contacto íntimo con diversos disolventes orgánicos.</p>	<p>Obtener la cantidad de aceites y grasas con tenidas en el agua residual que puedan ocasionar mal olor y se requieran de un tratamiento.</p>	<p>- Embudo de separación, con llave</p> <p>Reactivos</p> <p>- Ácido sulfúrico</p> <p>- Éter de petróleo, con punto de ebullición de 35-60 C.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Verter 1 L de la muestra en el embudo de separación. - Se acidula la muestra con 5 mL de ácido sulfúrico por litro. - Lavar el frasco de la muestra con 15 mL de éter de petróleo y agregar los lavados al embudo. - Adicionar 25 mL adicionales de éter al embudo y agitar por 2 min. - Se deja separar la capa etérea y se vierte la porción acuosa de la muestra a un recipiente. - Se regresa la muestra al embudo de separación, se lava el recipiente con 15 mL de éter agregar el lavado y un volumen adicional de 25 mL de éter al embudo de separación y se agita por 2 min. - Se deja separar la capa etérea y se desecha la porción acuosa. - En baño maría se destilan los extractos, se vaporiza, se enfría en el desecador y se pesa 	<p>Si se conoce que el éter de petróleo no deja ningún residuo, el aumento de peso del matraz tarado se deberá a la presencia de aceite y grasa de la muestra de agua.</p> <p>Se obtiene por medio de la siguiente ecuación:</p> $mg/L \text{ de aceite - grasa} = \frac{\left(\begin{matrix} mg \text{ brutos de aumento} \\ - mg \text{ del residuo del disolvente} \end{matrix} \right) \times 1000}{mL \text{ muestra}}$

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método APHA 5520 C

Tabla 27 Determinación de cloruros método 4500 Cl⁻ B

Fundamento	Objetivo	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>El cloruro se determina por titulación potenciométrica con solución de nitrato de plata, usando un sistema de electrodos de cristal y de plata – cloruro de plata.</p>	<p>Conocer la presencia de cloruros en el agua residual que puedan corroer las tuberías, al momento de su descarga.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Electrodos de cristal y de plata – cloruro de plata. - Voltímetro electrónico. - Agitador mecánico - Vaso de precipitación de 250 mL <p style="text-align: center;">Reactivos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Solución valorada de cloruro de sodio - Ácido nítrico concentrado - Solución valorada de nitrato de plata - Reactivos especiales para pretratamiento: ácido sulfúrico, peróxido de hidrógeno, hidróxido de sodio. 	<ul style="list-style-type: none"> - En un vaso de 250 mL poner 100 mL de muestra. - Acidular la muestra con ácido sulfúrico al vire del papel tornasol. Se hierve por 5 min para eliminar los compuestos volátiles al tornasol y se vierten 10 gotas al exceso. - Se filtra y se lava varias veces tanto el precipitado como el papel con agua caliente. - Se agrega ácido nítrico hasta que la solución se presente ácida al tornasol y se vierte un exceso de 2,0 mL. - Se sumergen en la muestra el agitador y los electrodos, luego se pone en marcha el agitador. - Finalmente se realiza la titulación y se visualiza la lectura de vire. 	<p>Se usa la siguiente ecuación:</p> $mg/L \text{ de Cl} = \frac{(mL \text{ de } AgNO_3 - mL \text{ de testigo}) \times normalidad \times 35,46 \times 1000}{mL \text{ de muestra}}$

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método APHA 4500 Cl⁻ B., Pp. 279 - 282

Tabla 28 Determinación de nitrógeno total método Kjeldahl

Fundamento	Objetivo	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>Ésta determinación incluye el nitrógeno amoniacal y el nitrógeno orgánico. Se determina por el método de Kjeldahl que usa sulfato mercúrico como catalizador, convierte el nitrógeno ligado orgánicamente en el estado trivalente a bisulfato de amonio, por digestión con ácido sulfúrico</p>	<p>Conocer los niveles de toxicidad de las aguas residuales analizadas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Matraz de Kjeldahl de 800 mL - Aparato digestor - Aparato de destilación <p style="text-align: center;">Reactivos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agua exenta de amoniaco - Solución amortiguadora de fosfato - Solución de sulfato mercúrico - Solución de ácido sulfúrico-sulfato mercúrico-sulfato de potasio - Solución hidróxido de sodio-tiosulfato de sodio - Indicador de fenolftaleína - Ácido bórico con indicador - Solución valorada de ácido sulfúrico 0,02 N 	<ul style="list-style-type: none"> - Adicionar 100 mL de muestra al matraz de Kjeldahl, agregar 50 mL de la solución ácido-sulfato. - Se digiere la muestra por ebullición durante 20 a 30 min, después de que se haya clarificado la solución. - Se enfría el residuo y se agregan 300 mL de agua exenta de amoniaco. - Se alcaliza con una solución hidróxido de sodio-tiosulfato de sodio. Se destila en 50 mL del ácido bórico con indicador hasta que se hayan recolectado unos 200 mL del destilado. - Se titula el amoniaco con ácido sulfúrico 0,02 N hasta el vire del indicador. - Se lleva un testigo de los reactivos y se aplica las correcciones necesarias. 	<p>Se usa la siguiente ecuación para su cálculo:</p> $\frac{mg}{L} \text{ de } N \text{ total} = \frac{\left(\text{mL de } H_2SO_4 \text{ para muestra} - \text{mL de } H_2SO_4 \text{ para testigo} \right) \times 280}{\text{mL de la muestra}}$

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método Kjeldahl

Tabla 29 Determinación de sulfuros método APHA 4500 S⁻²

Fundamento	Objetivo	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>La muestra es tratada en un cilindro de aereación junto con otros reactivos, para finalmente titular con sulfito de sodio.</p>	<p>Determinar la cantidad de sulfuros que en medio ácido pasarán a ácido sulfúrico el cual posee un olor desagradable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Cilindro de aereación de 1L - Disco filtrante - Vaso de precipitación <p style="text-align: center;">Reactivos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ácido sulfúrico concentrado - Bióxido de carbono - Acetato de zinc - Solución de yodo - Sulfito de sodio 0,025 N 	<ul style="list-style-type: none"> - Verter 500 mL de la muestra en un cilindro de aereación, equipado en el fondo con un disco filtrante. - Se acidula la muestra con 10 mL de ácido sulfúrico concentrado y se hace burbujear a través de la muestra CO₂ por 1 hora, de manera que no arrastre sulfuro. - A la solución de acetato de zinc se agrega la solución de yodo en exceso para que reaccione con todos los sulfuros recolectados. - Se agregan 5 mL de ácido clorhídrico concentrado se tapa y se agita. - Se pasa el líquido a un vaso y se re-titulación sulfito de sodio empleando almidón como indicador. 	<p>Se calcula a través de la siguiente ecuación:</p> $mg/L \text{ de sulfuro total como } S^{-2} = \frac{(mL \text{ yodo} - mL \text{ sulfato de sodio}) \times 400}{mL \text{ de muestra}}$

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método APHA 4500 S⁻²., Pp.322 - 323

Tabla 30 Determinación de cromo total método APHA 3030 B, 3111 B

Fundamento	Objetivo	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>El contenido original de cromo hexavalente de la muestra se reduce, con sulfito de sodio, a la forma trivalente. La muestra se evapora a humos, con ácido sulfúrico, para destruir la materia orgánica.</p> <p>El cromo trivalente se oxida a la condición hexavalente por un ligero exceso de permanganato de potasio.</p>	<p>Determinar nivel de toxicidad que presentan las aguas residuales.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Matraz erlenmeyer - Equipo colorimétrico - Matraz aforado de 50 mL - Embudo <p style="text-align: center;">Reactivos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ácido sulfúrico - Solución de sulfito de sodio - Permanganato de potasio - Solución de nitrato de sodio 	<ul style="list-style-type: none"> - Poner un volumen determinado de la muestra en un matraz erlenmeyer, agregar 5 mL de ácido sulfúrico y 1 mL de solución de sulfito de sodio. - Dejar reposar por 10 min para reducción del cromo hexavalente. - Adicionar tres perlas de vidrio y cubrir el matraz con un pequeño embudo. - La muestra se evapora a humos y se mantiene en digestión por 15 min. - Después de que se enfríe la muestra, diluirla a unos 50-80mL. - Se lleva a ebullición y agregar permanganato de potasio, hasta que persista un ligero color rosa. - Agregar la solución de nitrato de sodio en gotas, hasta obtener una solución incolora, se elimina la materia suspendida por filtración. - Determinar por la curva fotométrica. 	<p>Se usa la siguiente relación:</p> $= \frac{mg/L \text{ de Cr total} \times 1000}{mL \text{ de muestra}}$

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método APHA 3030 B., 3111 B., Pp. 118 - 120

Tabla 31 Determinación de cromo hexavalente método APHA 3111 B, 3030 E

Fundamento	Objetivo	Materiales	Procedimiento	Cálculos
<p>El cromo hexavalente reacciona con la difenilcarbazida para producir una coloración violeta rojiza, en soluciones ligeramente ácidas.</p>	<p>Conocer la cantidad de cromo hexavalente presente en agua residual analizada.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Espectrofotómetro - Matraz aforado <p style="text-align: center;">Reactivos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agua exenta de cromo - Reactivo de difenilcarbazida - Solución madre de cromo - Solución patrón de cromo 	<ul style="list-style-type: none"> - Adicionar a 50 mL de la muestra 2,5 mL del reactivo de difenilcarbazida y se mezcla bien. - Se compara visualmente con patrones que contengan de 0,003 a 0,20 mL de cromo. - Se prepara una curva de calibración en el ámbito de cromo de 0,005 a 0,40 mg/L, si se va a aplicar la medición fotométrica 540mμ con un trayecto de luz de 5 cm. - Verificar las lecturas entre los 5 y 15 minutos después de la adición del reactivo. 	<p>Se calcula a través de la siguiente ecuación:</p> $= \frac{mg/LdeCrhexavalente \times 1000}{mLdemuestra}$

Fuente: Métodos normalizados para el análisis de aguas residuales y potables., método APHA 3111 B., 3030 E., Pp. 116 -117

2.3 DATOS EXPERIMENTALES

2.3.1 DIAGNÓSTICO

En la empresa Tenería San José tiene una producción mensual para la etapa de ribera de 2324 pieles en tripa, mientras que para la etapa de curtido la producción mensual es de 2464 de cuero en azul, descargando los efluentes de cada etapa sin previo tratamiento y lo más preocupante que son consideradas altamente contaminantes.

La etapa con alto grado de contaminación es de ribera, la cual consume aproximadamente el 65% de todo el proceso de producción, y utiliza varios productos químicos cuyos remanentes son descargados junto los efluentes líquidos. En la etapa de ribera se realizan varias operaciones dentro de las cuales la operación de pelambre es altamente contaminante ya que sus efluentes contienen alta materia orgánica por la destrucción del pelo, restos de sulfuro y cal.

Sin embargo en la etapa de curtido se usa el cromo como producto indispensable para obtener wet blue, siendo considerado un producto tóxico, cabe recalcar que las curtiembres al realizar el curtido al cromo es trivalente más no hexavalente siendo el más peligroso por ser cancerígeno.

Siendo ésta la realidad de la empresa, se propondrá un sistema de tratamiento de aguas residuales para disminuir el grado de contaminación.

2.3.2 DATOS

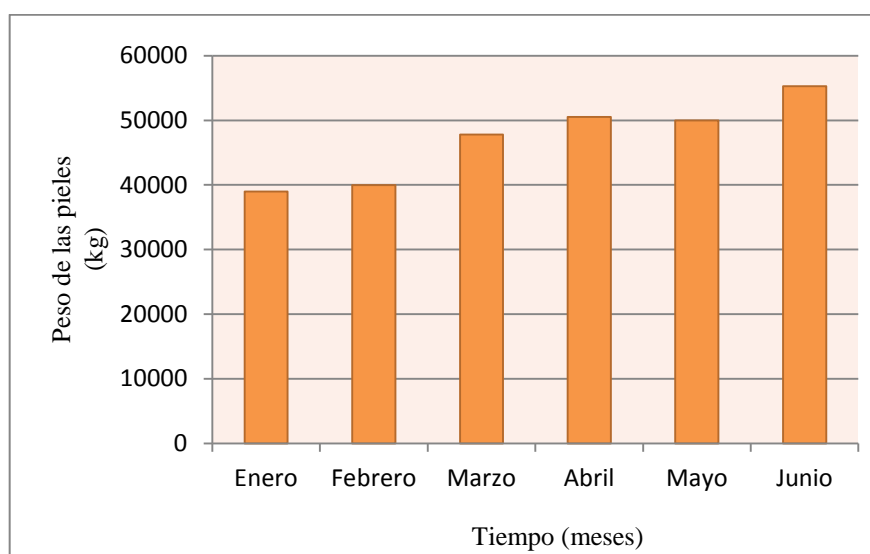
2.3.2.1 Datos de producción de pieles para Ribera y Curtido

Tabla 32 Número de producción de pieles de Ribera y Curtido

Proceso		Mes (2011)					
		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
RIBERA	Unidades	2100	2083	2450	2665	2780	2873
	Kilogramos	38982	47783	39977	50513	50000	55305
CURTIDO	Unidades	1697	2621	2460	3077	2951	3595
	Kilogramos	23357	35101	33936	42108	40039	49551

Fuente: Datos de producción de Tenerife San José

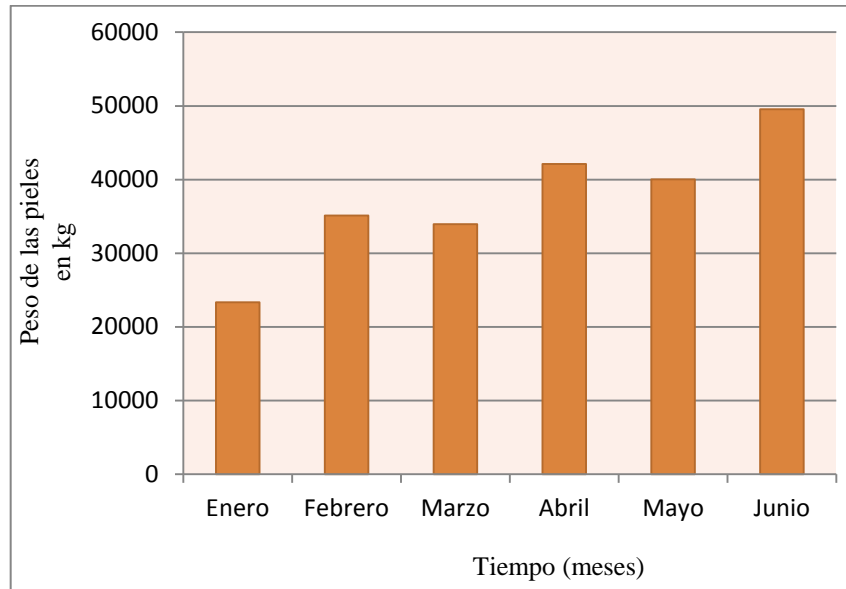
Gráfico 1 Relación de producción de pieles y tiempo para la etapa de ribera



Fuente: El autor

Tenería San José tuvo una mayor producción de piel en tripa en el mes de junio del 2011 con el 19%, generalmente los primeros meses la producción se va estabilizando, pues se realiza mantenimiento de maquinaria, inventarios; siendo la producción inicial del 14%.

Gráfico 2 Porcentaje de producción de pieles para la etapa de curtido



Fuente: El autor

La producción de wet blue que es el producto de la etapa de curtido fue mayor en el mes de junio con 22 %, al igual que en la etapa den ribera la producción se va poco a poco estabilizando, ya que la etapa de ribera provee la materia prima a la etapa de curtido y el proceso es secuencial.

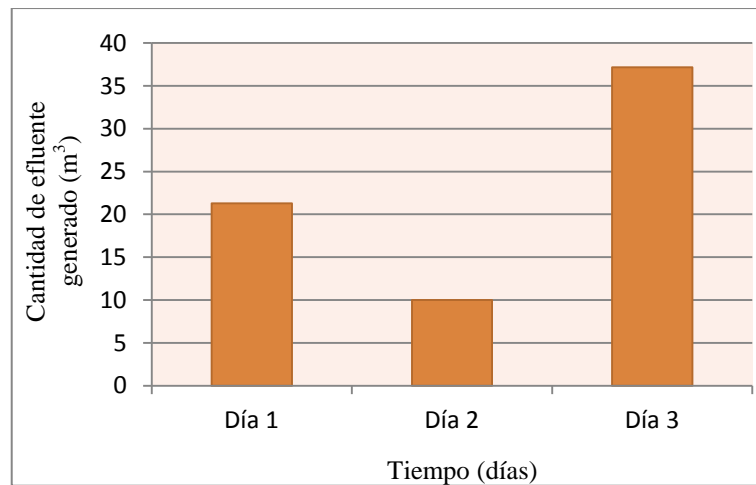
En el mes de enero la producción fue del 10%, pues la producción empieza la segunda semana del mes, debido a mantenimiento.

Tabla 33 Consumo de agua de la etapa Ribera para 8460 kg, 450 pieles

RIBERA	Operaciones	Volumen de agua m³ del afluente	Volumen de agua m³ del efluente	Consumo de agua por piel inicial (L/kg)
Día 1	Primer Lavado	9,09	8,36	0,989
	Segundo Lavado	7,26	6,68	0,789
	Remojo principal	7,26	6,24	0,738
	TOTAL	23,61	21,29	2,516
Día 2	Pelambre 1	3,63	3,45	0,408
	Pelambre 2	3,27	3,11	0,367
	Pelambre 3	3,63	3,45	0,408
	TOTAL	10,53	10,00	1,182
Día 3	Lavado de pelambre	32,73	32,08	3,791
	Dividido	8,01	2,67	0,316
	Lavado de divididora y descarnadora	7,26	2,42	0,286
	TOTAL	48,00	37,17	4,393

Fuente: Datos in situ

Gráfico 3 Cantidad de efluentes generados por la etapa de ribera para distintos días



Fuente: El autor

La etapa de pelambre constituye una serie de operaciones detalladas anteriormente, las mismas que se llevan a cabo en diferentes días y ocupan diferentes afluentes; el efluente total descargado es menor debido a la capacidad de absorción de las pieles.

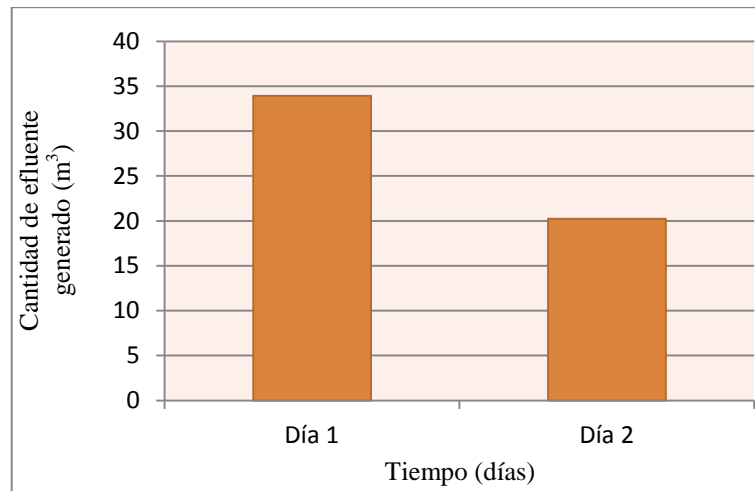
En el gráfico 3 se observa claramente que en el día 3 hay un mayor efluente generado con el 54% y se debe a los lavados prolongados de pelambre que se realizan al término de la etapa; el afluente ingresa aproximadamente por 90 minutos y los lavados se realizan a tapa abierta. Siendo el caudal mayor de 37,17 m³/d es el que se va a ocupar para el dimensionamiento de la primera fase.

Tabla 34 Consumo de agua para la etapa de Curtido para 2820 kg, 375 pieles

CURTIDO	Operaciones	Volumen de agua m³ del afluente	Volumen de agua m³ del efluente	Consumo de agua por piel inicial (L/kg)
Día 1	Lavado	10,05	10,05	1,92
	Desencalado-purgado	3,90	3,88	0,74
	Lavado	4,55	4,55	0,87
	Piquelado y curtido	15,45	15,43	2,95
	TOTAL	33,95	33,92	3,54
Día 2	Lavado de curtido	15,40	15,38	2,94
	Escurrido	4,80	4,86	0,93
	TOTAL	20,20	20,25	3,87

Fuente: Datos in situ

Gráfico 4 Cantidad de efluentes generados por la etapa de curtido para distintos días



Fuente: El autor

De igual manera la etapa de curtido incluye varias operaciones, el poder de absorción de la piel es menor; en la operación de escurrido se observa que el efluente generado es mayor se debe a la suma de la cantidad de agua contenida en la piel y la usada en la escurridora.

El día 1 se llevan a cabo una serie de operaciones siendo los lavados los que incrementan el efluente generado en el día, el primer lavado dura 13 minutos para eliminar restos de sulfuros y cal provenientes del pelambre. La suma de las 4 operaciones realizadas en el día uno dan un caudal mayor para la etapa de curtido siendo de 33,92 m³/d cuyo valor se usará para el dimensionamiento del sistema de tratamiento.

Tabla 35 Resultados de análisis físico-químico de la etapa de Ribera

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	3185
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	1200
Sólidos Totales	mg/L	29388
Sólidos Sedimentables	mg/L	100
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	800
Cloruros	mg/L	14800
Nitrógeno Total	mg/L	1629
Aceites y Grasas	mg/L	3,6
Sulfuros	mg/L	495
pH	-	12,7
Temperatura	C	22

Fuente: Resultados de Ensayo No. 1644., CESTTA

Al realizar una simple comparación de los resultados obtenidos de la etapa de ribera (tabla 35) con los límites establecidos por el TULAS expuestos en la tabla 20 se deduce que todos los parámetros están fuera de límites, por lo tanto el sistema de tratamiento debe incluir un pretratamiento para eliminar los sólidos gruesos como pelo destruido.

Además es necesario continuar con un tratamiento primario para tratar los sólidos sedimentables y finalizar con un tratamiento secundario para disminuir la materia orgánica contenida en el agua residual, la cual se ve reflejada por los valores elevados de DBO₅ y DQO. Es importante tratar las aguas provenientes de la etapa de ribera por separado debido al pH básico que presenta por productos químicos como sulfuros y cal que intervienen en la operación de pelambre.

Tabla 36 Resultados de análisis físico-químico de la etapa de Curtido

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADO
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	726
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	550
Sólidos Totales	mg/L	11632
Sólidos Sedimentables	mg/L	68
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	480
Cloruros	mg/L	4200
Nitrógeno Total	mg/L	674
Aceites y Grasas	mg/L	1,5
Cromo total	mg/L	102,05
Cromo hexavalente	mg/L	0,38
pH	-	3,8
Temperatura	C	13

Fuente: Resultados de Ensayo No. 1644., CESTTA

En la tabla 36 se encuentran los resultados de los análisis físico – químicos de las aguas residuales de la etapa de curtido los cuales al comparar con los parámetros expuestos en la tabla 20 se observa que se encuentran fuera del límite máximo permisible.

Las aguas residuales generadas de la etapa de curtido presentan un pH ácido, pues en la operación de piquel se usan ácidos como: ácido sulfúrico y fórmico; por su complejidad y presencia de cromo deben ser tratadas en forma separada para llegar a una homogenización y poder continuar el sistema de tratamiento secundario con las aguas provenientes de la etapa de ribera.

CAPÍTULO III

3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LAS ETAPAS RIBERA Y CURTIDO PARA LA TENERÍA SAN JOSÉ

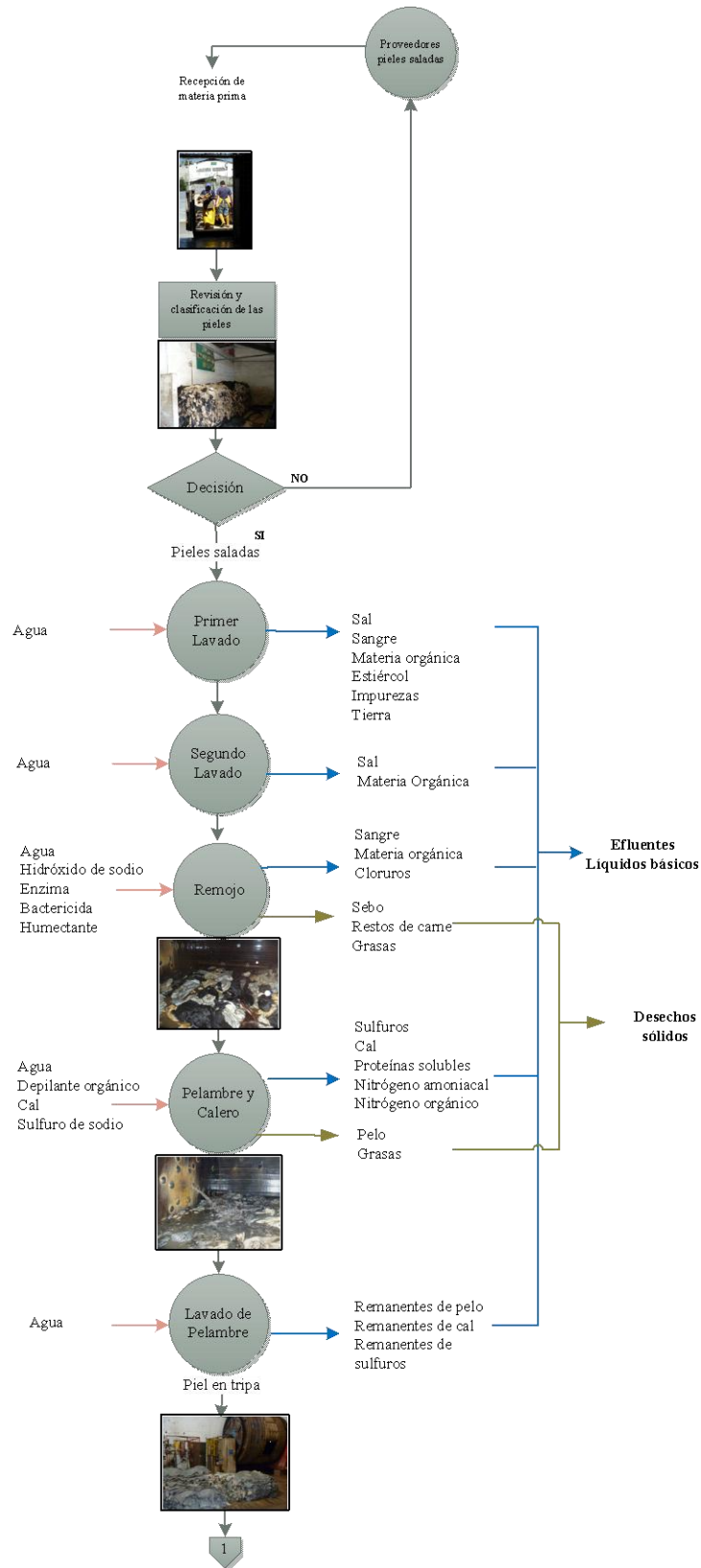
Con lo establecido anteriormente para el dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales se usa los valores del caudal a tratar y los resultados de los análisis físico-químicos, entonces los componentes del sistema de tratamiento del agua residual se exponen en el anexo 1.

3.1 IDENTIFICACIÓN DEL DIAGRAMA DE FLUJO

Tenería San José dispone de una planta de producción completa, de manera que el término de una etapa del proceso de producción puede continuar con la siguiente sin tener ningún retraso ni paro de producción lo que implicaría costos.

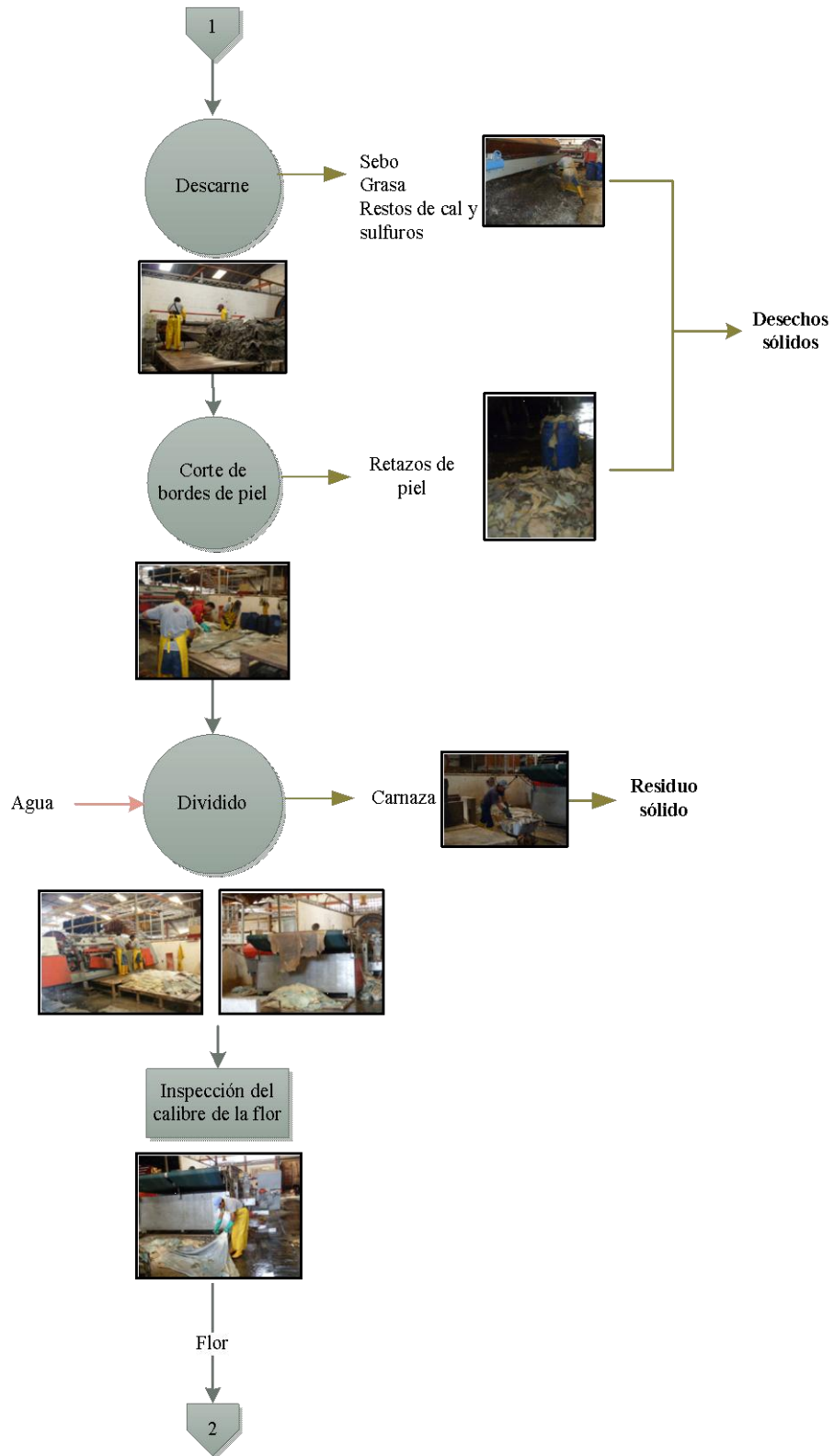
La empresa trabaja inicialmente con pieles saladas serranas, las cuales son seleccionadas y rechazadas las que no están aptas para el proceso. En las diferentes operaciones del proceso de la curtiembre intervienen diferentes productos químicos, cuyos remanentes se encuentran en las aguas residuales desechadas. A continuación se presentan los diagramas para las etapas de ribera y curtido.

Ilustración 1 Diagrama de flujo de la etapa de ribera



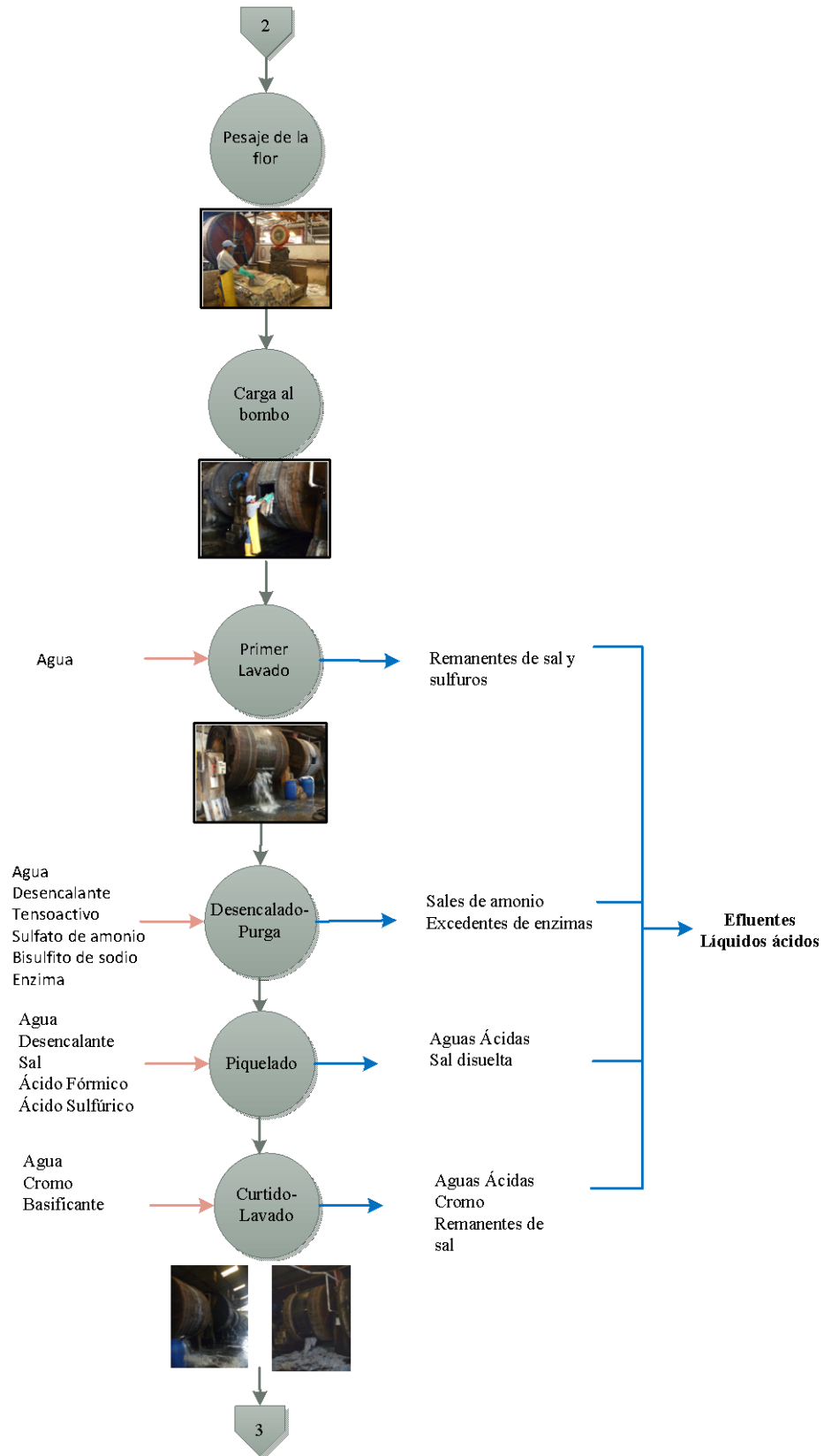
Fuente: El autor

Ilustración 2 Diagrama de flujo de la etapa de ribera



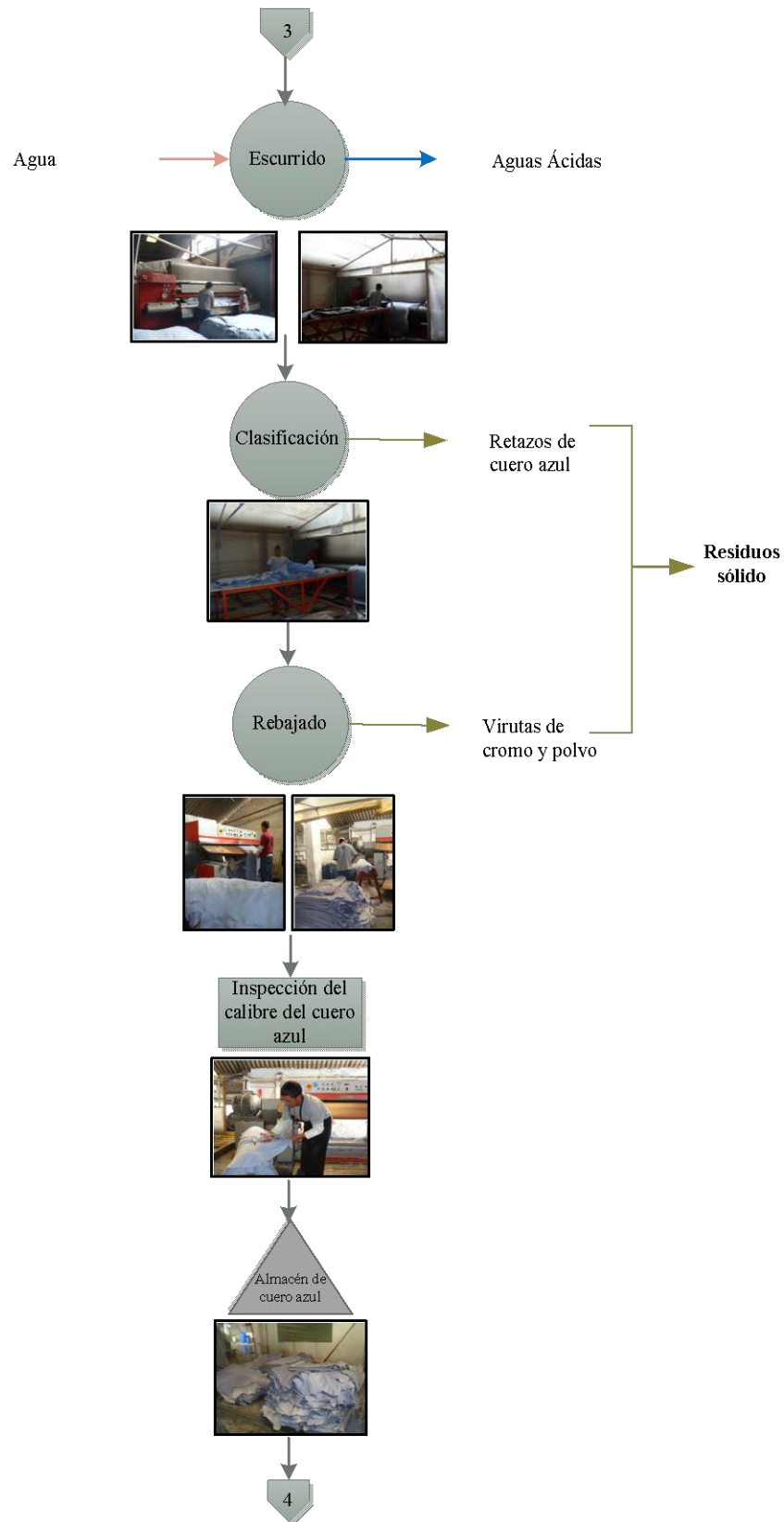
Fuente: El autor

Ilustración 3 Diagrama de flujo de la etapa de curtido



Fuente: El autor

Ilustración 4 Diagrama de flujo de la etapa de curtido



Fuente: El autor

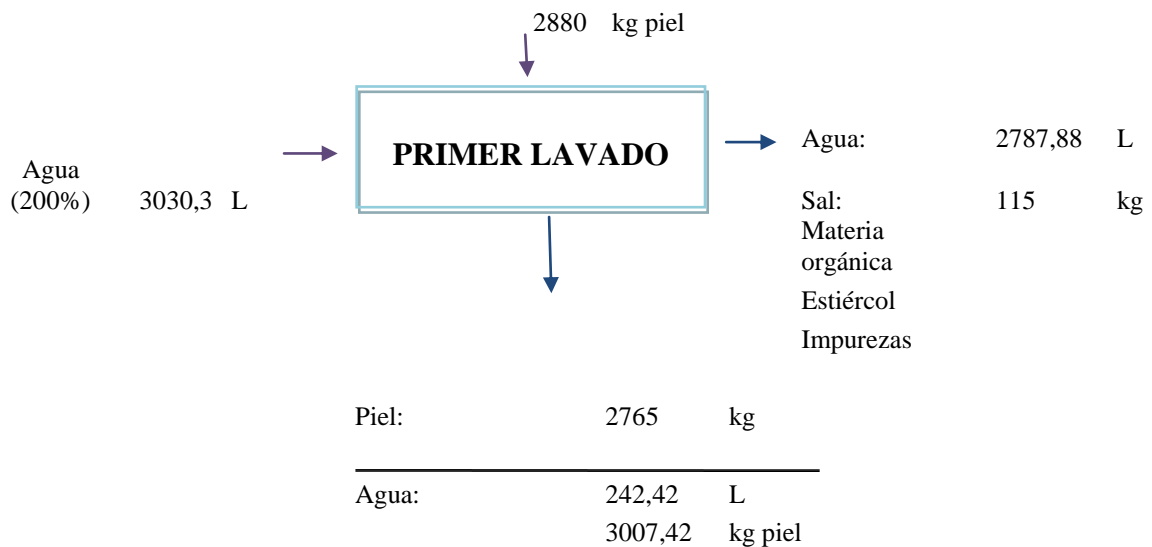
3.2 BALANCES DE MASA

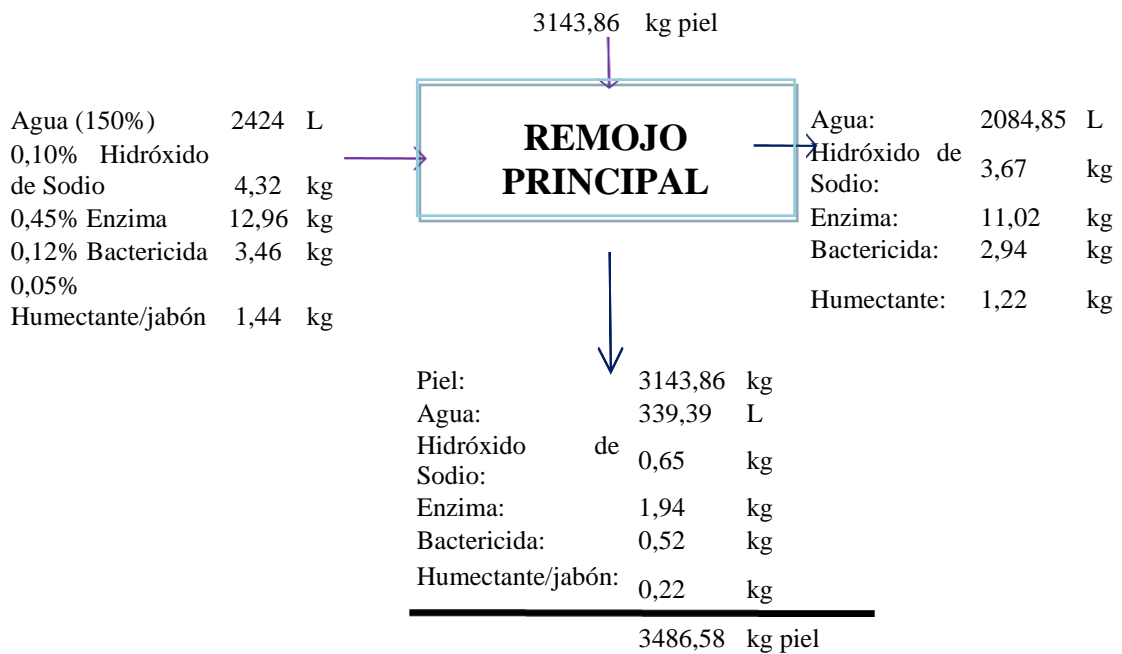
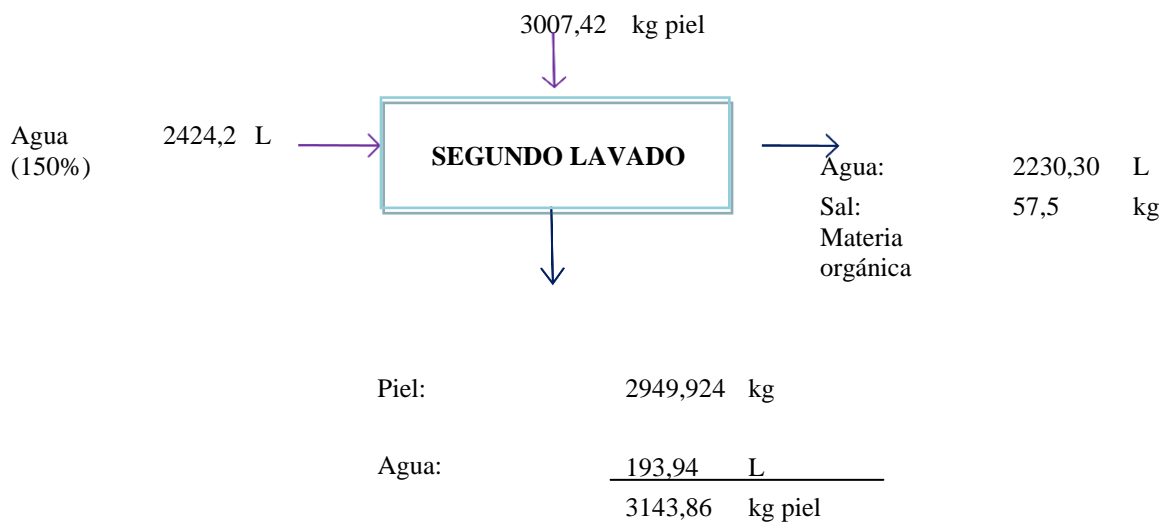
En base a la identificación de los diagramas de flujo y los datos de consumo de agua se realiza los balances de masa correspondientes para las operaciones de cada etapa, los mismos que se detallan a continuación.

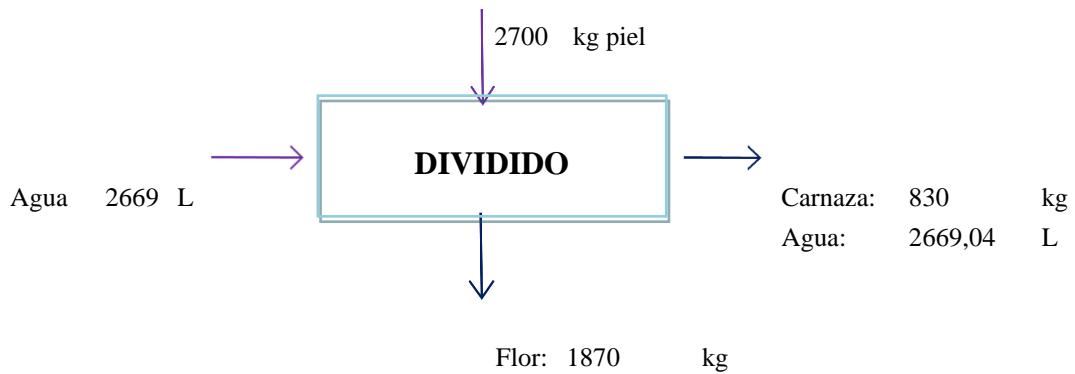
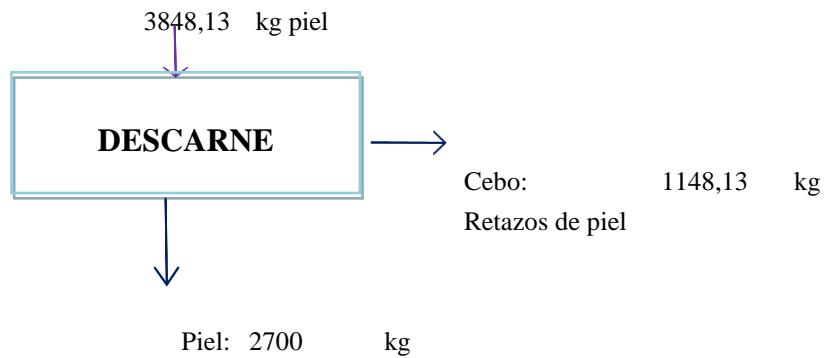
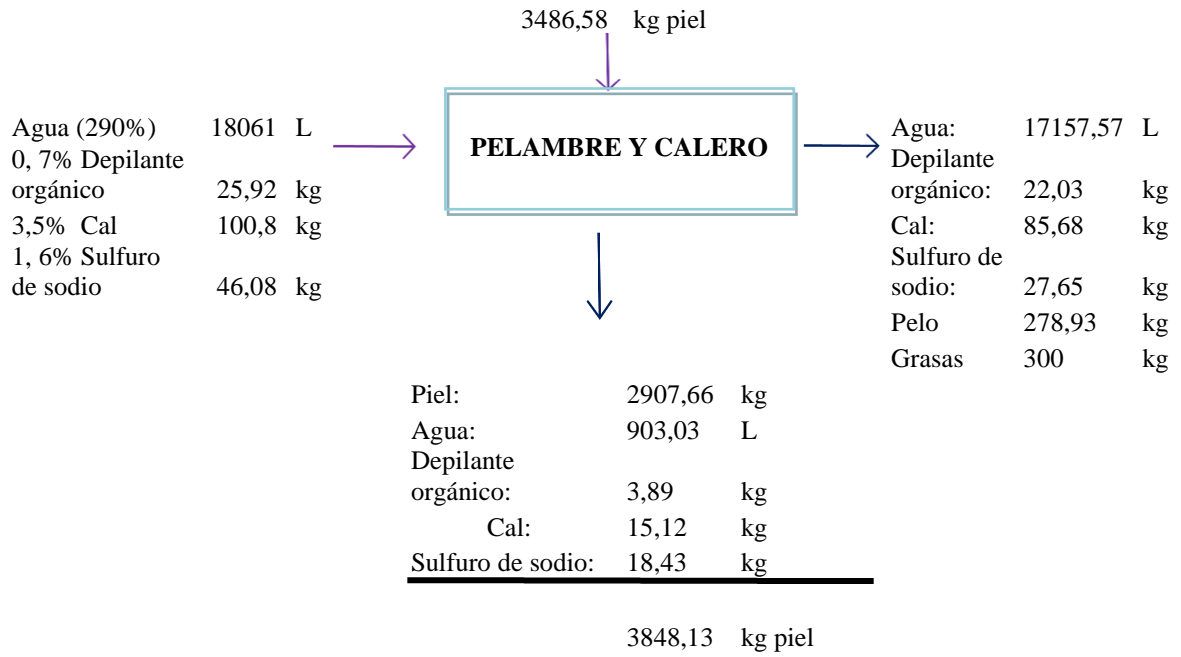
3.2.1 BALANCE DE MASA DE LA ETAPA DE RIBERA

El balance está realizado para 150 pieles, con un peso promedio de la piel de 21,00 kg y el peso total a procesar es 2880 kg

Para el balance también se asumen los siguientes valores base-promedios ponderados del fraccionamiento de una piel de 21 kg en sus diferentes etapas.





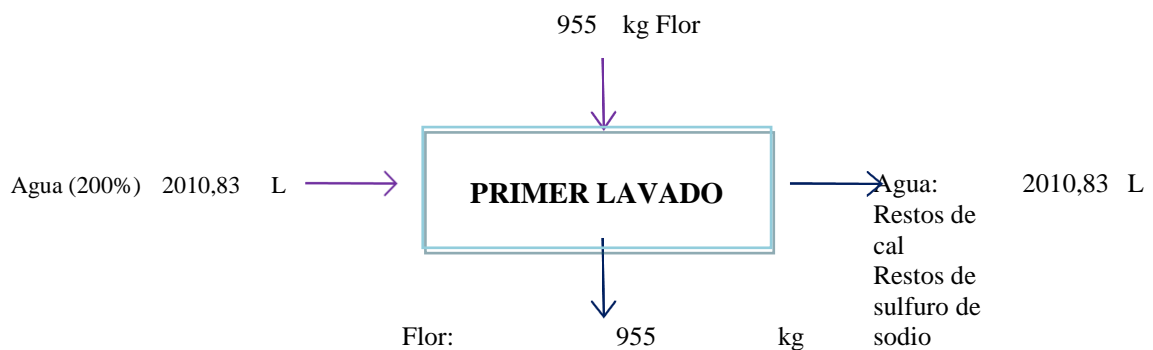


Nota²²:

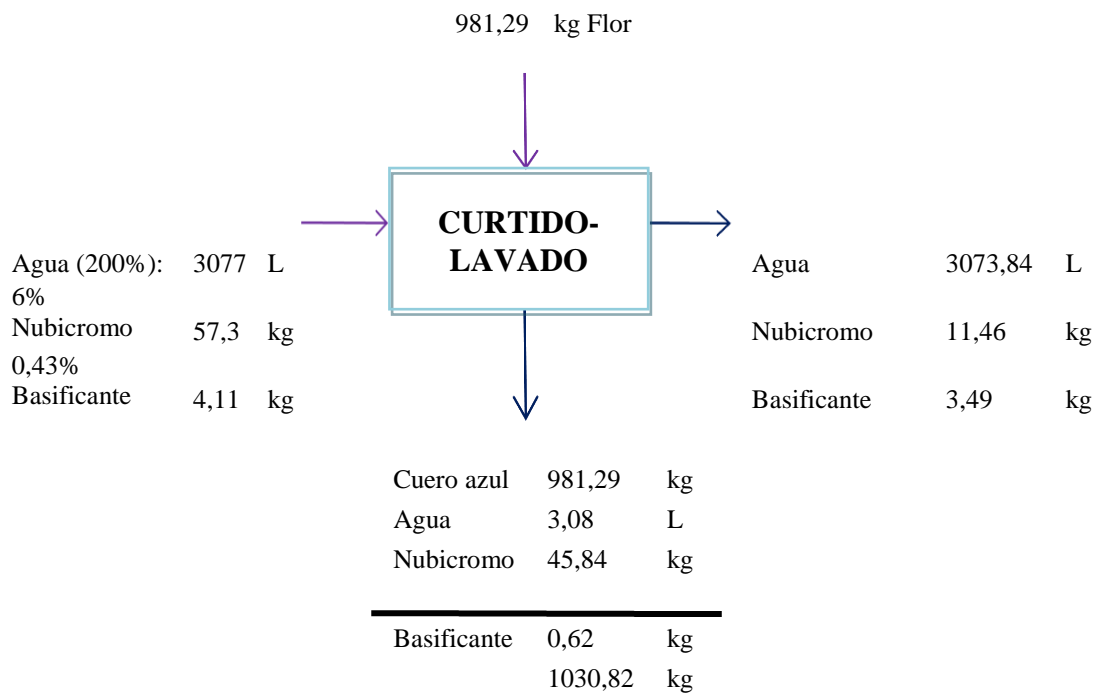
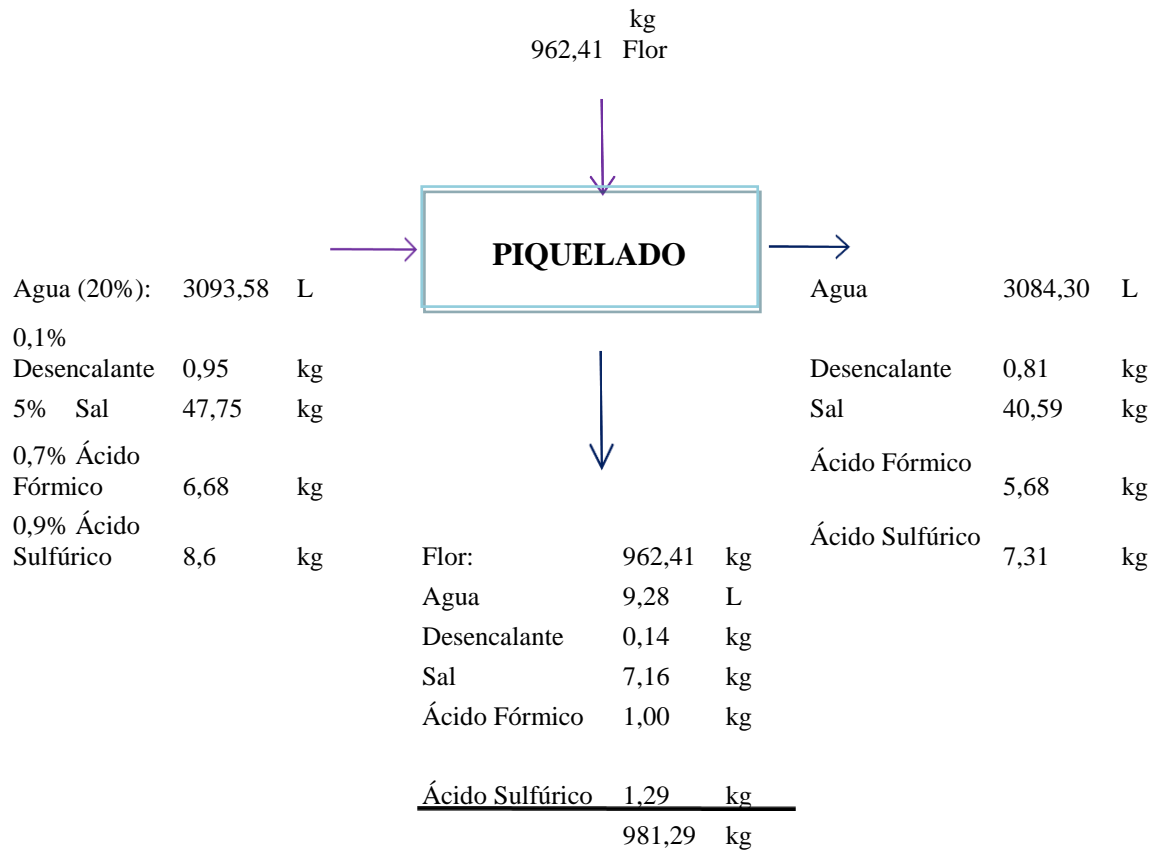
- Durante el remojo la piel absorbe el 30% del agua adicionada
- El agua se adiciona con base en el peso de la piel antes de iniciar el pelambre
- El Sulfuro de Sodio y la Cal se adicionan con base en el peso inicial de la piel salada (2880 kg)
- Aproximadamente el 10% del azufre adicionado se libera como ácido sulfhídrico
- El agua que sale representa el 350% (150% incluida en pelambre y 200% incluida en lavados)
- El 87% de la Cal sale con el 350% del agua
- El 42.3% del sulfuro de sodio sale con el 350% de agua, de acuerdo con la caracterización del efluente de pelambre.

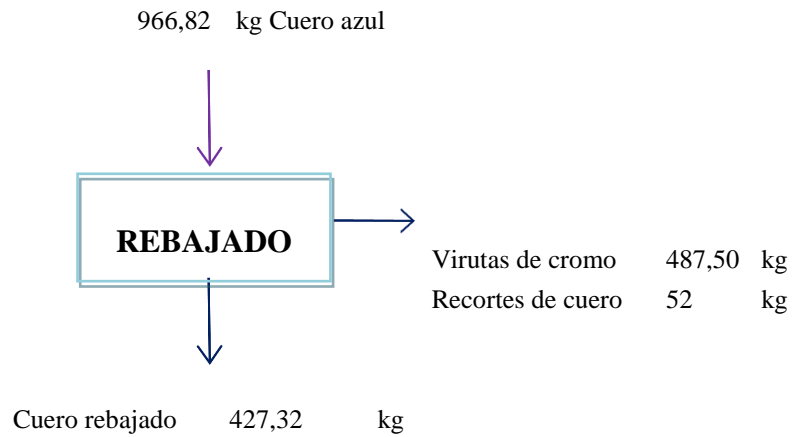
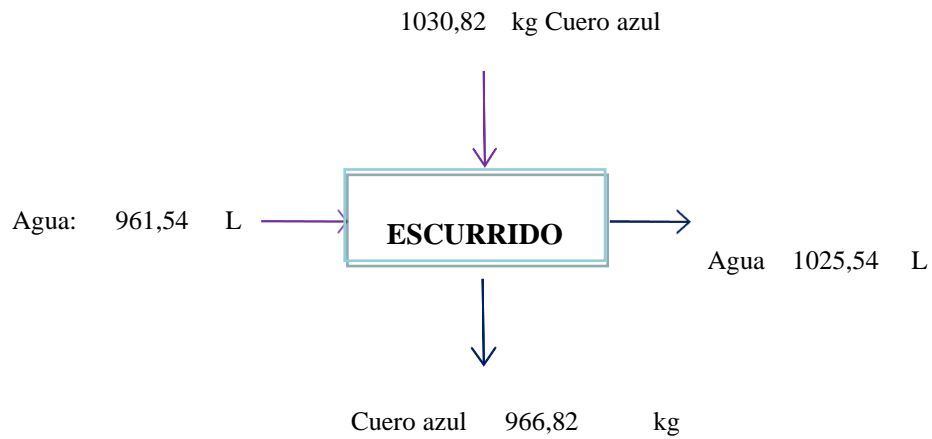
3.2.2 BALANCE DE MASA DE LA ETAPA DE CURTIDO

El balance de masa está realizado para un lote de producción correspondiente a 75 pieles, con un peso promedio de la piel de 12,7 kg y el peso total a procesar es 955 kg



²²**Fuente:** Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS), 2003





Nota²³:

- El 15 % de reactivos químicos se incorporan al cuero y el resto van al efluente.
- Del 20 – 30 % de cromo descargado en el efluente, ya que del 60 – 80 % se fija en la piel.

²³**Fuente:** Centro de Promoción de Tecnologías Sostenibles (CPTS), 2003

3.3 CÁLCULOS

3.3.1 CÁLCULOS PARA EL CANAL

Las dimensiones del canal para la etapa de ribera y curtido son:

$$b = 0,35 \text{ m}$$

$$h_1 = 0,4 \text{ m}$$

El área transversal del canal se calcula a partir de la ecuación 1.

$$A = b \times h_1$$

$$A = 0,35 \times 0,4$$

$$A = 0,14 \text{ m}^2$$

Dejando una altura de tirante para el canal de 0,3 m.

Posteriormente se calcula el radio hidráulico usando la ecuación 2.

$$R = \frac{b \times h}{b + 2h}$$

$$R = \frac{0,35 \times 0,4}{0,35 + 2 \times 0,4}$$

$$R = 0,122 \text{ m}$$

Además se calcula la velocidad a la que se transporta el fluido mediante la ecuación 3, usando una pendiente de 0,00057.

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

$$v = \frac{1}{0,013} \times 0,122^{2/3} \times 0,00057^{1/2}$$

$$v = 0,451 \text{ m/s}$$

3.3.2 CÁLCULOS PARA LAS REJILLAS

El sistema de tratamiento de aguas residuales, dispondrá de dos rejillas, a continuación se realizan los cálculos para la rejilla de la etapa de pelambre.

Datos, algunos de los siguientes valores se obtienen de la tabla 6.

$$Q = 37,16 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{Ancho} = 0,35 \text{ m}$$

$$\text{Profundidad} = 0,7 \text{ m}$$

$$\text{Separación entre barras} = 25 \text{ mm}$$

$$\text{Pendiente con relación a la vertical} = 45^\circ$$

$$\text{Velocidad de aproximación} = 0,45 \text{ m/s}$$

$$\text{Espesor de la barra} = 5 \text{ mm}$$

$$\text{Tipo de barra} = 1,79 \text{ (valor } \beta \text{ para forma circular)}$$

En base a los datos anteriores se calcula el área entre barras usando la ecuación 4:

$$A_b = \frac{Q}{v}$$

$$A_b = \frac{0,00043}{0,45}$$

$$A_b = 0,00095 \text{ m}^2$$

El área de la sección transversal del flujo, se calcula mediante la ecuación 5:

$$A_1 = \frac{A_b(W + e)}{W}$$

$$A_1 = \frac{0,00095 (0,025 + 0,005)}{0,025}$$

$$A_1 = 0,0011 \text{ m}^2$$

Posteriormente se calcula el número de barras, mediante la ecuación 6:

$$N^\circ = \frac{b - W}{W - e}$$

$$N^\circ = \frac{0,35 - 0,025}{0,025 - 0,005}$$

$$N^\circ = 16 \text{ Barras}$$

Luego se calcula el nivel máximo de agua a través de la ecuación 7:

$$d_{\max} = \frac{Q}{v \times b}$$

$$d_{\max} = \frac{0,00043}{0,45 \times 0,35}$$

$$d_{\max} = 0,0027 \text{ m}$$

Con el valor máximo del agua se calcula la longitud sumergida de la rejilla, usando la ecuación 8:

$$L_s = \frac{d_{\max}}{\text{sen}\delta}$$

$$L_s = \frac{0,0027}{\text{sen}45}$$

$$L_s = 0,0039 \text{ m}$$

Finalmente se calcula la pérdida de carga usando la ecuación 9:

$$h_c = \beta \left(\frac{e}{W} \right)^{4/3} \frac{v^2}{2g} \text{sen}\delta$$

$$h_c = 1,79 \left(\frac{0,005}{0,025} \right)^{4/3} \frac{0,45^2}{2 \times 9,8} \text{sen}45$$

$$h_c = 0,00153 \text{ m}$$

3.3.3 CÁLCULOS PARA EL SEDIMENTADOR PRIMARIO

El área superficial del sedimentador primario para la etapa de ribera se obtiene por medio de la ecuación 11:

$$A = \frac{Q}{V_c}$$

$$A = \frac{1,55}{2}$$

$$A = 0,775 \text{ m}^2$$

Luego se obtiene el ancho del sedimentador usando la ecuación 15:

$$A_n = \sqrt{A/2}$$

$$A_n = \sqrt{\frac{0,775}{2}}$$

$$A_n = 0,622 \text{ m}$$

El largo del sedimentador, se obtiene despejando la variable de la ecuación 12:

$$L_g = \frac{A}{A_n}$$

$$L_g = \frac{0,775}{0,622}$$

$$L_g = 1,246 \text{ m}$$

Con los valores del ancho, largo y altura se procede a calcular el volumen del sedimentador usando la ecuación 16.

$$V = A_n \times L_g \times h$$

$$V = 0,622 \times 1,246 \times 1,5$$

$$V = 1,16 \text{ m}^3$$

Mediante la ecuación 17 se determina el diámetro del sedimentador:

$$\phi = \sqrt{4 \times \frac{A}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt{4 \times \frac{0,775}{3,14159}}$$

$$\phi = 0,993 \text{ m}$$

El tiempo de retención hidráulico se calcula en base al caudal que se va a tratar en el sedimentador primario y el volumen del sedimentador, establecido en la ecuación 18:

$$\text{Trh} = \frac{Q}{V}$$

$$\text{Trh} = \frac{1,55}{1,16}$$

$$\text{Trh} = 1,34 \text{ h}$$

El área de la sección transversal se determina a partir de la ecuación 19

$$A_t = \frac{V}{L_g}$$

$$A_t = \frac{1,16}{1,246}$$

$$A_t = 0,931 \text{ m}^2$$

Finalmente se determina el porcentaje de remoción DBO_5 y sólidos suspendidos, obtenido en el sedimentador primario, usando la ecuación 20.

Para el porcentaje de remoción de DBO_5 se parte de la ecuación 20, usando valores de la tabla 13.

$$R = \frac{\text{Trh}}{a + b\text{Trh}}$$

$$R = \frac{1,34}{0,018 + (0,02 \times 1,34)}$$

$$R = 29,91\%$$

Para el porcentaje de remoción de sólidos suspendidos tenemos:

$$R = \frac{\text{Trh}}{a + b\text{Trh}}$$

$$R = \frac{1,34}{0,0075 + (0,014 \times 1,34)}$$

$$R = 51,028\%$$

3.3.4 CÁLCULOS PARA EL TANQUE DE FLOCULACIÓN

Las fórmulas a usarse son similares a las del sedimentador primario, sin embargo la carga superficial es diferente y los valores a usarse son los detallados en la tabla 15, el área del tanque de floculación se determina a partir de la ecuación 21:

$$A = \frac{Q}{C_s}$$

$$A = \frac{71,08}{50}$$

$$A = 1,42\text{m}^2$$

Es importante recalcar que en el tanque de floculación se va a tratar los efluentes provenientes de los sedimentadores primarios de las etapas de ribera y curtido.

Luego se calcula el ancho del tanque con la ecuación 22:

$$A_n = \sqrt{A/2}$$

$$A_n = \sqrt{\frac{1,42}{2}}$$

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

Con el valor del ancho del tanque se calcula el largo del mismo, mediante la ecuación 23.

$$L_g = \frac{A}{A_n}$$

$$L_g = \frac{1,42}{0,84}$$

$$L_g = 1,69 \text{ m}$$

A partir de los valores del ancho y largo se calcula el volumen del tanque para una altura de 2,5 m.

$$V = A_n \times L_g \times h$$

$$V = 0,84 \times 1,69 \times 2,5$$

$$V = 3,54 \text{ m}^3$$

En base al área del tanque de floculación se calcula el diámetro con la ecuación 25:

$$\phi = \sqrt{4 \times \frac{A}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt{4 \times \frac{1,42}{3,14150}}$$

$$\phi = 1,345 \text{ m}$$

Posteriormente con el volumen del tanque se determina el tiempo de retención, usando la ecuación 26:

$$\text{Trh} = \frac{Q}{V}$$

$$\text{Trh} = \frac{2,96}{3,54}$$

$$Trh = 0,84 \text{ h}$$

El tanque de floculación va a disponer de paletas, para lo cual se debe calcular la potencia necesaria a través de la ecuación 27:

$$P = G^2 \mu V$$

$$P = 10^2 \times 2,359 \times 10^{-5} (10^5)$$

$$P = 235,9 \text{ pies lb/s}$$

$$P = 0,31 \text{ kW}$$

Finalmente se calcula el área de la sección transversal de las paletas en base a la ecuación 28:

$$A = \frac{2 \times P}{C_D \times \rho \times v^3}$$

$$A = 3 \text{ m}^2$$

3.3.5 CÁLCULOS PARA EL SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

En el sistema de lodos activados se va a tratar las aguas residuales de ribera y de curtido provenientes del tanque floculador, por lo que el caudal total a tratar será de $71,08 \text{ m}^3/\text{d}$.

Además se toman valores especificados en tablas 17, 18 y 19; usando comúnmente los valores típicos.

Así tenemos;

SSV del afluente son despreciables

Tiempo de retención celular(θ_c) = 10 días

SSVLM (X) = 1,6 kg/m³

Si la relación de los SSVLM y los SSLM es de 0,8 nos queda: SSLM = 2,0kg/m³

Coefficiente de producción celular (Y) = 0,6 kg de células producidas/kg de materia orgánica eliminada

Coefficiente de degradación endógena(k_d) = 0,06 d⁻¹

Concentración de DBO en el afluente (S_0) = 0,86 kg/m³

Concentración de DBO en el efluente (S) = 0,0062 kg/m³

- Para determinar la carga contaminante de DBO₅ que ingresa al reactor, se calcula en función de la concentración de cada afluente proveniente del tratamiento primario, es decir de ribera y curtido:

$$(Q_A \times C_A) + (Q_B \times C_B) = (Q_A + Q_B)C_C$$
$$(37,16 \times 1,2) + (33,91 \times 0,55) = (37,16 + 33,91)C_C$$
$$C_C = 860,13 \text{ mg/L}$$

- La eficiencia basada en la DBO₅ soluble, se determina en base a la siguiente ecuación 30:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100$$
$$E = \frac{0,86 - 0,0062}{0,86} \times 100$$

$$E = 99,28 \%$$

- Con los datos anteriores se calcula el volumen del reactor, detallada en la ecuación 29:

$$V_r = \frac{\theta_c \times Q \times Y \times (S_o - S)}{X(1 + k_d \theta_c)}$$

$$V_r = \frac{10 \times 71,08 \times 0,6 \times (0,86 - 0,0062)}{1,6(1 + 0,06 \times 10)}$$

$$V_r = 142,24 \text{ m}^3$$

Dimensionamiento del tanque es de 3 m de profundidad, 6 m de ancho y 8 m de largo.

- Se requiere calcular el tiempo de retención hidráulica para posteriormente determinar la relación alimento microorganismo, mediante la ecuación 32:

$$\text{Trh} = \frac{V_r}{Q}$$

$$\text{Trh} = \frac{142,24}{71,08}$$

$$\text{Trh} = 2\text{h}$$

Entonces se la relación alimento/microorganismo se obtiene a partir de la ecuación

31.

$$F/M = \frac{S_o}{\text{Trh}X}$$

$$F/M = \frac{0,86}{2 \times 1,6}$$

$$F/M = 0,26\text{d}^{-1}$$

- Para determinar la producción de lodo se debe determinar primero la producción observada usando la ecuación 34:

$$Y_{\text{obs}} = \frac{Y}{1 + k_d \theta_c}$$

$$Y_{\text{obs}} = \frac{0,6}{1 + 0,06 \times 10}$$

$$Y_{\text{obs}} = 0,375 \text{ kg/kg}$$

- Con el valor anterior se calcula la producción de lodo a través de la ecuación 33:

$$P_x = Y_{\text{obs}} Q (S_0 - S) \times (10^3 \text{ g/kg})^{-1}$$

$$P_x = 0,375 \times 71,08 \times (860 - 6,2) \times (10^3 \text{ g/kg})^{-1}$$

$$P_x = 22,76 \text{ kg/d}$$

- La necesidad de transferencia de oxígeno, se determina mediante la ecuación 35:

$$\text{kg, O}_2/\text{d} = \frac{Q(S_0 - S) \times (10^3 \text{ g/kg})^{-1}}{f} - 1,42(P_x)$$

$$\text{kg, O}_2/\text{d} = \frac{71,08 \times (860 - 6,2) \times (10^3 \text{ g/kg})^{-1}}{0,5} - 1,42(22,76)$$

$$\text{kg, O}_2/\text{d} = 89,06$$

El reactor requiere de un sistema de aereación el mismo que será suministrado a través de difusores, y la potencia necesaria se calcula usando la ecuación 36:

$$P_w = \frac{W_{\text{aire}}RT_1}{8,41 e} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P_w = \frac{0,63 \times 8,314 \times 303}{8,41 \times 0,75} \left[\left(\frac{1,7}{0,95} \right)^{0,283} - 1 \right]$$

$$P_w = 45 \text{ kW}$$

3.3.6 CÁLCULOS PARA EL SEDIMENTADOR SECUNDARIO

- El área del sedimentador secundario se calcula con valores de carga de superficie detallados en la tabla 9 y se determina con la ecuación 37:

$$A = \frac{Q}{C_s}$$

$$A = \frac{71,08}{30}$$

$$A = 2,37\text{m}^2$$

- El diámetro del sedimentador se determina por la ecuación 38:

$$\emptyset = \sqrt{4 \times \frac{A}{\pi}}$$

$$\phi = \sqrt{4 \times \frac{2,37}{3,14159}}$$

$$\phi = 1,74 \text{ m}$$

- Con el diámetro obtenido se calcula el reparto central, con la ecuación 39:

$$R_{\text{central}} = \phi \times 25\%$$

$$R_{\text{central}} = 1,74 \times 25\%$$

$$R_{\text{central}} = 0,435 \text{ m}$$

- La altura de reparto se calcula usando la ecuación 40:

$$H_{\text{reparto}} = \frac{1}{4} \times \text{profundidad}$$

$$H_{\text{reparto}} = \frac{1}{4} \times 3$$

$$H_{\text{reparto}} = 0,75 \text{ m}$$

- Posteriormente se establece la carga de vertedero usando la ecuación 41:

$$Carga \text{ vertedero} = \frac{Q}{\pi \times \phi}$$

$$Carga \text{ vertedero} = \frac{0,00082}{3,14159 \times 1,74}$$

$$Carga \text{ vertedero} = 0,00015 \text{ m}^2/\text{s}$$

- Además se determina el ancho del sedimentador por medio de la ecuación 42:

$$A_n = \sqrt{A/2}$$

$$A_n = \sqrt{\frac{2,37}{2}}$$

$$A_n = 1,089 \text{ m}$$

- Con el valor del ancho se calcula el largo del sedimentador con la ecuación 43:

$$L_g = \frac{A}{A_n}$$

$$L_g = \frac{2,37}{1,089}$$

$$L_g = 2,176 \text{ m}$$

- Luego se calcula el volumen del sedimentador con la ecuación 44:

$$V = A_n \times L_g \times h$$

$$V = 1,089 \times 2,176 \times 2,5$$

$$V = 5,924 \text{ m}^3$$

- Con el volumen del sedimentador se calcula el tiempo de retención hidráulico, con la ecuación 45:

$$\text{Trh} = \frac{Q}{V}$$

$$\text{Trh} = \frac{2,96}{5,924}$$

$$\text{Trh} = 0,5 \text{ h}$$

3.4 RESULTADOS

3.4.1 CANAL DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DE LA ETAPA DE RIBERA Y CURTIDO

Las dimensiones del canal tendrán 0,35 m de base, 0,40 m de altura y un tirante de 0,3 m.

El perímetro mojado es de 1,15 m, con un radio hidráulico de 0,122 m, se proyecta que el caudal que pasará por el canal de ribera será de 37,17 m³/d y 33,91 m³/d para el canal de curtido; por lo que se requiere un gradiente hidráulico de 0,00057 m para que la velocidad a la que se transporta el fluido sea de 0,45 m/s.

3.4.2 REJILLAS PARA EL CANAL DE RIBERA

Las rejillas tendrán las dimensiones detalladas en la tabla 37, las mismas que deberán cubrir las dimensiones del canal; las rejillas de ribera están destinadas a retener pelo destruido proveniente de la etapa de ribera.

Tabla 37 Resumen de dimensionamiento de rejillas para la etapa de ribera

Ancho	350 mm
Profundidad	700 mm
Separación entre barras	25 mm
Pendiente en relación con la vertical	45 grados
Velocidad de aproximación	0,5 m/s
Espesor de la barra	5 mm
Tipo de barra circular	1,79
Número de barras	16
Nivel máximo de agua	0,0027 m
Longitud sumergida de la rejilla	0,0039 m
Pérdida de carga de carga de las rejillas	0,00154 m

Fuente: El autor

3.4.3 REJILLAS PARA EL CANAL DE CURTIDO

El canal en donde van a ser dispuestas las rejillas tiene las mismas dimensiones que el canal de la etapa de ribera, las cuales van retener deshilachas generadas por el lavado de curtido.

Las dimensiones correspondientes de las rejillas para la etapa de curtido, se detallan en la tabla 38.

Tabla 38 Resumen de dimensionamiento de rejillas para la etapa de curtido

Ancho	350 mm
Profundidad	700 mm
Separación entre barras	20 mm
Pendiente en relación con la vertical	45 grados
Velocidad de aproximación	0,5 m/s
Espesor de la barra	4 mm
Tipo de barra circular	1,79
Número de barras	21
Nivel máximo de agua	0,0025 m
Longitud sumergida de la rejilla	0,0035 m
Pérdida de carga de carga de las rejillas	0,00154 m

Fuente: El autor

3.4.4 SEDIMENTADOR CIRCULAR PRIMARIO PARA AGUAS RESIDUALES DE LA ETAPA DE RIBERA

Las dimensiones del sedimentador primario para un caudal de 37,17 m³/d correspondiente a la etapa de ribera se encuentran en la tabla 39.

Tabla 39 Resumen de dimensionamiento del sedimentador primario para la etapa de ribera

Área	0,775 m ²
Ancho	0,622 m
Largo	1,246 m
Volumen	1,16 m ³
Diámetro	0,993 m
Tiempo de retención hidráulica	1,34 h
Área de la sección transversal	0,931 m ²
Porcentaje de remoción de DBO ₅	29,91 %
Porcentaje de remoción SS	51,028 %

Fuente: El autor

3.4.5 SEDIMENTADOR CIRCULAR PRIMARIO PARA AGUAS RESIDUALES DE LA ETAPA DE CURTIDO

El caudal a tratar en el sedimentador primario es de 33,91 m³/d, y las dimensiones para dicho caudal se especifican en la tabla 40.

Tabla 40 Resumen de dimensionamiento del sedimentador primario para la etapa de curtido

Área	0,706m ²
Ancho	0,594m
Largo	1,189m
Volumen	1,060m ³
Diámetro	0,948 m
Tiempo de retención hidráulica	1,33 h
Área de la sección transversal	0,892m ²
Porcentaje de remoción de DBO ₅	29,85 %
Porcentaje de remoción SS	51,95 %

Fuente: El autor

3.4.6 TANQUE CIRCULAR DE FLOCULACIÓN

En éste punto se tratan los efluentes provenientes de la etapa de curtido y ribera, de manera que el sistema secundario trate agua residual homogénea; el caudal a tratar es de 71,08m³/d en un tanque circular dispuesto de paletas, cuyas dimensiones se encuentran en la tabla 41.

Tabla 41 Resumen de dimensionamiento del tanque de floculación

Área	1,42m ²
Ancho	0,84 m
Largo	1,69 m
Volumen	3,54 m ³
Diámetro	1,345 m
Tiempo de retención hidráulica	0,84 h
Potencia necesaria	0,31kW
Área de la sección transversal de las paletas	3m ²

Fuente: El autor

3.4.7 SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

El sistema de lodos activados está a continuación del tanque de floculación, constituye un tanque aereado por difusores y un sedimentador secundario; el sistema es sin recirculación.

3.4.7.1 REACTOR RECTANGULAR Y OTROS CRITERIOS

El volumen del reactor depende de la carga contaminante contenida en el agua residual, y de valores como tiempo de retención celular, coeficiente de degradación endógeno, etc. Los mismos que se detallan en la tabla 42.

Tabla 42 Resumen del dimensionamiento del sistema de lodos activos

Caudal a tratar en el reactor	71,08 m ³ /d
Tiempo de retención celular θ_c	10 días
SSVLM (X)	1,6 kg/m ³
SSLM	2,0 kg/m ³
Coefficiente de producción celular (Y)	0,6 kg/kg
Coefficiente de degradación endógena (k_d)	0,06 d ⁻¹
Concentración de DBO en el afluente (S_0)	0,86 kg/m ³
Concentración de DBO en el efluente (S)	0,0062 kg/m ³
Eficiencia basada en la DBO ₅ soluble	99,28 %
Volumen del reactor (V_r)	142,24 m ³
Tiempo de retención hidráulico (T_{rh})	2 h
Relación alimento/microorganismo (F/M)	0,26 d ⁻¹
Producción observada (Y_{obs})	0,375 kg/kg
Producción de lodo (P_x)	22,76 kg/d
Necesidad de transferencia de oxígeno	89,06 kg, O ₂ /d
Potencia necesaria por los difusores	$P_w = 45$ kW

Fuente: El autor

3.4.7.2 SEDIMENTADOR CIRCULAR SECUNDARIO

En el sedimentador secundario se sedimentan los flóculos formados por los microorganismos que han consumido de la materia orgánica presente en el reactor.

Las dimensiones del mismo se encuentran en la tabla 43, usando una carga superficial de 30 m/h.

Tabla 43 Resumen de dimensionamiento del sedimentador secundario

Área	2,37m ²
Diámetro	1,74 m
Reparto central	0,435 m
Altura de reparto	0,75 m
Carga de vertedero	0,15 x 10 ⁻³ m ² /s
Ancho	1,089 m
Largo	2,176 m
Volumen	5,924 m ³
Tiempo de retención hidráulica	0,5 h

Fuente: El autor

3.5 PROPUESTA

El proceso de producción de Tenería San José en las etapas de ribera y curtido generan una variedad de contaminantes, lo cual se puede verificar con los resultados de los análisis físico – químico expuestos en la tablas 35 y 36 y al constatar que se encuentran fuera del límite máximo permisible dado por el TULAS; se presenta el sistema de tratamiento de aguas residuales en base a la realidad de la empresa.

Las aguas residuales provenientes de las etapas de ribera y curtido poseen diferentes contaminantes viéndose reflejada en el pH, pues las aguas residuales de la etapa de ribera tiene un pH básico generalmente de 12; en cambio las aguas residuales de curtido tienen un pH ácido de 4. Razón por la cual es necesario tratarlas en forma separada hasta lograr su homogenización y eliminar contaminantes que puedan afectar a etapas

posteriores, como los sulfuros presentes en las aguas residuales de ribera y el cromo de presente en las aguas residuales de curtido.

Entonces las aguas residuales de la etapa de ribera al ser descargadas pasan por un sistema de rejillas para retener sólidos gruesos como pelos destruidos, seguidamente las aguas residuales pasan a un sedimentador circular primario en donde se elimina el 29,91 % de DBO₅ y el 51,028 % de SST; luego llegan a un tanque de floculación para ser tratadas junto con las aguas residuales provenientes del sedimentador primario de la etapa de curtido.

Por otro lado las aguas residuales de la etapa de curtido pasan por un pretratamiento conformado por rejillas, luego pasan a un sedimentador circular primario en donde se elimina el 29,85 % de DBO₅ y el 51,95 % de SST; posteriormente pasa a un tanque de floculación.

El tanque circular de floculación permite una mejor eliminación de DBO₅ y SS, trabajando con un caudal total de 71,08 m³/d, además dispondrá de un sistema de agitación mediante paletas con un área total de 3m². De acuerdo a estudios realizados por el Dr. Marcelo Muñoz de la Escuela Politécnica Nacional de Quito se establece la dosis adecuada de coagulante y floculante, siendo 80 mg/L de sulfato de aluminio y 4 mg/L de polímero aniónico.

Una vez terminada la fase de tratamiento primario y homogenizadas las aguas residuales de las etapas de ribera y curtido, pasan a un tratamiento secundario de lodos activados; el cual lo componen un reactor aereado con difusores también se puede

emplear en el sistema de aireación tubería perforada, siendo más accesible económicamente.

El volumen de reactor aireadores de 142, 24 m³, con un tiempo de retención hidráulico de 2 h, a continuación pasa a un sedimentador circular secundario en donde se sedimentan los flóculos formados en reactor eliminándose de ésta manera el 80 % de la DQO y 95 % DBO₅.

El proceso del sistema de tratamiento de aguas residuales genera lodos como producto de la sedimentación tanto de tanque de floculación como del sedimentador secundario, el mismo que será dispuesto para la elaboración de compost junto con desechos orgánicos, pues al tener nitrógeno y fósforo son ideales para éste fin.

3.6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

El parámetro determinante para realizar un tratamiento por separado de las aguas residuales de las etapas de ribera y curtido es el pH, cuyo valor para la etapa de ribera es 12,7 siendo un pH básico en cambio para la etapa de curtido es de 3,8 presentando un pH ácido.

El sistema de tratamiento de aguas residuales debe comprender de un pretratamiento por la presencia de sólidos gruesos, los sólidos sedimentables se encuentra fuera de límite según lo establecido por el TULAS libro VI, anexo 1, tabla 11, siendo de 100 mg/L en la etapa de ribera y 68 mg/L para la etapa de curtido; por lo que cada etapa requiere de un tratamiento primario. La materia orgánica representada por DBO₅ y DQO, presentan un valor elevado siendo indispensable un tratamiento biológico.

El caudal que actualmente descarga la etapa de ribera es de 26,47 m³/d el cual se proyecta un aumento de 2430 kg el cual al multiplicar 4,39 L/kg se obtiene los 37,17 m³/d, valor con el cual se diseñará el sistema de tratamiento de aguas residuales correspondiente al canal, rejilla y sedimentador primario.

Es menester observar que los resultados de los análisis físico-químicos para la etapa de ribera en relación a la de curtido, presentan un mayor grado de contaminación lo cual se debe que los efluentes de la etapa de ribera contienen sal, suciedad, sangre, estiércol, grasas, pelo destruido; contaminantes que incrementan la materia orgánica y otros parámetros en las aguas residuales.

En cambio el afluente de la etapa de curtido es de 27,13m³/d y se proyecta un aumento de producción con 1880 kg y al multiplicar 3,54 L/kg se consta que el caudal de diseño es de 33,92 m³/d, siendo el caudal para el diseño del canal, rejillas y sedimentador primario. Y para el diseño del tanque floculador y sistema de lodos activos, se usa la suma de los caudales de la etapa de ribera y curtido siendo de 71,09 33,92 m³/d.

El reactor aereado del sistema de lodos activos tiene un volumen de 142, 24 m³ el cual está en función de la carga contaminante con respecto a la materia orgánica y al constatar en los resultados de los análisis físico-químicos se observa la cantidad elevada de DBO y DQO para las etapas de ribera y curtido; por lo que justifica un volumen grande.

CAPÍTULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Mediante el estudio in situ acerca del efluente que generan las etapas de ribera y curtido, se obtuvo que el efluente de agua por piel salada procesada es de $0,00439\text{m}^3/\text{kg}$ el cual al comparar con el estudio realizado por CPTS (tabla 3) cuyo valor mínimo de consumo es de $0,007\text{ m}^3/\text{kg}$; se constata que el consumo de agua es menor. En cambio para la etapa de ribera el efluente es de $0,00387\text{ m}^3/\text{kg}$ y en relación con $0,001\text{ m}^3/\text{kg}$ presentado en la tabla 3 se verifica que el efluente de la empresa es mayor. Esta variación alta, puede ser a causa de los lavados prolongados y disposición de medidores de agua.
- De acuerdo con los análisis físico – químicos para la etapa de ribera, los parámetros como DBO_5 3185 mg/L, DQO 1200 mg/L, sólidos totales 29388 mg/L, sólidos sedimentables 100 mg/L, sólidos suspendidos totales 800 mg/L, cloruros 14800 mg/L, sulfuros 495 mg/L, pH 12,7, cuyos valores se encuentran fuera de los límites máximos permisibles dados por el TULAS Libro VI, Anexo 1, tabla 11.
- Los resultados de los análisis físico – químicos para la etapa de curtido de parámetros como: DBO_5 726 mg/L, DQO 550 mg/L, sólidos totales 11632 mg/L, sólidos sedimentables 68 mg/L, sólidos suspendidos totales 480 mg/L, cloruros 4200 mg/L, pH 3,8, cromo total 102, 05 mg/L; los parámetros mencionados se

encuentran fuera de los límites establecidos por el TULAS Libro VI, Anexo 1, tabla 11.

- Se realizó el dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, con un caudal de $37,17 \text{ m}^3 / \text{d}$ para la etapa de ribera cuyo sistema empieza con rejillas, las cuales tendrán un ancho de 350 mm, una profundidad de 700 mm, siendo la longitud sumergida de 0,0039 m, dispondrá de 16 barras en forma circular; seguidamente pasará a un sedimentador circular primario con $1,16 \text{ m}^3$ de volumen, con un diámetro de 0,993 m, un largo de 1,246 m, un ancho de 0,622m y con un tiempo de retención hidráulica de 1,34 h. Además es necesario realizar la recuperación de sulfuros por adsorción con hidróxido de sodio.

- Paralela a los componentes mencionados se tratarán las aguas residuales provenientes de la etapa de curtido, las cuales pasarán primero por un sistema de rejillas de 350 mm de ancho, una profundidad de 700 mm, con una longitud sumergida de 0,0035 m, además constará de 21 barras en forma circular; luego las aguas residuales son transportadas a un sedimentador circular primario con la capacidad de $1,060 \text{ m}^3$, con un diámetro de 0,948 m, un largo de 1,189 m, un ancho de 0,594 m y con un tiempo de retención hidráulica de 1,33 h. También se deberá precipitar el cromo trivalente con óxido de magnesio de manera que se elimine éste contaminante antes de mezclar con las aguas de ribera.

- Posteriormente, tanto las aguas residuales provenientes de las etapas de ribera y curtido pasan a un tanque circular de floculación de $1,42 \text{ m}^2$ de área, $3,54 \text{ m}^3$ de

volumen, con un diámetro de 1,345 m, un largo de 1,69 m, un ancho de 0,84 m, con un tiempo de retención hidráulica de 0,84 h, también tendrá un sistema de agitación por paletas con área de 3 m².

- Una vez terminado el tratamiento primario, las aguas residuales pasan a un sistema de lodos activados el cual consta de un reactor aereado de 142,24 m³ de volumen, en donde la producción de lodo será de 22,76 kg/d , el tiempo de retención necesario de 2 h, además dispondrá de difusores para oxigenar el agua donde se consumirán 89,06 kg, O₂/d.
- Finalmente, el sistema de tratamiento concluye con un sedimentador secundario de 2,37m² de área, 5,924 m³ de volumen, con un diámetro de 1,74 m, un largo de 2,176 m, un ancho de 1,089 m, con un tiempo de retención hidráulica de 0,5 h y la carga de vertedero será de 0,15 x 10⁻³m²/s.
- Mediante el dimensionamiento de la planta de tratamiento se establece que para la construcción de la misma se requiere un terreno de 300 m², para la adecuación de todos los componentes del sistema de tratamiento.
- Con el pretratamiento se disminuye los sólidos grueso, el tratamiento primario permite la eliminación del 30 % de DBO₅ y el 50% de SST, mientras que en el tanque se floculación se logra una eliminación de 20 % de DBO₅ y finalmente con el tratamiento biológico hay una remoción del 80 % de la DQO y 95 % DBO₅; por lo que las aguas residuales al ser tratadas cumplen con lo establecido por el TULAS.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se deberá realizar planos estructurales antes de su construcción para determinar la cantidad, tipo de material y costos, el cual puede ser realizado por un Ingeniero Civil.
- La empresa deberá hacer lo posible por implementar la planta de tratamiento de aguas residuales para controlar la contaminación generada por los efluentes, y tenga una producción sostenible.

BIBLIOGRAFÍA

- 1. CABALLERO, P.,** Métodos Estándar para el examen de Aguas Potables y Residuales., 11^a. ed., México., Editorial Interamericana., 1963., Pp. 81; 116 – 120; 279 – 288; 322 – 323; 356 – 357.
- 2. CRITES, R., y otros.,** Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones., s. ed., Bogotá – Colombia., McGraw – Hill Interamericana., 2000., Pp. 33 – 67; 243 – 265; 304.
- 3. METCALF & EDDY.,** Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento Vertido y Reutilización., 3^a. ed., Madrid – España., McGraw – Hill Interamericana., 1995., Pp. 508 – 515; 538 – 551; 555 – 557; 605 – 682.
- 4. RAMALHO, R.,** Tratamiento de Aguas Residuales., s. ed., Barcelona– España., Editorial Reverté., 1993., Pp. 253 – 260.
- 5. TERENCE, J.,** Abastecimiento de Agua y Alcantarillado, 1^a. ed., Bogotá – Colombia., McGraw – Hill Interamericana., 2000., Pp. 424 – 463.
- 6. VALDEZ, E.,** Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de las Aguas Residuales., s. ed., Barcelona – España., 2001., Pp. 243 – 250.

7. GUERRA, G., Revista Técnica Cueros., Ambato – Ecuador., Editorial Mundo.,
Vol. 1., N° 55., 2010., Pp. 40.

8. Ecuador., INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).,
SALTOS, M., Técnicas de Muestreo., Norma N° 2176., Quito – Ecuador.,
1998., 12 p.

INTERNET

9. PROCESO DE CURTIDO AL CROMO DE CUEROS

<http://www.cuernet.com/flujoograma/remojo.htm>

2011/11/12

10. CURTIEMBRES EN TUNGURAHUA

[http://issuu.com/gialrod/docs/estudio - estadisticas tungurahua](http://issuu.com/gialrod/docs/estudio_-_estadisticas_tungurahua)

2011/11/29

11. REJILLAS Y DISEÑO

http://www.capac.org/web/Portals/0/biblioteca_virtual/doc003/CAPITULO7.pdf

2011/12/14

12. SEDIMENTADOR PRIMARIO

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo5.

pdf

2011/12/18

13. SEDIMENTADOR SECUNDARIO

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo6

pdf

2012/01/19

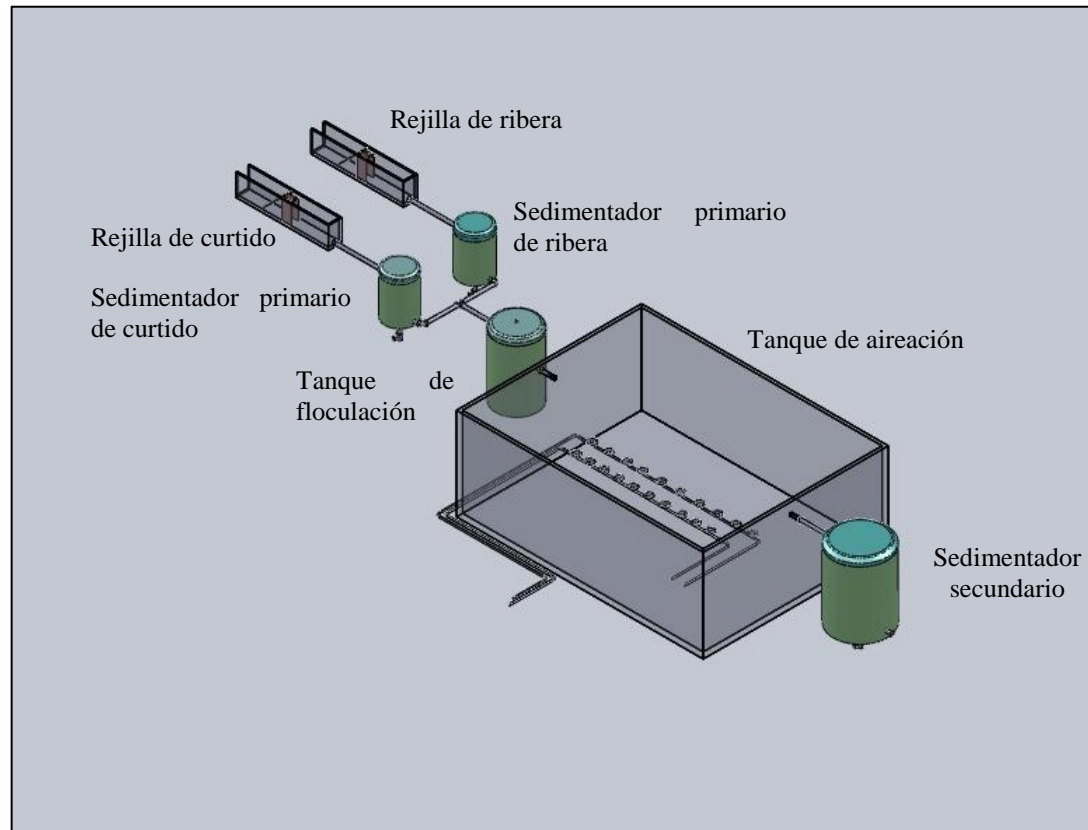
14. SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/3036/Capitulo1.pdf>

2012/02/04

ANEXOS

Anexo 1 Vista isométrica del sistema de Tratamiento de aguas Residuales de las etapas de Ribera y Curtido



Anexo 2 Caudales para la etapa de Ribera tomados por 5 días

RIBERA	Operaciones	Caudal 1 (m³/d)	Caudal 2 (m³/d)	Caudal 3 (m³/d)	Caudal 4 (m³/d)	Caudal 5 (m³/d)
Día 1	Primer Lavado	8,36	8,35	8,37	8,35	8,34
	Segundo Lavado	6,67	6,68	6,66	6,65	6,66
	Remojo principal	6,24	6,24	6,22	6,23	6,23
	TOTAL	21,27	21,27	21,25	21,23	21,23
Día 2	Pelambre 1	3,45	3,44	3,42	3,45	3,43
	Pelambre 2	3,11	3,11	3,10	3,09	3,10
	Pelambre 3	3,44	3,42	3,44	3,44	3,43
	TOTAL	10,00	9,97	9,96	9,98	9,96
Día 3	Lavado de pelambre	32,07	32,04	32,05	32,06	32,07
	Dividido	2,67	2,64	2,65	2,66	2,64
	Lavado de divididora y descarnadora	2,42	2,44	2,44	2,42	2,43
	TOTAL	37,16	37,12	37,14	37,14	37,14

Anexo 3 Caudales para la etapa de Curtido tomados por 5 días

CURTIDO	Operaciones	Caudal 1 (m³/d)	Caudal 2 (m³/d)	Caudal 3 (m³/d)	Caudal 4 (m³/d)	Caudal 5 (m³/d)
Día 1	Lavado	10,05	10,02	10,03	10,05	10,05
	Desencalado- purgado	3,9	3,8	3,9	3,7	3,9
	Lavado	4,55	4,55	4,54	4,54	4,53
	Piquelado y curtido	15,45	15,45	15,44	15,43	15,44
	TOTAL	33,95	33,82	33,91	33,72	33,92
Día 2	Lavado de curtido	15,4	15,3	15,4	15,2	15,2
	Escurrido	4,8	4,7	4,7	4,8	4,6
	TOTAL	20,2	20	20,1	20	19,8

Anexo 4 Muestreo para las etapas de Ribera y Curtido



Fuente: El autor


Foto 3 Toma de alícuotas para muestra compuesta



Fuente: El autor

Foto 4 Muestras compuestas de las etapas ribera y curtido

Anexo 5 Resultados de análisis físico- químicos de la etapa de Ribera

 <p>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN LAB-CESTTA</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 2998232 RIOBAMBA - ECUADOR</p>	<p>ACREDITADO</p> <p>ENSAYOS No OAE LE 2C 06-008</p>

INFORME DE ENSAYO No: 1644
ST: 11 – 0770 ANÁLISIS DE AGUAS


Nombre Peticionario: TENERIA SAN JOSÉ
Atn. -
Dirección: Av. Indoamérica Km 4 ½ ; Ambato, Tungurahua

FECHA: 05 de Agosto del 2011
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2011 / 07/ 28– 12:00
FECHA DE MUESTREO: 2011 / 07/ 28 – 08:40
FECHA DE ANÁLISIS: 2011 / 07/ 28 - 2011 / 08/05
TIPO DE MUESTRA: Agua Residual
CÓDIGO LAB-CESTTA: LAB-A 2280-11
CÓDIGO DE LA EMPRESA: R1
PUNTO DE MUESTREO: Descarga compuesta Ribera
ANÁLISIS SOLICITADO: Análisis Físico-Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Srta. Patricia Bustos
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:26.0 °C. T min.: 21.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
Demanda Química de Oxígeno	PEE/LAB-CESTTA/09 APHA 5220 D	mg/L	3185	500	± 3%
**Demanda Bioquímica de Oxígeno	PEE/LAB-CESTTA/46 APHA 5210 B	mg/L	1200	250	± 15%
Sólidos Totales	PEE/LAB-CESTTA/10 APHA 2540 B	mg/L	29388	1600	±3%
Cloruros	PEE/LAB-CESTTA/15 APHA 4500 CI B	mg/L	14800	-	± 2%
*Nitrógeno Total	PEE/LAB-CESTTA/88 Kjedahl	mg/L	1629	40	-
*Aceites y Grasas	PEE/LAB-CESTTA/42 APHA 5520 C	mg/L	3,6	100	-
*Sólidos Sedimentables	PEE/LAB-CESTTA/10 APHA 2540 B	mg/L	6,5	20	-
**Sólidos Suspendidos Totales	PEE/LAB-CESTTA/13 APHA 2540 D	mg/ L	800	220	± 6%

Anexo 6 Resultados de Sulfuros de la etapa de Ribera

 <p>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN LAB-CESTTA</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03)2998232 RIOBAMBA - ECUADOR</p>
	<p>INFORME DE ENSAYO No: 2264 ST: 11 – 1070 ANÁLISIS DE AGUAS</p> <p>Nombre Peticionario: TENERIA SAN JOSÉ Atn. - Dirección: Av. Indoamérica Km 4 ½; Ambato, Tungurahua</p> <p>FECHA: 05 de Diciembre del 2011 NUMERO DE MUESTRAS: 1 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2011 / 11/ 28– 10:00 FECHA DE MUESTREO: 2011 / 11/ 28 – 07:30 FECHA DE ANÁLISIS: 2011 / 11/ 28 - 2011 / 12/05 TIPO DE MUESTRA: Agua Descarga CÓDIGO LAB-CESTTA: LAB-A 3119-11 CÓDIGO DE LA EMPRESA: Pelambre 1 PUNTO DE MUESTREO: Pelambre 1 ANÁLISIS SOLICITADO: Sulfuro PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Srta. Patricia Bustos CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:26.0 °C. T min.: 21.0 °C</p>

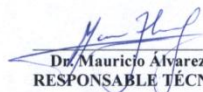
RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
Sulfuros	APHA/AWWA Standard Methods No. 4500-S ₂ ⁻²	mg/L	495	1,0	-

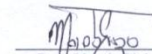
OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en laboratorio.
- Límites de descarga al sistema de alcantarillado. Tabla 11 TULAS


RESPONSABLES DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH


Dra. Nancy Veloz M.
JEFE DE LABORATORIO

Anexo 7 Resultados de análisis físico- químicos de la etapa de Curtido

 <p>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN LAB-CESTTA</p>	<p>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 2998232 RIOBAMBA - ECUADOR</p>	<p>ACREDITADO</p> <p>ENSAYOS No OAE LE 2C 06-008</p>

INFORME DE ENSAYO No: 1644
ST: 11 – 0770 ANÁLISIS DE AGUAS

Nombre Peticionario: TENERIA SAN JOSÉ
Atn. -
Dirección: Av. Indoamérica Km 4 ½ ; Ambato, Tungurahua

FECHA: 05 de Agosto del 2011
NUMERO DE MUESTRAS: 1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2011 / 07/ 28– 12:00
FECHA DE MUESTREO: 2011 / 07/ 27 – 20:00
FECHA DE ANÁLISIS: 2011 / 07/ 28 - 2011 / 08/05
TIPO DE MUESTRA: Agua Residual
CÓDIGO LAB-CESTTA: LAB-A 2283-11
CÓDIGO DE LA EMPRESA: C2
PUNTO DE MUESTREO: Descarga Compuesta Curtido
ANÁLISIS SOLICITADO: Análisis Físico-Químico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Srta. Patricia Bustos
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.:26.0 °C. T mín.: 21.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
Demanda Química de Oxígeno	PEE/LAB-CESTTA/09 APHA 5220 D	mg/L	726	500	± 20%
**Demanda Bioquímica de Oxígeno	PEE/LAB-CESTTA/46 APHA 5210 B	mg/L	550	250	± 40%
Sólidos Totales	PEE/LAB-CESTTA/10 APHA 2540 B	mg/L	11632	1600	± 6%
Cloruros	PEE/LAB-CESTTA/15 APHA 4500 Cf B	mg/L	4200	-	± 4%
*Nitrógeno Total	PEE/LAB-CESTTA/88 Kjedahl	mg/L	674	40	-
*Aceites y Grasas	PEE/LAB-CESTTA/42 APHA 5520 C	mg/L	1,5	100	-
*Sólidos Sedimentables	PEE/LAB-CESTTA/10 APHA 2540 B	mg/L	68	20	-
**Sólidos Suspendedos Totales	PEE/LAB-CESTTA/13 APHA 2540 D	mg/L	480	220	± 14%
*Cromo Hexavalente	PEE/LAB-CESTTA/32 APHA3111 B 3030 E	mg/L	0,38	0,5	-
*Cromo Total	PEE/LAB-CESTTA/28 APHA 3030 B, 3111 B	mg/L	102,05	-	-