



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE  
AGUA RESIDUAL PARA LA TENERÍA NEOGRANADINA  
S.A. DE LA CIUDAD DE AMBATO”**

**GRACIELA LORENA ARMAS ALTAMIRANO**

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:**

**INGENIERA QUÍMICA**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2012**

## **AGRADECIMIENTO**

*El más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Química, por brindarme la oportunidad de obtener una profesión y ser una persona útil a la sociedad.*

*A la Tenería Neogranadina S.A. de la ciudad de Ambato por haberme abierto las puertas de tan distinguida entidad para poder desarrollar mi proyecto de manera especial al Econ. Hans Diederichs Q, Gerente General.*

*A la Ing. Mónica Andrade Directora de Tesis y al Ing. César Ávalos Asesor, por compartir con interés sus conocimientos y en especial por su calidad humana y pedagógica.*

*De la misma manera a todas las personas que de una u otra forma han colaborado con el desarrollo de esta tesis.*

**Graciela Lorena Armas Altamirano**

## DEDICATORIA

*El tiempo transcurrió con alegrías, tristezas, éxitos, fracasos, pero nunca con el abandono de la lucha para el cumplimiento de una de mis metas, la culminación de mi carrera, es por ello que el presente trabajo está dedicado a las personas que me llenaron de amor y apoyo incondicional:*

*A mi papito Dios por darme la sabiduría y guiar mis pasos siempre.*

*A mis padres: Oswaldo y Patricia, los dos pilares fundamentales dentro de mi vida y carrera, quienes me han brindado todo su apoyo, confianza incondicional y sobre todo por sus plegarias para que se cumpla mi meta.*

*A mis hermanos, Jenny, Omar y Monserrath quienes me han brindado palabras de aliento en momentos difíciles.*

*A Diego Hernán por su amor y apoyo incondicional, por no dejarme decaer en momentos de flaqueza.*

*A Camila y Sebastián, mis dos grandes amores, quienes con su amor, ternura y travesuras pusieron la alegría en mi vida y son el propósito principal de la culminación de mi meta.*

*A todos los profesores que formaron parte de mi vida, ya que aportaron con un granito de arena para hoy poder culminar una etapa de mi vida.*

**Graciela Lorena Armas Altamirano**

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Dr. Yolanda Díaz

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**DECANA DE LA FAC. CIENCIAS**

Ing. Mario Villacres

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**DIRECTOR DE LA ESC. INGENIERÍA QUÍMICA**

Ing. Mónica Andrade

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**DIRECTORA DE TESIS**

Ing. César Ávalos

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Tec. Carlos Rodríguez

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**DIRECTOR CENTRO DE DOCUMENTACIÓN**

Yo, **Graciela Lorena Armas Altamirano**, soy la responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS:

T.N.O.	Tenería Neogranadina
R.T.E.	Recurtición, Tintura, Engrase
MES	Materias en suspensión.
STD	Sólidos totales disueltos.
SS	Sólidos Sedimentables.
DQO	Demanda química de oxígeno
DBQ <sub>5</sub>	Demanda bioquímica de oxígeno 5 días.
SOL	Sales solubles
V	Velocidad.
máx.	Máximo.
mg/L	Miligramos por Litro.
SST	Sólidos Suspendidos Totales.
C	Grados Centígrados.
F	Grados Fahrenheit.
Sol	Solución.
aprox.	Aproximadamente.
Ind.	Industria.
pH	Potencial hidrogeno.
L	Litros.
TM	Tonelada métrica.
Pulg	Pulgadas
h <sub>L</sub>	Pérdida de carga
ppm	Partes por millón

mL	mililitros
cm <sup>3</sup>	Centímetros cúbicos
Q	Caudal
s	Segundos
A	Área
g	Gramos
CS	Carga superficial
d	Diámetro
V <sub>H</sub>	Velocidad de arrastre
V <sub>h</sub>	Velocidad horizontal

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA

HOJAS DE FIRMA

HOJA DE RESPONSABILIDAD

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ANEXOS

RESUMEN.....	i
ABSTRACT .....	iii
INTRODUCCIÓN .....	v
JUSTIFICACIÓN .....	vi
ANTECEDENTES .....	vii
OBJETIVOS:.....	viii
OBJETIVO GENERAL: .....	viii
OBJETIVOS ESPECIFICOS: .....	viii
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>1</b>
<b>1. MARCO TEÓRICO: .....</b>	<b>1</b>
1.1. CURTIEMBRE:.....	1
1.1.1.PROCESOS HÚMEDOS DE POST-CURTICIÓN:.....	1

1.1.1.1. Recurtición, tintura y engrase: .....	1
1.2. AGUA PARA EL PROCESO .....	3
1.2.1. CONSUMO DE AGUA EN LA FABRICACIÓN DE CURTIDOS:.....	4
1.3. AGUAS RESIDUALES DE TENERÍAS .....	5
1.3.1. EMISIONES LÍQUIDAS EN LA CURTIEMBRE .....	6
1.3.2. IMPACTOS ASOCIADOS A LOS EFLUENTES LÍQUIDOS.....	6
1.3.2.1. Ribera: .....	7
1.3.2.2. Piquelado y Curtición:.....	10
1.3.2.3. Procesos post-curtición.....	11
1.4. PRINCIPALES PARÁMETROS ANALÍTICOS UTILIZADOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE TENERÍAS. ....	13
1.5. TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN LA INDUSTRIA DE CURTIEMBRE: .....	16
1.5.1. EL LUGAR FINAL DE VERTIDO.....	16
1.5.2. QUE LOS PROCESOS REALIZADOS PARA CADA EMPRESA, SON DIVERSOS .....	16
1.5.3. OPCIONES DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION: .....	18
1.5.3.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR.....	19
1.5.3.1.1. DESBASTE. ....	19
1.5.3.2. TRATAMIENTO PRIMARIO .....	20
1.5.3.2.1. Homogeneización.....	20
1.5.3.2.2. Sedimentación/coagulación-sedimentación.....	21

1.5.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL:.....	28
1.5.4.1. CAUDAL.....	28
1.5.4.2. REJILLAS .....	30
1.5.4.2.1. Determinación del área entre barras .....	32
1.5.4.2.2. Área de la sección transversal del flujo .....	33
1.5.4.2.3. Longitud sumergida de la rejilla.....	33
1.5.4.2.4. Número de barras .....	34
1.5.4.2.5. Calculo de las pérdidas de carga a través de la rejilla .....	35
1.5.4.3. TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN .....	36
1.5.4.4. TANQUES DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA .....	37
1.5.4.4.1. Cargas de superficie .....	39
1.5.4.4.2. Calculo del área del sedimentador: .....	40
1.5.4.4.3. Volumen del sedimentador .....	40
1.5.4.4.4. Tiempo de retención.....	42
1.5.4.4.5. Remoción de DBO y SST .....	43
1.5.4.4.6. Velocidad de arrastre .....	44
1.5.5. ENSAYO PARA DETERMINAR LA PRESENCIA DE SULFURO EN EL AGUA: .....	45
1.6. DIMENSIONAMIENTO COMÚN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS .....	46
<b>CAPITULO II.....</b>	<b>48</b>
<b>2. PARTE EXPERIMENTAL .....</b>	<b>48</b>

2.1. LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DEL ESTUDIO.....	48
2.2. MUESTREO.....	48
2.2.1. PLAN DE MUESTREO.....	48
2.2.2. SISTEMA DE TOMA DE MUESTRAS.....	49
2.3. METODOLOGÍA.....	49
2.3.1. METODOS.....	49
2.3.1.1. INDUCTIVO.....	49
2.3.1.2. DEDUCTIVO.....	49
2.3.1.3. EXPERIMENTAL.....	50
2.3.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	50
2.3.2.1. MÉTODO 5210-B: DETERMINACIÓN DE DBO.....	51
2.3.2.2. MÉTODO 5220-C: DETERMINACIÓN DE DQO.....	52
2.3.2.3. DETERMINACIÓN DE CROMO HEXAVALENTE.....	53
2.3.2.4. MÉTODO 4500-B: DETERMINACIÓN DE pH.....	53
2.3.2.5. DETERMINACIÓN DE LA TURBIDEZ.....	54
2.3.2.6. MÉTODO 2540-B: DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES.....	55
2.3.2.7. MÉTODO 5530-C: DETERMINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS.....	56
2.3.2.8. MÉTODO 5530-C: DETERMINACIÓN DE TENSOACTIVOS.....	57
2.4. DATOS EXPERIMENTALES.....	58
2.4.1. CAPACIDAD MÁXIMA DE PIELES (Kg) Y VOLUMEN DE AGUA A UTILIZAR POR CADA BOMBO EN EL PROCESO.....	58
2.4.2. PRINCIPALES CONTAMINANTES PARA EL PROCESO DE CARNAZA: .	58

2.4.3. DATOS PARA LA DETERMINACION DEL CAUDAL: .....	70
2.5. DATOS ADICIONALES: .....	70
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>75</b>
<b>3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>75</b>
3.1. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE T.N.O. ....	75
3.1.1. CÁLCULO DEL CAUDAL: .....	75
3.1.2. CÁLCULO PARA EL DISEÑO DE REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL. ..	77
• Cálculo del área de las rejillas: .....	77
• Cálculo de pérdidas de carga en la rejilla. ....	82
3.1.2. DISEÑO DEL TANQUE HOMOGENEIZADOR.....	83
3.1.2.1. Cálculo del área del homogeneizador.....	84
3.1.2.2. Cálculo del volumen del homogeneizador.....	84
3.1.2.3. Cálculo de la potencia de las paletas del homogeneizador.....	85
3.1.3. DISEÑO DEL TANQUE CLARIFICADOR. ....	85
3.2. RESULTADOS.....	92
3.2.1. REJILLAS .....	92
3.2.2. HOMOGENIZADOR.....	93
3.2.3. CLARIFICADOR. ....	93
3.2.4. PROPUESTA:.....	94
3.2.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	95
3.3. DISCUSIÓN. ....	96

<b>CAPITULO IV.....</b>	<b>98</b>
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>98</b>
4.1. CONCLUSIONES: .....	98
4.2. RECOMENDACIONES: .....	99
BIBLIOGRAFIA .....	<b>100</b>
BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET .....	<b>103</b>
ANEXOS.....	<b>105</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS:

	<b>Pp.</b>
1: Etapas principales en el proceso de producción de cueros curtidos .....	3
2: Principales contaminantes del agua por procesos.....	15
3: Tanque de sedimentación primaria circular .....	25
4: Tanque de sedimentación primaria rectangular.....	25
5: Método del objeto flotante .....	28
6: Remoción de DBO y SST en tanques de sedimentación primaria. ....	44
7: Esquema simplificado de un sistema de tratamiento de agua residual .....	47
8: Dosis óptima de policloruro de aluminio.....	90
9: Tiempo de Residencia .....	92

## ÍNDICE DE TABLAS:

	<b>Pp.</b>
1: Etapa de recurtido teñido y engrase (RET) .....	2
2: Dureza del agua para la fabricación de curtidos .....	4
3: Consumo de agua para proceso de curtición .....	5
4: Niveles de contaminación por fases.....	7
5: Información usual para diseño de sedimentadores rectangulares primarios .....	26
6: Factor de corrección para el cálculo del caudal.....	30
7: Información usual para el diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual .....	31
8: Información típica para el diseño de tanques de sedimentación primaria .....	39
9: Valores de las constantes empíricas a y b. ....	43
10: Determinación de DBO <sub>5</sub> .....	51
11: Determinación de DQO.....	52
12: Determinación de cromo hexavalente .....	53
13: Determinación de pH .....	53
14: Determinación de turbidez .....	54
15: Determinación de solidos suspendidos totales .....	55
16: Determinación de aceites y grasas .....	56
17: Determinación de tensoactivos .....	57
18: Volumen de agua a utilizar por bombo. ....	58
19: Principales contaminantes para el proceso de carnaza.....	59
20: Productos sólidos generados como resultado del proceso de carnaza .....	60
21: Procesamiento de pieles y consumo de agua en el proceso de carnaza .....	60
22: Principales contaminantes para el proceso de R.T.E. ....	62

23: Procesamiento de pieles y consumo de agua en el proceso de R.T.E.....	63
24: Consumo total de agua en T.N.O.....	70
25: Datos para la determinación del caudal .....	70
26: Factor de corrección para el cálculo del caudal.....	70
27: Dimensiones para las rejillas de barras de limpieza manual .....	71
28: Información típica para el diseño de tanques de sedimentación primaria .....	71
29: Información usual para diseño de sedimentadores rectangulares primarios.....	72
30: Valores usuales de gradiente de velocidad (G) y tiempos de retención de los procesos de tratamiento de agua residual.....	72
31: Coeficiente de rugosidad $\eta$ de Manning .....	73
32: Valores de las constantes empíricas a y b. ....	74
33: Diferentes dosificaciones del policloruro de aluminio al 25% (P/V) .....	90
34: Evaluación del tratamiento con policloruro de aluminio al 25% (P/V).....	91
35: Diferentes tiempos de residencia .....	91
36: Resultados obtenidos para el diseño del sistema de rejillas. ....	92
37: Resultados obtenidos para el diseño del tanque homogeneizador.....	93
38: Resultados obtenidos para las paletas homogeneizadoras .....	93
39: Resultados obtenidos para el diseño del tanque clarificador.....	93
40: Análisis de resultados.....	95

## INDICE DE ANEXOS

	<b>Pp.</b>
I Diagrama PI & P.....	105
II Rejillas .....	106
III Tanque de homogeneizacion .....	107
IV Tanque de sedimentacion .....	108
V Ábaco de la fórmula de Manning.....	109
VI Tabla 9 del anexo VI TULAS .....	110
VII Tabla 12 del anexo VI TULAS .....	111
VIII Analisis de laboratorio del agua residual.....	112
IX Analisis de laboratorio del agua tratada.....	113
X Ficha tecnica del policloruro de aluminio .....	114
XI Sistema secuencial de tratamiento de aguas residuales para T.N.O.....	115
XII Flujograma del tratamiento de aguas de curtiembre.....	116
XIII Determinación de sulfuro en el agua.....	117
XIV Canal de agua residual.....	118
XV Agua residual y agua tratada.....	119
XVI Agua tratada.....	120

## RESUMEN

Se diseñó un sistema de tratamiento de agua residual para la Tenería Neogranadina S.A. de la ciudad de Ambato para las aguas provenientes de los procesos de carnaza y de recurtición, tintura y engrase.

La tesis tiene un carácter experimental, utilizando como procesos lógicos la inducción ya que se partió de la observación de los procesos desarrollados en la empresa., para posteriormente realizar un diagnóstico para así tomar muestras en envases plásticos con capacidad para 5 litros y datos relevantes en el lugar de muestreo como pH y temperatura.

Al caracterizar el agua residual proveniente de las diferentes etapas de la Tenería Neogranadina S.A., los resultados fueron, 1101 mg/L de DQO, 14,28 mg/L de sulfuros, 840 mg/L de DBO<sub>5</sub>, 760 mg/L SS, 9526 ml/L de MES, los cuales fueron analizados y tratados con el fin de bajar el nivel de contaminación, puesto que no cumple con los límites de descarga establecidos en el Texto unificado de legislación ambiental secundaria, anexo VI, tabla 9.

Además la empresa, mediante la implementación de este sistema de tratamiento, logrará reducir la carga contaminante por debajo de los límites establecidos por la normativa vigente.

Se puede indicar, que como resultado del tratamiento del agua residual, se obtuvo una remoción del DQO del 91%, DBO<sub>5</sub>95%, para el contenido de sulfuro se tiene un porcentaje de reducción del 99,9%. La reducción de los sólidos en suspensión del 94%. Y una

remoción de fenoles del 99%. Obteniéndose de esta manera un agua tratada que puede ser descargada al alcantarillado público, puesto que cumple con los límites de descarga

La empresa deberá hacer análisis frecuentes al agua tratada para verificar que el tratamiento está marchando bien y que los contaminantes están siendo minimizados.

## ABSTRACT

A system of treatment of residual water was designed for the Tannery Neogranadina CORP., of the city of Ambato for water coming from the bait process and of retan, dye and grease.

The thesis has an experimental character, already using as logical processes the induction that got from the observation of the processes developed in the company, for later on to carry out a diagnosis in this way to take samples in plastic containers with capacity for 5 liters and outstanding data in the sampling place like pH and temperature.

When characterizing the residual water coming from the different stages of the Tannery Neogranadina CORP., The results were, 1101 mg/L of DQO; 14,28 mg/L of sulfurate, 840 mg/L of DBO<sub>5</sub>, 760 mg/L SS y 9526 mg/L of MES, which were analyzed and treated with the purpose of lowering the level of contamination, since it does not fulfill the limits of discharges settled down in the unified Text of Secondary Environmental Legislation, annex VI, chart 9.

Also the company, by means of the implementation of this treatment system, will achieve to reduce the polluting load below the limits settled down by the regulatory effective scheme.

You can indicate that as a result of the treatment of the residual water, one was obtained removal of the DQO of 91%, DBO<sub>5</sub> 95%, for the sulfide content of reduction of 99,9%. The reduction of the solids in suspension of 94%. And one removal of phenols of 99%.

Being obtained this way a dilutes treated that can be discharged to the public sewer system, since it fulfills the discharge limits.

The company will make frequent analysis to the treated to verify that the treatment is going well and that the pollutants are being minimized.

## INTRODUCCIÓN

El agua, como motor de desarrollo y fuente de riqueza, ha constituido uno de los pilares fundamentales para el progreso del hombre. La ordenación y gestión de los recursos hídricos, que ha sido desde siempre un objetivo prioritario para cualquier sociedad, se ha realizado históricamente bajo directrices orientadas a satisfacer la demanda en cantidades suficientes, bajo una perspectiva de política de oferta.

Esto ha hecho necesario un cambio en los planteamientos sobre política de aguas, que han tenido que evolucionar desde una simple satisfacción en cantidad de las demandas, hacia una gestión que contempla la calidad del recurso y la protección del mismo como garantía de un abastecimiento futuro y de un desarrollo sostenible.

La disposición de los residuos líquidos producidos en la elaboración de cueros es un tema de actualidad en todos los países con industrias de curtiembres. Evitar, minimizar, valorizar, reciclar un residuo cuestionado son acciones que deben ser apropiadamente consideradas al momento de disponerlo.

Esta industria mundialmente se reconoce como una de las más contaminantes de aguas, debido a los procesos químicos involucrados. Es conocido que los efluentes de la industria del cuero constituyen uno de los residuos de mayor complejidad para su tratamiento en razón de las características de su carga contaminante. Es por ello que un adecuado tratamiento de dichas aguas residuales, resulta imprescindible desde el punto de vista ambiental y sanitario

## JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realizó en la Tenería Neogranadina S.A. de la ciudad de Ambato, adquiere el cuero en Wet Blue, y únicamente realiza la última etapa del proceso que es el Acabado, el cual tiene una serie de subprocesos que son Ecurrido, Rebajado – Raspado, Neutralizado, Recurtido – Teñido – Engrase, Lavado, Secado – Recorte – Clasificado, Acondicionado – Ablandado – Lijado – Pintado – Planchado, de las cuales, el Neutralizado, Recurtido, Teñido, Engrase, Lavado son subprocesos que se realizan en los Bombos o Fulones, siendo esta etapa la de mayor contaminación

La tendencia actual es disminuir la concentración de las sustancias contaminantes en los vertidos industriales, por lo que se está estableciendo, cada vez más, mayores controles en la calidad de agua vertida, siendo necesario un pre-tratamiento de la misma, es por esto que la Tenería Neogranadina, está interesada en cumplir con las normativas que exige la ley, para la cual solicitó el diseño de un sistema de tratamiento de agua residual, puesto que como industria, debe mantener o mejorar la calidad de agua que va a descargar al alcantarillado público.

De la misma forma la empresa considera el tratamiento del agua, como una de sus estrategias para mejorar la productividad e incluso incursionar en los mercados internacionales, así como mejorar la competitividad puesto que se reducirán los costos de producción y la empresa tendrá una mejor imagen ante la sociedad.

## ANTECEDENTES

La ciudad de Ambato, capital de la provincia de Tungurahua, se caracteriza por ser un centro de intercambio comercial estratégico por ser considerada como el centro del país.

La ciudad cuenta con muchas curtiembres grandes medianas y pequeñas, las cuales se dedican al adobo de pieles, realizando o no todos sus etapas, es decir algunas se dedican sólo a la etapa ribera, otros solo a la Curtición y otras adquieren wet blue para realizar las etapas de recurtición, tintura y engrase.

La Tenería Neogranadina, es considerada una pequeña empresa dedicada al adobo de pieles, las instalaciones de la planta ocupan una superficie de 100 m<sup>2</sup>, actualmente se recorren alrededor de 520 bandas al mes y se tratan casi 10000 pieles para el proceso de carnaza.

El agua residual que se genera en los procesos de carnaza y de R.T.E., lleva consigo una gran cantidad de SST, este efluente sin un tratamiento previo es directamente vertido hacia la red de alcantarillado público, esta acción contribuye directamente a la contaminación del agua, aumentando considerablemente los niveles de DBO y DQO, en el agua, generación de malos olores en el aire.

Actualmente la planta no cuenta con registros sobre estudios de tratamiento de agua residual ni trabajo alguno relacionado con la problemática ambiental.

## **OBJETIVOS:**

### **OBJETIVO GENERAL:**

- Realizar el Diseño de un Sistema de Tratamiento de Agua Residual para la Tenería Neogranadina S.A. de la ciudad de Ambato.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- Caracterizar el agua residual de los diferentes procesos de la Tenería Neogranadina S.A. de la ciudad de Ambato
- Identificar las variables de diseño.
- Diseñar el sistema de tratamiento de agua residual.
- Caracterizar el agua luego del tratamiento.

# **CAPITULO I**

## **1. MARCO TEÓRICO**

### **1.1. CURTIEMBRE**

Una curtiembre, curtiduría o tenería es el lugar donde se realiza el curtido, proceso que convierte las pieles de los animales en cuero. Las cuatro etapas del proceso de curtido de las pieles son: limpieza, curtido, recurtición y acabado. Se debe quitar el pelo, curtir con agentes de curtimiento y tinturar, para producir el cuero terminado.

#### **1.1.1. PROCESOS HÚMEDOS DE POST-CURTICIÓN**

Esto consiste en un reprocesamiento del colágeno ya estabilizado, tendiente a modificar sus propiedades para adecuarlas a artículos determinados. Este objetivo se logra agregando otros curtientes en combinación o no con cromo. En este grupo de procesos se involucra el neutralizado, recurtido, teñido y engrasado del cuero.

##### **1.1.1.1. Recurtición, tintura y engrase**

Son tres operaciones que se realizan de manera conjunta, mediante la introducción de los cueros en “Bombos” en donde se le dan baños con productos vegetales, sintéticos, grasas, aceites y colorantes; todo esto con la finalidad de obtener un producto con características específicas de suavidad, color y elasticidad. Luego de lo cual, se procede a estirar las arrugas naturales de la piel, con lo cual se logra, adicionalmente, la

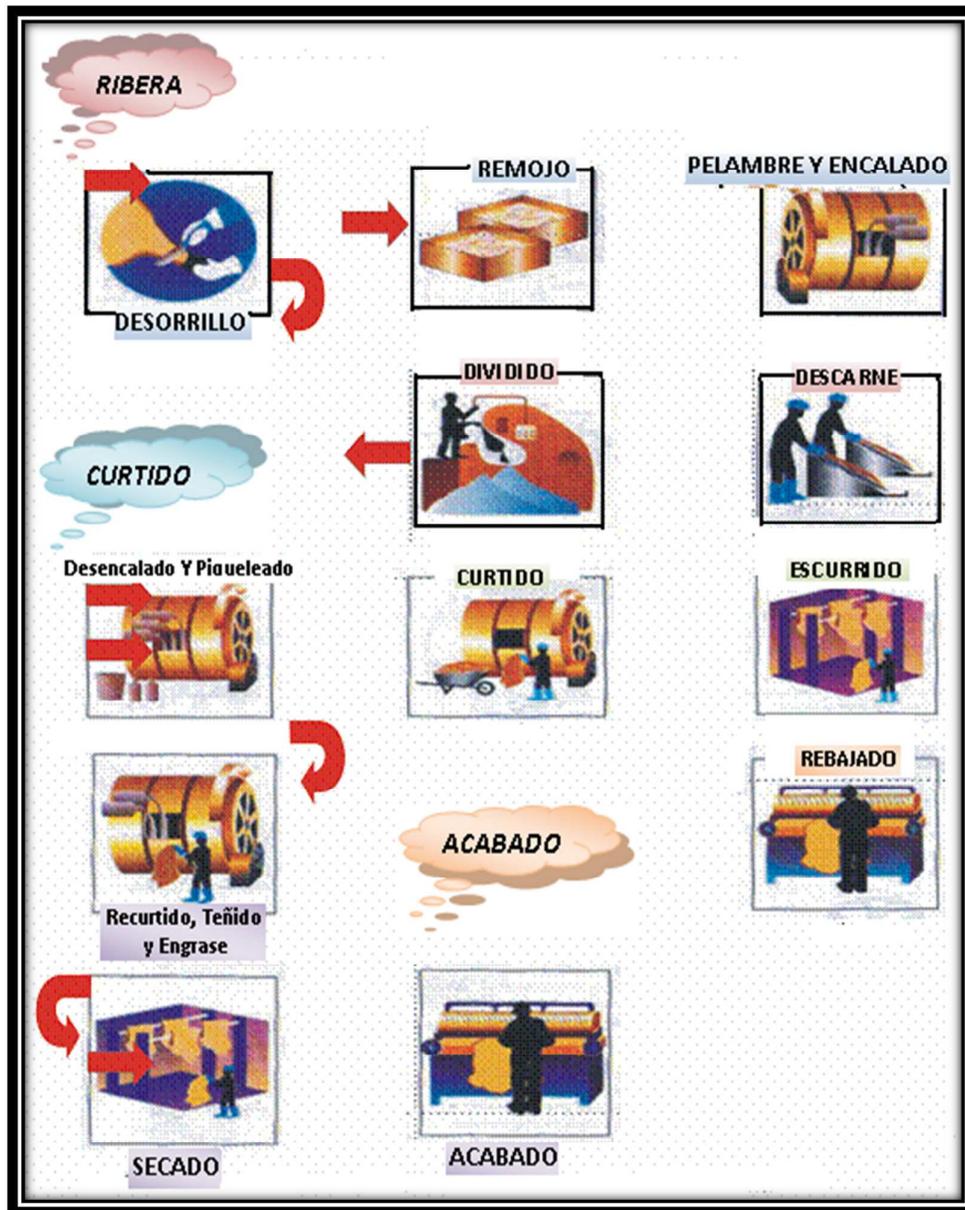
eliminación del agua en exceso resultante del proceso anterior, mediante su paso por una máquina que se asemeja a una plancha. Posteriormente, cada cuero es colgado en una cadena de transporte lento en la cual termina el proceso de secado. Finalmente, los cueros son re-humectados y en algunos casos pasados por máquinas de ablandamiento mecánico, con lo cual se logra obtener tipos específicos de cueros, relacionados con su flexibilidad y dureza, dándole su acondicionamiento y acabados finales para definir las características finales del cuero, las cuales vienen dadas por los requerimientos de los clientes y las directrices de la moda mundial.

Tabla1: Etapa de recurtido teñido y engrase (RET)

<b>OPERACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN Y OBSERVACIONES</b>
Desengrase y lavado	Lavado de impurezas de sustancias hidrofóbicas y/o hidrofílicas.
Recurtido catiónico	Se acidifica, se adiciona la sal de cromo, Imparte elasticidad y suavidad y lo prepara para las próximas operaciones.
Neutralizado	Se aumenta el pH para eliminar la acidez del cuero
Lavado	Se quitan las impurezas
Recurtido vegetal y/o sintético	Operación opcional en la cual se adicionan taninos o curtientes sintéticos como acrílicos, vegetales, etc.
Teñido	Imparte color al cuero ya sea superficial o totalmente (en el interior)
Engrasado	Lubrica fibras con aceites
Escurrecido y desvenado	Escurre y estira la piel mediante rodillos, para eliminar arrugas de la piel por el lado de la flor
<b>CUERO EN CRUST</b>	

Fuente: Aguas residuales de curtidos: origen, minimización y tratamiento final

Figura 1: Etapas principales en el proceso de producción de cueros curtidos



Fuente: Cadena productiva del cuero

## 1.2. AGUA PARA EL PROCESO

El agua es la una de las materias primas más importantes dentro del proceso de fabricación de cuero ya que esta se utiliza desde el inicio hasta el final del proceso. En diferentes porcentajes de acuerdo a la finalidad que se le quiera dar al cuero.

### 1.2.1. CONSUMO DE AGUA EN LA FABRICACIÓN DE CURTIDOS

Es muy diferente según la clase de cuero de que se trate: para 100 Kg de peso salado entre 1,5 y 12,0 m<sup>3</sup> de agua.

- a. Curtición vegetal:           aprox.   3,0 – 6,0 m<sup>3</sup> de agua
- b. Curtición al cromo:       aprox.   7,0 – 12,0 m<sup>3</sup> de agua

Procedimientos modernos: recirculación, circulación parcial de agua, procesos de enjuagado discontinuos. Aproximadamente 1,5 – 4,0 m<sup>3</sup> de agua

Tabla 2: Dureza del agua para la fabricación de curtidos

<b>PROCESO</b>	<b>DUREZA DEL AGUA</b>
Remojo	Una dureza media es aceptable. No es conveniente un elevado contenido de sustancias en suspensión ni de bacterias de descomposición.
Pelambre	La dureza no perjudica el pelambre con cal y sulfuro, pero si el enzimático.
Lavado después de pelambre	Con un elevado contenido de carbonato, peligro de formación de manchas de cal y en el rendido perjuicio de la acción enzimática.
Curtición vegetal	La dureza y el contenido en hierro son perjudiciales. Las sales cálcicas y magnésicas originan compuestos curtientes insolubles. El contenido en hierro origina coloraciones grises o azules.
Tintura – Engrase	Es favorable el empleo de agua blanda y sobretodo exenta de hierro.

Fuente: Informe de prácticas pre-profesionales Graciela Armas, 2011

Tabla 3: Consumo de agua para proceso de curtición

<b>CONSUMO DE AGUA POR ETAPAS</b>		
Remojo y Lavado	15 – 20%	
Calero y Lavados	25 – 27%	
Desencalado, Rendido y Lavados	10 – 13%	
<b>TOTAL RIBERA</b>		<b>50 – 60 %</b>
Piquel, Curtición, Neutralización y Lavados	15 – 20%	
Recurtición, Tintura, Engrase y Lavados	15 – 20%	
<b>TOTAL POST – CURTICIÓN</b>		<b>30 – 40%</b>
Acabados	10%	10%
<b>TOTAL PROCESO</b>		<b>100%</b>

Fuente: Aguas residuales de curtidos: origen, minimización y tratamiento final

### 1.3. AGUAS RESIDUALES DE TENERÍAS

Las industrias de curtidos aprovechan las pieles de los animales como materia prima para la fabricación del cuero, el cual encuentra numerosas aplicaciones (calzado, chaquetas, guantes, etc.).

Para transformar las pieles en cuero se debe realizar una larga serie de operaciones que implican procesos químicos, físicos o mecánicos, utilizando el agua como vehículo de reacción y que cada una tiene una finalidad propia hacia el objetivo final que es la obtención del cuero acabado. Los procesos más importantes para convertir una piel en cuero, se efectúan en medios acuosos. Cada etapa del proceso va generando residuos industriales líquidos con distintos grados de contaminación

### **1.3.1. EMISIONES LÍQUIDAS EN LA CURTIEMBRE**

En general la carga de material contaminante en los efluentes líquidos de las curtiembres es producto de la materia prima utilizada y de los insumos químicos. A lo anterior se suma el hecho que el proceso de una curtiembre es intensivo en el uso de agua, estimándose que el consumo de agua puede variar entre 25 y 80 litros por kilogramo de piel. Por esta razón siempre el proceso de curtición estuvo relacionado con la contaminación de las aguas.

### **1.3.2. IMPACTOS ASOCIADOS A LOS EFLUENTES LÍQUIDOS**

Las aguas residuales de la industria de curtido tienen altas concentraciones de materia orgánica, compuestos de nitrógeno, sulfuros, pH elevado, sólidos suspendidos y compuestos de cromo.

La alta carga de materia orgánica provoca la creación de condiciones anaerobias de biodegradación, debido al elevado consumo de oxígeno disuelto. Estas condiciones, además de afectar la vida acuática, favorecen la producción de algunos gases nocivos como el hidrógeno sulfurado, dióxido de carbono y metano.

Algunos residuos líquidos poseen alto valor de pH (entre 9 y 11) y sulfatos. Estos residuos cuando son descargados directamente al sistema de alcantarillado producen corrosión en las cañerías de cemento. Por otro lado, la presencia en los efluentes de compuestos sulfurados puede provocar la producción de sulfuro de hidrógeno gaseoso, al mezclarse este efluente alcalino con otros efluentes ácidos o neutros.

Cada etapa del proceso va generando residuos industriales líquidos con distintos grados de contaminación, siendo la más importante en términos de carga orgánica expresada en DBO<sub>5</sub>, la etapa de ribera.

Un ejemplo de los niveles de contaminación por fase de producción se indican a continuación:

Tabla 4: Niveles de contaminación por fases

PARÁMETROS DE LA POLUCIÓN	EFLUENTE TOTAL	REMOJO	PELAMBRE	DESENCALADO RENDIDO	PIQUELADO CURTICIÓN	RESTANTES
DBO <sub>5</sub> (Kg/t) %	75-90 100%	7-9 10%	52-63 70%	2,5 3,8%	1 1,2%	11,5-15,5 15%
DQO (Kg/t) %	200-220 100%	30-33 15%	110-120 56%	6 3%	2 1%	50-58 25%
Materiales oxidables (Kg/t) %	110-130 100%	14-17 13%	70-82 64%			14-17 23%
S. Suspendidos (Kg/t) %	140 100%	7 5%	77 55%			56 40%
Salinidad (Kg/t) %	250-350 100%	150-210 60%		20-30 8%	60-90 25%	17-25 7%
Toxicidad (Kg/t) %	2,5 100%		1,9 76%		0,6 24%	

Fuente: Winkler M. (1986)

Nota: La toxicidad fue medida a través del test de Dafnias

Dada las características del proceso de curtido de pieles, para hacer un adecuado análisis de los residuos industriales líquidos generados, es conveniente separar los procesos en tres etapas: ribera, piquelado y curtición, y procesos de post curtición.

### 1.3.2.1. Ribera

Esta etapa se caracteriza por generar una carga contaminante importante, a modo de ejemplo en la producción de una tonelada de piel vacuna, de acuerdo a Thorstensen (1993), se generan:

- Demanda bioquímica de oxígeno:  $DBO_5 = 50 \text{ kg/ton}$
- Demanda química de oxígeno  $DQO = 10 \text{ kg/ton}$
- Sólidos suspendidos =  $60 \text{ kg/ton}$
- Sulfuros =  $8 \text{ kg/ton}$
- Volumen vertido =  $20 \text{ m}^3/\text{ton}$

La fuerte carga contaminante generada tiene los siguientes orígenes:

**Suciedad adherida a las pieles por su cara exterior:** Compuesta fundamentalmente por tierra y guano adherido al pelo. Se eliminan principalmente en el remojo generando en el RIL sólidos suspendidos y  $DBO_5$ .

**Componentes constitutivos del cuero propiamente tal y que se eliminan durante la ribera:** En general, esta corresponde a todos los componentes del cuero distintos del colágeno, es decir, las proteínas no estructuradas y mucoproteínas, que se encuentran en la sangre y líquido linfático, todo lo cual desde el punto de vista de la curtición es indeseable, por cuanto son estructuras proteicas que reaccionan ávidamente con el cromo, generando cuerpos insolubles y que al quedar en el tejido interfibrilar hacen perder al cuero propiedades importantes como son la blandura, flexibilidad, elasticidad y "buen quiebre". Estos componentes proteicos no estructurados deben eliminarse, de preferencia, en la etapa de remojo, ya que justamente actúan degradando y solubilizando especialmente a las globulinas y mucoproteínas. La eliminación de estos componentes por solubilización en medio acuoso se traduce en un aumento de la  $DBO_5$ .

**Pelo:** Es un componente del cuero en bruto, compuesto de queratina. Es química y bioquímicamente muy estable. Su destrucción en el pelambre se hace posible por la acción de grandes cantidades de sulfuro y cal, lo que da un medio altamente alcalino. Esta destrucción conlleva a un drástico aumento de la  $DBO_5$  en el efluente así como también, un importante aumento de los sólidos suspendidos.

**Grasas:** Se encuentran abundantemente como tejido adiposo adherido en el lado carne del cuero.

Durante el proceso de pelambre se saponifican parcialmente en el medio alcalino, dando origen a una parte del valor del extracto etéreo del efluente total de curtiembre.

**Sulfuro:** Como se indicó anteriormente, el sulfuro es un producto fundamental en el proceso de destrucción del pelo o pelambre. Se trata de un elemento altamente tóxico en medio acuoso, principalmente porque debido a su carácter reductor provoca una drástica disminución del oxígeno disuelto en los cursos de agua y además cuando las soluciones acuosas que lo contienen bajan su pH del valor 10, se desprende ácido sulfhídrico gaseoso que al ser inhalado en determinadas concentraciones puede llegar a ser mortal. La presencia del sulfuro en el proceso de pelambre explica que este proceso por si solo sea responsable del 76% de la toxicidad total del efluente.

**Cal:** La cal apagada en polvo es un producto técnico de alta riqueza en hidróxido cálcico, alrededor del 90%. Se usa en la ribera debido, principalmente, a su bajo costo y a su poca causticidad como álcali. Es muy poco soluble (1,29 gr/l a 20°C) y los baños se preparan siempre con un exceso de cal (10 gr/l y superiores) que queda en suspensión, contribuyendo a elevar los valores de sólidos suspendidos en los efluentes. Es el único material usado por la curtiembre que da sólidos en suspensión, en circunstancias que la mayoría de las materias en suspensión proceden de las pieles.

**Alcalinidad:** En sí misma la alcalinidad propia del baño de pelambre es un elemento de contaminación, ya que por su alto valor de pH debe ser neutralizada antes de su descarga.

**Salinidad:** Esta se genera principalmente en el remojo y corresponde a sal común proveniente de la etapa de conservación del cuero (cerca del 60% de la salinidad), aportando otras etapas de la ribera, valores menores. Este porcentaje corresponde a

información internacional debido a la baja disponibilidad de valores nacionales y fundamentalmente, porque los valores nacionales no son el producto de estudios hechos durante largo tiempo considerando variaciones estacionales de la producción y un universo suficientemente amplio de industrias muestreadas.

**Nitrógeno amoniacal:** El nitrógeno amoniacal cuyo valor típico para efluente unificado de curtiembre es 70 mg/lit, también tiene su origen en la operación de ribera, siendo su principal fuente el sulfato de amonio usado durante el desencalado. También es frecuente la presencia de nitrógeno amoniacal en las fermentaciones anaeróbicas de proteínas. Además, en los pelambres se forma amoniaco debido a la desamidación de la glutamina y la asparagina presente en la estructura del colágeno.

**Tensoactivos:** Estos productos son ampliamente usados en ribera, como humectantes y como agentes de limpieza de los cueros. Los más usados son los alquilfenolesetoxilados. Estos productos dan altos valores de DQO y de toxicidad. Se ha determinado que 1gr/lit de alquilfenoletoxilado tiene una DQO de 2.300 mg/lit de O<sub>2</sub>.

### **1.3.2.2. Piquelado y Curtición**

De la tabla, se desprende que las operaciones de piquelado y curtición tienen una influencia relativamente importante en la toxicidad y salinidad del efluente.

No deja de llamar la atención que el proceso que contiene el grueso de la oferta del cromo al cuero, no represente una toxicidad mayor dentro del efluente global. Esto viene a corroborar que las sales de cromo trivalente son de baja toxicidad. No obstante lo anterior, el cromo seguirá siendo objeto de una verdadera persecución normativa y será mandatorio a las industrias curtidoras aplicar tratamientos a los baños que los contienen.

De ahí que se deba procurar confinar el uso del cromo a la menor cantidad de procesos posibles y reducir al máximo los volúmenes de agua de los baños que lo contengan.

### **1.3.2.3. Procesos post-curtición**

Estos procesos que incluyen las operaciones en húmedo a partir del estado de wet-blue, vale decir lavado, neutralizado, recurtido, teñido y engrase, tienen una importancia relativamente baja dentro de la contaminación del efluente unificado de una curtiembre.

Son de una toxicidad despreciable y de baja DBO<sub>5</sub> (15%), siendo solamente destacables por su aporte a los sólidos suspendidos, los que provienen fundamentalmente de virutas remanentes del proceso de raspado, las que a su vez son fácilmente eliminables de los efluentes, aún en el fulón mismo o previo a él. Es interesante destacar que las operaciones de recurtición, tintura y engrase tienen una contribución sólo del 5% del total de DQO del efluente unificado.

- **Neutralizado:** Después de los procesos de curtición de la piel, el pH del cuero oscila entre 3 y 4, teniendo que desacidificarlo antes de realizar los siguientes pasos ya que si se seca el cuero al cromo sin haberlo neutralizado previamente, al ponerlo en contacto con diversos metales, contenidos en otros reactivos, se puede producir la corrosión de los mismos. Los fenómenos de corrosión y deterioro se limitan si se neutraliza el cuero. En esta etapa se introducen las pieles en los bombos, se llena de agua a 50 °C y se añade cierta cantidad de desengrasante y antiespumante antes de introducir sales alcalinas cuya función es subir el pH hasta, aproximadamente 6. Una vez transcurrido el tiempo necesario para que se produzca el efecto deseado se realiza el lavado de las pieles.

• **Recurtición:** Este proceso proporciona al cuero sus propiedades finales. Normalmente se realiza con dos o más agentes distintos de curtición que pueden ser minerales (Cr ó Al), vegetales (mimosa) o sintéticos. Es una estabilización irreversible de la piel.

• **Tintura:** Inicialmente se añade amoníaco con el fin de desacidificar el cuero junto con un dispersante de color, a continuación se añade la combinación de colorantes deseada y se procede a la mezcla en el bombo durante un tiempo determinado. Se añade el colorante en fundas de papel, para evitar que el colorante caiga directo sobre el cuero y lo manche. Para tintura se utiliza agua fría y en poca cantidad, mientras que para remonte se utiliza agua a 70° y en gran cantidad, aproximadamente el 200% (P/V).

• **Engrase:** Los elementos fibrosos deshidratados por la curtición se cubren con una capa de grasa que produce un efecto hidrificante, haciendo de nuevo blando el cuero, dándole un determinado tacto y mayor flexibilidad que la inicial.

• **Fijación:** La fijación consiste en introducir un cambio brusco de pH (hacia un pH ácido), con el fin de fijar los colorantes adicionados a las fibras. Generalmente se utiliza ácido fórmico diluido 1:10.

• **Lavado:** Una vez finalizada la tintura se realizan varios lavados con agua. Durante todo el proceso de tintura se genera un gran volumen de aguas residuales, que son vertidas a un tanque de homogeneización.

• **Colorantes:** El vertido de colorantes en las aguas residuales es uno de los grandes problemas de contaminación de las industrias de acabado de piel. El color en el agua

impide el paso de la luz y el oxígeno y, por lo tanto, desfavorece el desarrollo de microorganismos y su autodepuración o tratamiento biológico.

Una gran parte del colorante aplicado, normalmente cerca del 30%, es desechado debido a su hidrólisis en el baño alcalino 4,5. Las plantas de tratamiento de aguas residuales convencionales, tienen una baja eficiencia de eliminación de estos colorantes. Como consecuencia, nuevas restricciones están siendo establecidas para la descarga de efluentes coloreados, por ejemplo, en Alemania y en el Reino Unido se obliga a las fábricas a decolorar sus efluentes on-site.

Debido a que los colorantes son resistentes a la degradación, es razonable que se consiga una baja eliminación de los mismos con los sistemas de lodos activados o distintas combinaciones de procesos químicos, físicos y biológicos.

#### **1.4. PRINCIPALES PARÁMETROS ANALÍTICOS UTILIZADOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE TENERÍAS**

- **pH:** Constituye una manera conveniente de expresar la acidez y basicidad de las soluciones acuosas diluidas. La escala de pH típicamente va de 0 a 14 en disolución acuosa, siendo ácidas las disoluciones con pH menores a 7 y alcalinas las que tienen pH mayores a 7.

- **Sólidos totales disueltos (ST).**- Los sólidos disueltos totales es la medida de la cantidad total de materias disueltas en el agua; por ejemplo, calcio, magnesio, cloro, sulfatos, etc. El resultado se expresa en mg/L.

• **Sólidos Sedimentables (SS).**- Fracción de sólidos en suspensión capaz de separarse del agua residual por sedimentación. Esta medida es de interés en el diseño de decantadores.

• **Materias en Suspensión (MES).**- Sirve para medir la carga contaminante que se encuentra en suspensión y el grado de deshidratación de los lodos. Es el residuo que se obtiene al pesar el residuo procedente de la filtración de un volumen conocido de agua residual por un filtro de una micra de poro, limpiado y secado a 105 C. Se expresa en mg/L.

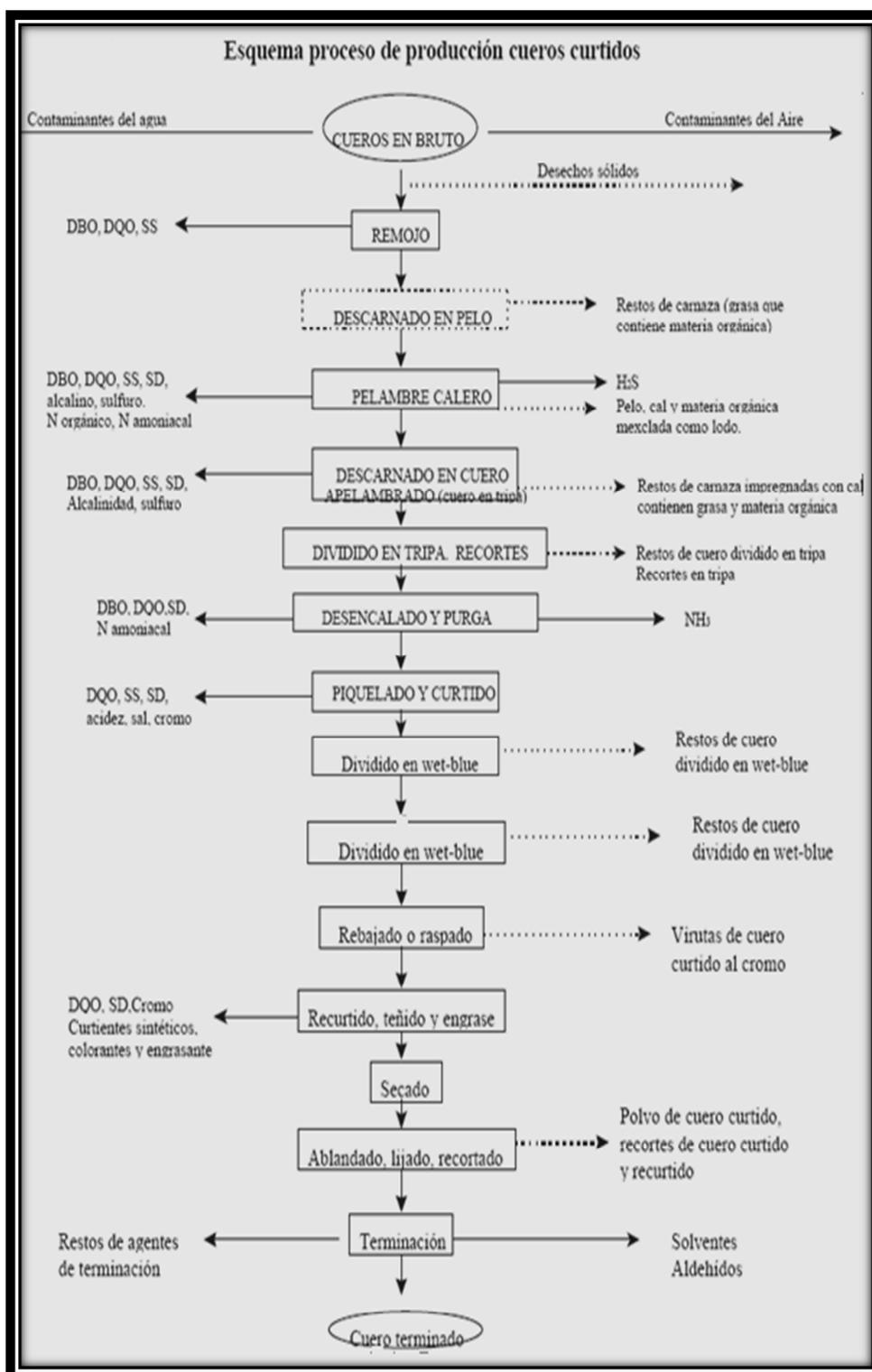
• **Demanda Química de Oxígeno (DQO).**- Cantidad de oxígeno, se utiliza para oxidar un volumen determinado de aguas residuales que contienen materia oxidables, mediante la acción del di cromato en medio ácido. Expresa en mg O<sub>2</sub>/L o ppm de O<sub>2</sub>.

• **Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 Días (DBO<sub>5</sub>).**- Es la cantidad de oxígeno que se utiliza para oxidar un volumen determinado de aguas residuales que contienen materias biodegradables, después de un periodo de incubación de cinco días.

Se expresa en mg O<sub>2</sub>/L o ppm de O<sub>2</sub>.

• **Sulfuros.** Debido a su toxicidad muchas legislaciones controlan específicamente su concentración. Se expresa en mg/L o en ppm. Es necesario conocer la cantidad de este producto para evitar posibles desprendimientos de ácido sulfhídrico. En la Naturaleza, se forma en las zonas pantanosas y en el tratamiento de lodos de aguas residuales, mediante transformaciones anaeróbicas del azufre contenido en las proteínas o bien por reducción bacteriana de sulfatos.

Figura 2: Principales contaminantes del agua por procesos



Fuente: Guía para el control y prevención de la contaminación industrial

## **1.5. TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL EN LA INDUSTRIA DE CURTIEMBRE**

Para el tratamiento de las aguas residuales, se hayan hecho o no tratamientos para minimizar o reutilizar las aguas en proceso, si bien éstos siempre son convenientes en algunos casos imprescindibles de realizar, es necesario tener en consideración, dos factores fundamentales:

### **1.5.1. EL LUGAR FINAL DE VERTIDO**

Del cual dependen los límites mínimos a conseguir como resultado del tratamiento, y que básicamente son dos:

- **Vertidos a cause publico.-** Son los vertidos que tienen lugar en las aguas interiores como ríos, lagos, embalses y sobre el terreno.
- **Vertidos a la red de alcantarillado público.-** Los límites máximos de vertidos permitidos son los establecidos en las ordenanzas. Las exigencias son distintas según donde los efluentes son vertidos.

### **1.5.2. QUE LOS PROCESOS REALIZADOS PARA CADA EMPRESA, SON DIVERSOS**

Hay empresas que realizan todo el proceso entero a partir de pieles conservadas, otros que inician el proceso a partir de pieles en tripa, pieles piqueladas, pieles curtidas y otros que solo realizan el proceso de ribera. Tal como se ha indicado, esto dará lugar a

vertidos diferentes en cuanto al caudal vertido y de muy diferente calidad en cuanto a parámetros de vertido, lo cual se ha de tener en cuenta a la hora de decidir un sistema de tratamiento.

En este sentido será importante, disponer de los caudales y de los parámetros analíticos, si puede ser, tanto de cada operación, como del total que se vierte al sistema de tratamiento.

En relación al vertido total, se ha de tener en consideración que, teniendo en cuenta que los vertidos son discontinuos, para obtener una muestra que sea representativa, se ha de hacer proporcional bien al caudal vertido o bien en función del tiempo. El mejor sistema, es utilizar un muestreador automático. Para poder tomar una buena muestra, es necesario disponer de cualquier tipo de sistema de medida de caudal normalizado.

A partir de los datos de caudal y de los parámetros obtenidos se obtiene la carga contaminante de cada parámetro en Kg. de parámetro/día, que es la unidad que se utiliza habitualmente para hacer los cálculos de los sistemas de saneamiento necesarios. Hay que recordar que a efectos de comparación de procesos, hemos utilizado como unidad los Kg/TM de piel. La interconversión, es fácil teniendo en cuenta que también se conoce la producción en TM piel/día.

A partir de estos datos, se puede hacer una primera aproximación. Sobre un posible sistema de tratamiento, si bien en general, es imprescindible hacer pruebas suplementarias tanto a escala de laboratorio, por ejemplo del tipo "jar test" en el caso de tratamientos físico-químicos. Para el tratamiento de las aguas residuales generadas en la

etapa de ribera es necesario eliminar el sulfuro. Una vez realizado este procedimiento, se aplica la metodología convencional para depurar el efluente resultante que tiene características semejantes al agua residual de origen doméstico.

### **1.5.3. OPCIONES DE TRATAMIENTO Y DISPOSICION**

Los procesos de tratamiento simples pueden remover más de 50% de sólidos suspendidos y de DBO del efluente. Los procedimientos más complejos pueden lograr niveles más altos, pero exigen costos mayores y operaciones más cuidadosas.

Las diversas etapas del tratamiento de residuos se inician con procesos preliminares de tratamiento, seguidos de técnicas de tratamiento primarias y secundarias (es decir, biológicas) y concluyen con métodos avanzados de tratamiento.

En lugares donde actualmente no se practica ningún tratamiento, la primera consideración sería instalar y observar el grado de mejoría obtenido con el tratamiento primario antes de considerar los procesos secundarios.

Las técnicas simples de tratamiento y manejo pueden crear efectos ambientales secundarios. Estos efectos denominados efectos de medios cruzados ocurren cuando los operadores de la planta no consideran adecuadamente el destino final de los residuos generados por las "soluciones" de tratamiento al final del proceso industrial.

La contaminación de aguas subterráneas, la contaminación del suelo, el vaciado de lodos y la intoxicación con compuestos químicos son algunos de los posibles resultados.

- Tratamiento Preliminar o pre tratamiento.
- Tratamiento Primario o físico – químico.
- Tratamiento de los fangos generados en la depuración de las aguas residuales.

### **1.5.3.1. TRATAMIENTO PRELIMINAR**

Las técnicas de tratamiento preliminar se emplean para reducir la carga de residuos que será tratada posteriormente y remueve los materiales que pueden amenazar, obstaculizar y/o dañar los sistemas de recolección.

Las operaciones de pre-tratamiento, son esencialmente, operaciones de tipo físico - mecánicas, que tienen por objeto separar los sólidos más groseros del vertido, con la finalidad de bajar las MES aunque también se baja la DQO, y protege al resto de elementos mecánicos del sistema de tratamiento, como bombas, válvulas, cañerías, etc., de desgastes, obturaciones y otros problemas. Es recomendable en todos los casos e imprescindible en el caso de empresas con proceso completo la realización de un pre-tratamiento, el cual consiste básicamente en la siguiente operación:

#### **1.5.3.1.1. DESBASTE**

Es el primer paso en el tratamiento de las aguas residuales, consiste en la separación de los sólidos más o menos gruesos. Para ello se utiliza:

- **Tamices:** Consiste en una filtración sobre soporte delgado, y sus objetivos son los mismos que se pretenden con el desbaste, es decir, la eliminación de materia que por su

tamaño pueda interferir en los tratamientos posteriores.

- **Rejillas:** Las rejillas según la distancia entre barrotes, se pueden clasificar en rejillas gruesas (50-100 mm entre barrotes) y rejillas finas (3-10 mm entre barrotes). Normalmente las rejillas finas, van siempre precedidas por una rejilla gruesa. En los procesos de tratamiento del agua residual, las rejillas se utilizan para proteger bombas, válvulas, tuberías y otros elementos, contra posibles daños y obturaciones ocasionados, por objetos de gran tamaño como trapos, retazos de cartón, palos, etc.

De acuerdo con el método de limpieza, las rejillas se clasifican como de limpieza manual o mecánica. Las rejillas de limpieza manual se usan con bastante frecuencia en plantas de tratamiento pequeñas; los sólidos removidos por las rejillas se colocan sobre una bandeja perforada para su deshidratación.

### **1.5.3.2. TRATAMIENTO PRIMARIO**

El tratamiento primario consta de procesos fisicoquímicos básicos para remover los contaminantes principales de las aguas residuales crudas, como DBO, DQO, sulfuro y cromo. La sedimentación simple y la coagulación/sedimentación pueden emplearse para separar los contaminantes precipitados del efluente tratado.

#### **1.5.3.2.1. Homogeneización**

Es una operación imprescindible, y consiste en la mezcla de todas las corrientes residuales con lo cual se consigue regularizar el caudal e igualar su concentración. Es

importante que en esta operación no sedimenten materiales en suspensión. Es por ello que, se han de mantener las aguas residuales en agitación.

Para la agitación, se puede utilizar los siguientes sistemas:

- Agitadores mecánicos de rotación lenta (50 a 100 rpm), y de gran diámetro (1 a 3 m). Para este caso no son aconsejables los depósitos redondos.
- Aire a presión. En este caso, además de la mezcla se obtiene una pre-aireación que favorece la floculación de los sólidos que coagulan a causa de la mezcla, así como una disminución de la DQO (en forma de DIO, a causa de la oxidación de ciertos reductores), y también hace que se mantenga las aguas residuales en condiciones aerobias, lo cual evita posibles fermentaciones, que son causa de malos olores.

#### **1.5.3.2.2. Sedimentación/coagulación-sedimentación**

La sedimentación simple se emplea para remover partículas no floculantes y material flotante de baja densidad. Esta técnica ha resultado eficaz para reducir sólidos suspendidos, DBO<sub>5</sub>, cromo y grado de alcalinidad de los residuos de curtiembres.

Durante la coagulación/sedimentación, se usan los coagulantes tales como el alumbre (sales de aluminio), cal, sales de hierro y polímeros para mejorar la tasa de remoción y los constituyentes de los residuos.

Es efectiva para reducir los niveles de sólidos suspendidos, DBO<sub>5</sub>, sulfuros, cromo y alcalinidad de los residuos de curtiembres.

En general, durante la precipitación del cromo, la eficiencia de la operación total dependerá de la capacidad para captar la mayor cantidad de licores que contienen cromo. Lamentablemente, la remoción de materiales suspendidos, generalmente en forma de cal insoluble, genera grandes volúmenes de lodo pesado.

Cuando las sales de hierro, tales como el sulfato férrico y el cloruro férrico, se emplean para precipitar sulfuros de efluentes ecualizados mixtos, el volumen de lodos es generalmente alto y si la sedimentación no es eficaz, las sales de hierro le darán un color oscuro al efluente final. Cuando las sales de aluminio (200 ppm de Al) se emplean para precipitar el cromo de los licores, se debe establecer un pH mayor que 8 y usar polielectrolitos aniónicos (5 ppm) para obtener una sedimentación más rápida.

Las dispersiones coloidales presentes en las aguas residuales, contienen partículas que son estables durante mucho tiempo, en suspensión, a causa tanto de su diámetro que es muy pequeño (se puede considerar que se encuentra comprendido entre 10 y 0,001 micras), como causa del hecho que tienen una carga electrostática en general negativa, que impide que se puedan aglomerar y formar partículas de tamaño más grande, ya que se repelen.

El fenómeno de la coagulación, consiste en una desestabilización de las partículas coloidales, que tiene lugar al introducir un producto químico capaz de descargar los coloides y así dar lugar a una agregación de los mismos que permita su sedimentación.

La floculación consiste en la aglomeración de los coloides descargados, favorecida por un proceso de agitación mecánica lenta, con la adición de productos químicos

floculantes. Estos productos, estimulan la coagulación, aumentando la velocidad de formación, la cohesión y la densidad de los floculos.

Entre los diversos productos coagulantes existentes, los más utilizados en el caso de las aguas residuales de curtición son:

- Sulfato ferroso:  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  (pH óptimo de utilización: 8,5-11)
- Cloruro férrico:  $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  (pH: óptimo de utilización 4-11)
- Sulfato de aluminio:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4) \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$  (pH óptimo de utilización: 5,5-8)
- Policloruro de aluminio:

Las cantidades a utilizar, se calcularon mediante ensayos previos con el "jar test", ya nombrado, si bien a título orientativo, se pueden indicar unas cifras de hasta aproximadamente 500 mg/L, caso de las sales de hierro y de hasta 200 mg/L, caso de las sales de aluminio.

La utilización de sales ferrosas, además de su bajo precio, da lugar a una precipitación de los sulfuros residuales. Los inconvenientes, son que las aguas residuales poseen una cierta coloración negra (más en el caso de presencia de taninos) y que los fangos presentan ciertas dificultades a la hora de su decantación.

Las sales de aluminio, tienen un alto poder de decoloración sobre las aguas residuales pero, el inconveniente del precio y que dan una mayor cantidad de fangos.

De los muchos floculantes existentes en el mercado, de diferentes caracteres iónicos (aniónicos, catiónicos y no iónicos) y de diferentes composiciones químicas, los más

efectivos en el caso de aguas residuales de curtición, son los de carácter más o menos fuertemente aniónicos en base a poliacrilamida.

La cantidad a utilizar y efectividad óptima de un floculante igual que en el caso de los coagulantes, se ha de conseguir mediante ensayos prácticos con el "Jar test", si bien a título orientativo se pueden indicar cifras de entre 1-5 g/m<sup>3</sup>.

La disolución de los floculantes, es difícil, ya que las disoluciones, incluso muy diluidas, son muy viscosas.

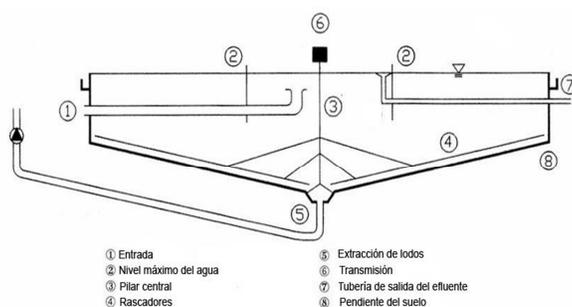
En general se acostumbran a preparar soluciones madre de una concentración de 5-10 g/L que se mantienen en agitación muy lenta (velocidad de las palas del agitador mecánico de 2-5 m/seg), hasta 2 horas. Estos productos son muy sensibles a la degradación mecánica producida por ejemplo, por una agitación intensa.

#### **• TIPOS DE TANQUES DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA**

La mayoría de las plantas de tratamiento utilizan tanques de sedimentación de diseño normalizado, rectangulares o circulares (Figura 3), con dispositivos mecánicos para la recolección y desalojo de lodos.

El flujo horizontal predomina en los sedimentadores horizontales, a diferencia del flujo radial que ocurre en sedimentadores circulares. Los sedimentadores rectangulares (Figura 4) cuentan con barredores con cadenas o puentes móviles, para la recolección de lodos sedimentados.

Figura 3: Tanque de sedimentación primaria circular

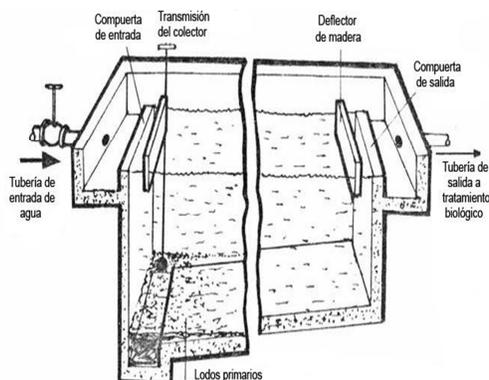


Fuente: Horan, 2003

En los sedimentadores rectangulares, la distribución del caudal es crítica, por lo que se requiere emplear alguno de los siguientes diseños:

1. Canales que ocupan la totalidad del ancho del sedimentador, con vertederos de entrada,
2. Canales de entrada con orificios sumergidos,
3. Canales de entrada con compuertas grandes y deflectores. Los deflectores ubicados en la entrada se utilizan para reducir las altas velocidades de ingreso y para distribuir el flujo a lo largo de la mayor sección transversal posible.

Figura 4: Tanque de sedimentación primaria rectangular



Fuente: Horan, 2003

Las espumas que se generan en los tanques de sedimentación son recolectadas por medio de desnatadores que se mueven sobre la superficie del líquido. En instalaciones donde la cantidad de espuma es considerable, los pozos para espuma están equipados con agitadores que promueven una mezcla homogénea antes del bombeo

La Tabla 5 muestra dimensiones y algunos otros datos típicos de los tanques de sedimentación primaria rectangulares.

Tabla 5: Información usual para diseño de sedimentadores rectangulares primarios

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>INTERVALO</b>	<b>VALOR USUAL</b>
Profundidad	Pie	10 – 16	14
Longitud	Pie	50 – 300	80 – 130
Ancho*	Pie	10 – 80	16 – 32
Velocidad del barredor	pie/min	2 – 4	3
*Si el ancho de los tanques rectangulares de sedimentación con limpieza mecánica supera los 20 pies, pueden usarse compartimientos múltiples con equipos individuales de limpieza, lo cual permite que el tanque pueda tener 80 o más pies de ancho			

Fuente: Crites y Tchobanoglous, 2000

### • FLOCULACIÓN CON POLICLORURO DE ALUMINIO

El tratamiento de agua con Policloruro de Aluminio produce floculos de gran tamaño, sumamente homogéneos. Para aguas floculadas se puede suponer que los sólidos suspendidos, son aproximadamente iguales a turbiedad. Está alistado como coagulantes provenientes de sales de aluminio junto con el tradicional sulfato de aluminio. Sin embargo, tiene algunas ventajas frente a este:

- Mayor potencia de coagulación.
- Mayor velocidad de coagulación y floculación.
- Menor gasto de coagulante (especialmente a altas turbideces).
- No aporta aluminio disuelto al agua.
- Menor turbidez final en el proceso.
- Disminuye el carbono orgánico total (TOC).
- Menor consumo de álcalis.
- Efectividad en un amplio rango de pH.
- Igual rendimiento con distintas temperaturas.
- Remoción de color.

La decantación, tiene por objetivo la separación de las partículas en suspensión, por diferencia de densidad, de forma que las partículas más pesadas que el agua son separadas por la acción de la gravedad. Bien sean fácilmente sedimentables por sí mismas o bien las que pueden sedimentar como resultado de una coagulación.

Los sólidos en suspensión, se recogen como resultado de ésta operación, como fangos, más o menos concentrados, denominados fangos primarios, que se separan de las aguas residuales depuradas.

#### **1.5.3.2.3. TRATAMIENTO DE LODOS**

Una mayor reducción de lodos es necesaria antes del espesamiento de los mismos. El líquido de los lodos tiene que drenarse consiguiendo un lodo seco y poroso. La deshidratación puede producirse de manera natural (mediante camas secas, secado

solar), durante un largo periodo de tiempo. Más rápidamente, aunque en más pequeñas cantidades (y también más costoso) son las máquinas de proceso.

Para una buena deshidratación, el tamaño y firmeza de los aglomerados del lodo son un factor importante, de manera que el lodo permanezca poroso durante la compresión. Se suele utilizar floculantes para alcanzar mayores niveles de materia seca en las máquinas de deshidratación y deben ser especialmente coordinados con el lodo.

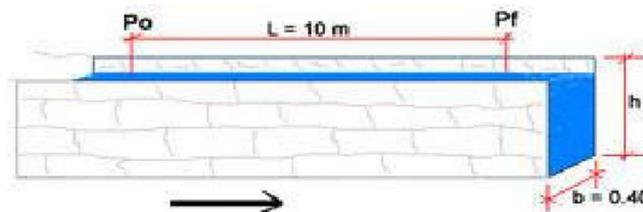
La opción del proceso más apropiado de deshidratación es importante la consideración las condiciones limitantes como: cantidad, estructura del lodo, disposición, regulaciones, disponibilidad, personal, etc.

#### 1.5.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

##### 1.5.4.1. CAUDAL

En dinámica de fluidos, caudal es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. Para determinar el caudal del agua se utilizó el Método del objeto flotante, el cual consiste en el siguiente procedimiento:

Figura 5: Método del objeto flotante



Fuente: [www.turbinas3hc.com](http://www.turbinas3hc.com)

- Ubicar en el canal un tramo aproximado 10 m (L) y de sección uniforme. Marcar el punto P<sub>o</sub> al inicio del tramo y el punto P<sub>f</sub> al final del tramo seleccionado.
- A la altura del punto P<sub>o</sub> soltar un pequeño tallo seco y anotar el tiempo (t) (seg) que demora en desplazarse hasta la altura del punto P<sub>f</sub>. Realice por lo menos 5 mediciones del tiempo (t) y saque un promedio para realizar el cálculo de la velocidad.
- Calcular la velocidad (v) del agua utilizando la siguiente fórmula:

$$v = \frac{L}{t} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

v = velocidad del agua (m/s)

L = longitud del tramo (m)

t = tiempo (s)

- Medir el ancho del canal (b) en metros y la profundidad del agua (h) en metros, para calcular el área de la sección. Mediante la siguiente fórmula:

$$A = b * h \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

A = área de la sección (m<sup>2</sup>)

b = ancho del canal (m)

h = profundidad del agua (m)

- Observar el tipo de terreno del canal para seleccionar el factor de corrección ( C ) del caudal, a partir de la Tabla 6

Tabla 6: Factor de corrección para el cálculo del caudal

TIPO DE TERRENO DEL CAUDAL	FACTOR DE CORRECCIÓN (C)
Canal de concreto	0,8
Canal de tierra	0,7
Arroyo quebrado	0,5

Fuente: [www.turbinas3hc.com](http://www.turbinas3hc.com)

- Calcular el caudal a partir de la siguiente fórmula:

$$Q = C * v * A \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

v = velocidad del agua (m/s)

A = área de la sección

C = factor de corrección

**CAUDAL DE DISEÑO:** Para calcular el caudal de diseño se emplea el factor de mayoración (FM) correspondiente al 30%.

#### 1.5.4.2. REJILLAS

El primer paso en el tratamiento del agua residual consiste en la separación de los sólidos gruesos. El procedimiento más habitual se basa en hacer pasar el agua residual bruta a través de rejas de barras.

Las rejas de barras suelen tener aberturas libres entre barras de 15 mm o mayores. Las rejas de barras se pueden limpiar manual o mecánicamente.

La información básica para el diseño convencional de rejillas de limpieza manual o mecánica se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7: Información usual para el diseño de rejillas de limpieza mecánica y manual

PARÁMETRO	UNIDAD	MANUAL	MECÁNICA
Ancho	pulg	0.2-0.6	0.2-0.6
Profundidad	pulg	1.0-1.5	1.0-1.5
Espacio entre barras	pulg	1.0-2.0	0.6-3.0
Inclinación con vertical	grad	30-45	0-30
Velocidad de aproximación	pie/s	1.0-2.0	2.0-3.25
Pérdidas admisibles	pulg	6	6

Fuente: Crites, Tchobanoglous, 2000

#### • Fundamentos del diseño

Para el dimensionamiento de las rejillas de limpieza manual es necesario diseñar el canal por el cual será conducida el agua hacia el proceso de tratamiento, para posteriormente compararlo con parámetros de velocidad y abertura de barras sugerido en tablas.

Es necesario además calcular la velocidad a la que se transporta el agua residual hacia el proceso de tratamiento, mediante la ecuación de Manning, para posteriormente compararlo con parámetros de velocidad y con abertura de barras sugeridas.

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

v = velocidad

n = Coeficiente de Manning

R = Radio hidráulico

J = Gradiente hidráulico

La velocidad de paso a través de la reja debe ser suficiente para que las materias en suspensión se apliquen sobre ella sin que se provoque una gran pérdida de carga ni atascamiento en los barrotes, para esto se establece una velocidad mínima y máxima que generalmente oscila entre 0,60 m/s y 1 m/s, suponiendo llegar hasta 1,4 m/s máximo.

Para el cálculo del radio hidráulico, se emplea la siguiente fórmula:

$$R = \frac{b \cdot h}{2(b+h)} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

R = radio hidráulico

b = ancho del canal (m) = 0,47 m

h = profundidad (m) = 0,55 m

#### **1.5.4.2.1. Determinación del área entre barras**

Para determinar la velocidad de entrada al área libre entre barras ( $A_L$ ), se tiene:

$$A_L = \frac{Q}{v_{RL}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$A_L$  = área libre entre barras ( $m^2$ )

$Q$  = caudal ( $m^3/s$ )

$v_{RL}$  = velocidad de entrada al área libre entre barras ( $m/s$ )

#### 1.5.4.2.2. Área de la sección transversal del flujo

$$A_f = A_L \left[ \frac{a+t}{a} \right] \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

$A_f$  = área de flujo ( $m^2$ )

$a$  = separación entre barras (mm)

$t$  = espesor de las barras (mm)

#### 1.5.4.2.3. Longitud sumergida de la rejilla

Para conocer la longitud de la rejilla sumergida es necesario conocer el nivel máximo de agua:

$$d_{max} = \left[ \frac{Q}{v_{RL} * B} \right] \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$d_{\max}$  = nivel máximo de agua (m)

$Q$  = caudal ( $m^3/s$ )

$v_{RL}$  = velocidad de aproximación (m/s)

$b$  = ancho de la rejilla (m)

Para la longitud:

$$L_s = \frac{d_{\max}}{\text{sen } \theta} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$L_s$  = longitud sumergida de la rejilla (m)

$d_{\max}$  = nivel máximo de agua (m)

$\theta$  = grado de inclinación de las rejillas

#### 1.5.4.2.4. Número de barras

$$(N + 1)a + N(t) = b \quad \text{Ecuación 10}$$

Despejando se tiene:

$$N = \frac{b-a}{a+t} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

$N$  = número de barras

$b$  = ancho de la rejilla (m)

a = separación entre barras (mm)

t = espesor de las barras (mm)

#### 1.5.4.2.5. Calculo de las pérdidas de carga a través de la rejilla

El análisis asociado con el uso de equipos para el tamizado grueso contempla la determinación de las pérdidas de carga producidas por el paso del agua a través de estas unidades. Las pérdidas hidráulicas a través de rejillas son una función de la velocidad de aproximación del fluido y de la velocidad del flujo a través de los barrotes. Las pérdidas de carga a través de una rejilla se pueden estimar por medio de la siguiente ecuación.

$$h_L = \frac{1}{0,7} \left[ \frac{V^2 - v^2}{2g} \right] \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

$h_L$  = pérdida de carga, pies (m).

$k = 1/0.7$  = coeficiente empírico, incluye pérdidas por turbulencia y remolinos.

$V$  = Velocidad de flujo a través del espacio entre las barras de la reja (m/s).

$v$  = Velocidad de aproximación del fluido hacia la reja, (m/s)

$g$  = aceleración de la gravedad, (m/s<sup>2</sup>)

Las pérdidas de carga calculadas con ayuda de esta ecuación solo pueden ser aplicadas en caso de que las rejillas estén limpias, ya que las pérdidas de carga aumentan en la medida en que las rejillas se van saturando con los residuos retenidos, estas se pueden estimar suponiendo que parte del espacio disponible para el flujo del agua a tratar se encuentra obstruido.

Cuando se realiza la limpieza mecánica de las rejillas, el mecanismo de limpieza actúa a medida que las pérdidas van aumentando. En algunos casos, la rejilla se limpia a intervalos de tiempo determinados, dependiendo del comportamiento en el aumento de las pérdidas de carga.

$$h_L = \frac{1}{c} \left[ \frac{V^2 - v^2}{2g} \right] \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

$h_L$  = pérdida de carga, pies (m).

$k = 1/0.6$  = coeficiente empírico que incluye pérdidas por turbulencia y formación de remolinos.

$V$  = Velocidad de flujo a través del espacio entre las barras de la reja (m/s).

$v$  = Velocidad de aproximación del fluido hacia la reja, (m/s)

$g$  = aceleración de la gravedad, (m/s<sup>2</sup>)

#### 1.5.4.3. TANQUE DE HOMOGENEIZACIÓN

El volumen del depósito de homogeneización, depende del caudal vertido y del régimen de trabajo. En general, se ha de calcular un volumen al menos igual al caudal diario vertido, caso de piel vacuna y con jornada laboral de 8-10 horas. Asimismo, también se ha de tener en cuenta no solo el caudal sino también el proceso de fabricación., ya que no siempre se realiza el mismo proceso

- Mezcladores estáticos: Esta clase de mezcladores se utiliza a menudo para mezclar reactivos químicos con el agua residual

**Potencia necesaria para mezcladores estáticos:** La cantidad de potencia consumida en mezcladores estáticos se puede calcular usando la siguiente ecuación

$$P = \gamma Q h \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde.

P = potencia disipada (kW)

$\gamma$  = peso específico del agua (kN/m<sup>3</sup>)

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

h = pérdidas de energía por el fluido en su paso por el mezclador estático (m)

#### **1.5.4.4. TANQUES DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA**

Siempre que un líquido que contenga sólidos en suspensión se encuentre en estado de relativo reposo, los sólidos de peso específico superior al del líquido tenderán a depositarse en el fondo, y los de menor peso específico a ascender. Estos principios básicos se emplean para el análisis y diseño de los tanques de sedimentación

La finalidad del tratamiento por sedimentación es eliminar los sólidos fácilmente sedimentables y del material flotante y, por lo tanto, reducir el contenido de sólidos en suspensión en el agua tratada.

Los tanques de sedimentación primaria contribuyen de manera importante al tratamiento del agua residual. Cuando se utilizan como único medio de tratamiento, su objetivo principal es la eliminación de:

1. Sólidos sedimentables capaces de formar depósitos de fango en las aguas receptoras
2. Aceite libre, grasas y otras materias flotantes, y
3. Parte de la carga orgánica vertida a las aguas receptoras.

Los tanques de sedimentación primaria dimensionados y operados de manera eficiente pueden eliminar entre el 50 y 70 % de los sólidos suspendidos y entre el 25 y 40 % de la DBO<sub>5</sub>.

Los tanques de sedimentación primaria que preceden a los procesos de tratamiento biológico, pueden diseñarse de forma que sus tiempos de retención hidráulica sean menores y tengan una carga de superficie más alta que los que se utilizan como único medio de tratamiento, excepto cuando el lodo activado en exceso se envíe a los tanques de sedimentación primaria para su mezcla con el lodo primario.

#### • Fundamentos del diseño

Si todos los sólidos presentes en el agua residual fueran partículas discretas de tamaño, densidad, peso específico y forma uniforme, la eficiencia de eliminación de estos sólidos dependería solamente del área superficial del tanque y del tiempo de retención. Suponiendo que las velocidades de circulación horizontales se mantuvieran por debajo de las de arrastre, la profundidad del tanque tendría poca importancia. Sin embargo, en la realidad, los sólidos de la mayoría de las aguas residuales no presentan características regulares debido a su naturaleza heterogénea. A continuación se describen los parámetros más importantes involucrados en el diseño de sedimentadores primarios.

#### 1.5.4.4.1. Cargas de superficie

Los tanques de sedimentación se suelen dimensionar en función de la carga de superficie, expresada en  $m^3/m^2$ . La adopción de una carga de superficie adecuada depende del tipo de suspensión que se deba sedimentar. La Tabla 8 presenta información típica para el diseño de tanques de sedimentación primaria.

Tabla 8: Información típica para el diseño de tanques de sedimentación primaria

CARACTERÍSTICAS	INTERVALO	TÍPICO
Sedimentación primaria		
• Tiempo de retención, h	1.5-2.5	2
Carga de superficie, $m^3/m^2 \cdot \text{día}$		
A caudal medio	30-50	40
A caudal punta	80-120	100
• Carga sobre vertedero, $m^3/m \cdot \text{día}$	125-500	250
Sedimentación primaria con adición del lodo activado en exceso:		
• Tiempo de retención, h	1.5-2.5	2
Carga de superficie, $m^3/m^2 \cdot \text{día}$		
A caudal medio	24-32	28
A caudal punta	48-70	60
• Carga sobre vertedero, $m^3/m \cdot \text{día}$	125-500	250

Fuente: Metcalf & Eddy, 1996

Los efectos de la carga de superficie y del tiempo de retención sobre la eliminación de sólidos suspendidos varían ampliamente en función de las características del agua

residual, de la proporción de sólidos sedimentables y de la concentración de sólidos, principalmente. Es conveniente poner especial atención en el hecho de que las cargas de superficie deben ser lo suficientemente reducidas como para asegurar el rendimiento de las instalaciones en condiciones de caudal punta.

#### **1.5.4.4.2. Cálculo del área del sedimentador**

Según Metcalf – Eddy para determinar el área superficial del sedimentador, se utiliza la siguiente expresión

$$CS = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

CS = carga superficial ( $\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$ )

Q = caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

A = área ( $\text{m}^2$ )

Despejando la ecuación anterior se obtiene:

$$A = \frac{Q}{CS} \quad \text{Ecuación 16}$$

#### **1.5.4.4.3. Volumen del sedimentador**

El volumen es la magnitud física que expresa la extensión de un cuerpo en sus tres dimensiones largo, ancho y altura.

$$V = L * a * h \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

V = volumen del sedimentador (m<sup>3</sup>)

L = largo (m)

a = ancho (m)

h = altura (m)

Para poder determinar el volumen del sedimentador se debe utilizar la siguiente ecuación para determinar primero el área.

$$A = L * a \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

A = área del sedimentador (m<sup>2</sup>)

L = largo (m)

a = ancho (m)

Aplicando una relación largo-ancho 1: 4, se tiene:

$$L = 4a^2 \quad \text{Ecuación 18}$$

Reemplazando en la ecuación 18 se tiene:

$$a = \sqrt{\frac{A}{4}} \quad \text{Ecuación 20}$$

#### 1.5.4.4.4. Tiempo de retención

Por lo general, los tanques de sedimentación primaria se proyectan para proporcionar un tiempo de retención entre 1.5 a 2.5 horas para el caudal medio del agua residual.

Los tanques que proporcionan tiempos de retención menores (0.5 a 1 h), con menor eliminación de sólidos suspendidos, se usan en ocasiones como tratamiento primario previo a las unidades de tratamiento biológico, el cual no es el caso en este estudio de investigación.

En el análisis y diseño de tanques de sedimentación primaria, los efectos de la temperatura no suelen requerir atención especial.

Sin embargo, en zonas de climas fríos, los incrementos de la viscosidad del agua producidos por las bajas temperaturas pueden retardar la sedimentación de las partículas y, consecuentemente, reducir la eficiencia del proceso de separación de sólidos cuando las temperaturas bajen de los 10° C.

El tiempo de retención se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo de retención} = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación: 21}$$

Donde:

V = volumen (m<sup>3</sup>)

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

#### 1.5.4.4.5. Remoción de DBO y SST

La Figura 6 se obtuvo a partir de observaciones realizadas a sedimentadores en funcionamiento, y en ella se presenta información útil acerca de la eficiencia en la remoción de DBO y SST en tanques de sedimentación primaria, como función de la concentración del afluente y el tiempo de retención.

La familia de curvas en la Figura 6 puede modelarse matemáticamente como una hipérbola regular usando la siguiente expresión:

$$R = \frac{t}{a+bt} \quad \text{Ecuación: 22}$$

Donde:

R = porcentaje de remoción de DBO o SST esperado, (%)

t = tiempo nominal de retención (h)

a, b = constantes empíricas

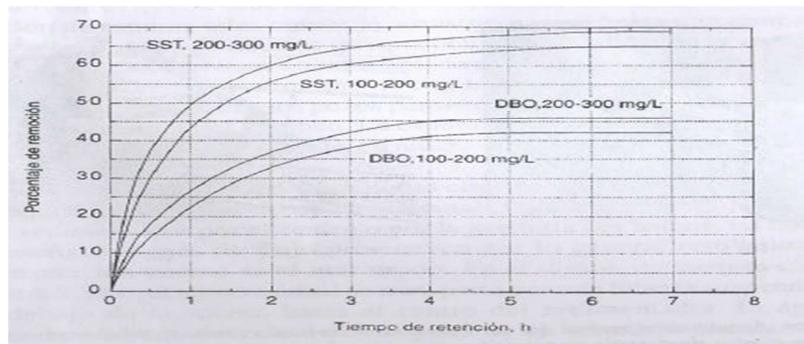
De acuerdo a Crites y Tchobanoglous, las constantes a y b pueden tomar los siguientes valores a 20° C (Tabla 9):

Tabla 9: Valores de las constantes empíricas a y b.

VARIABLE	A	B
DBO	0.018	0.020
SST	0.0075	0.014

Fuente: Crites y Tchobanoglous, 2000

Figura 6: Remoción de DBO y SST en tanques de sedimentación primaria.



Fuente: Metcalf & Eddy, 1996

#### 1.5.4.4.6. Velocidad de arrastre

La velocidad de arrastre es importante en las operaciones de sedimentación. Las fuerzas actuantes sobre las partículas sedimentadas son causadas por la fricción del agua que fluye sobre las mismas. En los tanques de sedimentación, las velocidades horizontales se deben mantener a niveles bajos, de modo que las partículas no sean arrastradas desde el fondo del tanque. La velocidad crítica viene dada por la siguiente ecuación desarrollada por Camp, a partir de estudios realizados por Shields

$$V_H = \left[ \frac{8k(s-1)gd}{f} \right]^{1/2} \quad \text{Ecuación: 23}$$

Donde:

$V_H$  = velocidad horizontal mínima a la cual se inicia el arrastre de partículas. (m/s)

$k$  = constante que depende del tipo de material arrastrado.

$s$  = peso específico de las partículas.

$g$  = aceleración de la gravedad.

d = diámetro de las partículas.

f = factor de fricción de Darcy-Weisbach.

Los valores más comunes de k son 0.04 para arena unigranular, 0.06 para materia más agregada. El factor de Darcy-Weisbach depende de las características de la superficie sobre la que tiene lugar el flujo y del número de Reynolds, sus valores típicos están entre 0.02 y 0.03. Tanto k y f, son constantes adimensionales.

Esta velocidad de arrastre se compara con la velocidad horizontal, la cual se calcula de la siguiente manera:

$$V_h = \frac{Q}{A} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

$V_h$  = velocidad horizontal (m/s)

Q = caudal ( $m^3/s$ )

A = área del sedimentador rectangular ( $m^2$ )

### **1.5.5. ENSAYO PARA DETERMINAR LA PRESENCIA DE SULFURO EN EL AGUA**

Para comprobar que todo el sulfuro se ha oxidado, se realizó una prueba simple:

A una muestra de la solución oxidada con  $H_2O_2$ , se le adicionó un poco de sal de cobre (en este caso sulfato de cobre, cristales de color celeste), disuelta en agua.

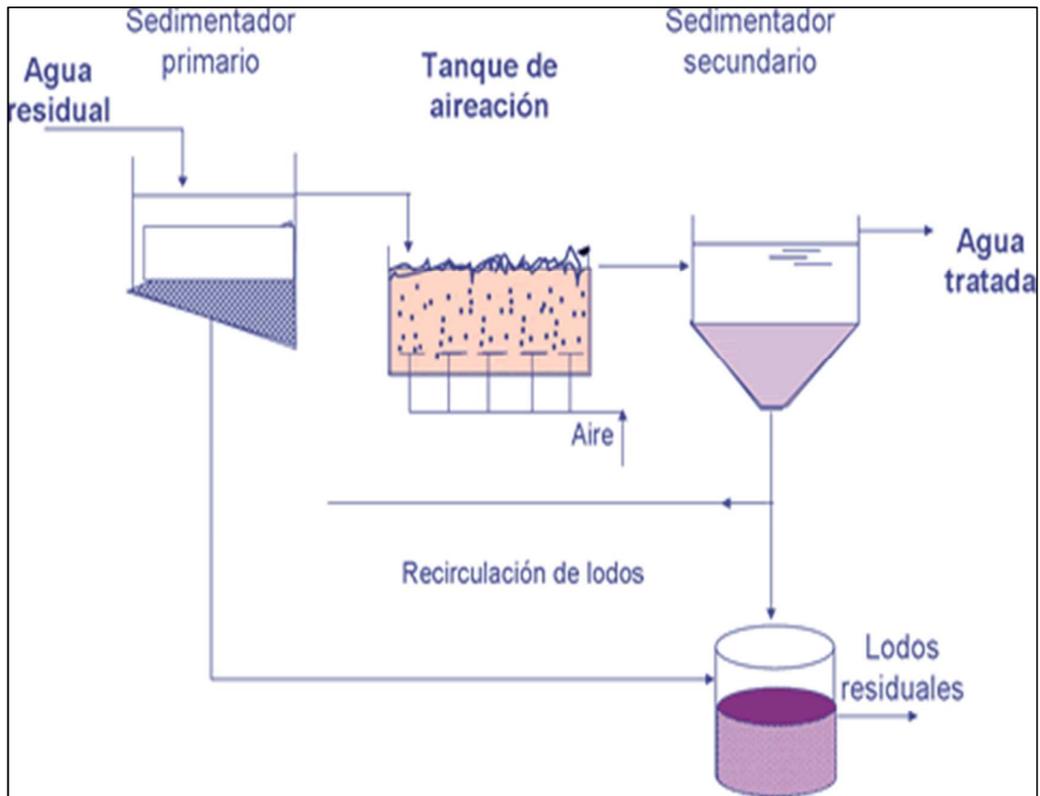
Si hay presencia de sulfuro, éste precipitara como sulfuro de cobre, de color negro (turbio), de lo contrario, no habrá precipitado.

## **1.6. DIMENSIONAMIENTO COMÚN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS**

El tamaño adecuado de las instalaciones en las plantas de tratamiento de aguas residuales cumple un papel muy importante:

- Grandes depósitos de regularización de caudal garantizan un funcionamiento de la planta en forma continua, incluso durante el período de cierre de la planta durante las vacaciones.
- Un volumen suficientemente grande de piletas de aireación además de un abastecimiento adecuado de oxígeno evitan que se produzcan olores y al mismo tiempo, reducen la cantidad de lodos.
- Estanques de afinamiento (clarificadores) suficientemente grandes garantizan la seguridad del funcionamiento, incluso cuando hay un mayor índice de lodos, una fuerte carga de aguas de lluvia, etc.
- No se recomiendan diseñar las plantas para valores de DQO<sub>5</sub> superiores a 25 mg/L en la salida, debido a que cuando el proceso de degradación no se lleva a estas concentraciones de DQO<sub>5</sub> se produce una degradación biológica inestable, además de emisiones de olores y una nitrificación insuficiente. Asimismo, se pueden producir lodos excedentes que no están lo suficientemente estabilizados, lo que puede presentar problemas en su posterior deshidratación
- El tiempo de residencia o edad de los lodos debería ser superior a los 20 días, para asegurar la composición adecuada de bacterias y la estabilidad del lodo excedente.

Figura 7: Esquema simplificado de un sistema de tratamiento de agua residual



Fuente: [cueronet.com/auqtic/tecnologia/aguasresiduales.htm](http://cueronet.com/auqtic/tecnologia/aguasresiduales.htm)

## **CAPITULO II**

### **2. PARTE EXPERIMENTAL**

#### **2.1. LOCALIZACIÓN Y DURACIÓN DEL ESTUDIO**

Esta investigación fue realizada en las etapas de proceso de carnaza, y en las etapas de recurtición, tintura, engrase de wet blue en la Tenería Neogranadina Beneficiadora de Cueros S.A. Esta agua proviene de los distintos procesos que corresponden a esta etapa. Se estudió esta agua durante los meses de enero y febrero del 2012, a la muestra se le realizó el análisis de cada uno de los parámetros característicos de aguas residuales. Así como también un caudal promedio por descarga mensual.

Posteriormente se trabajó en el proceso de resultados y diseño de los sistemas mediante los cálculos de ingeniería para la realización el respectivo tratamiento.

#### **2.2. MUESTREO**

##### **2.2.1. PLAN DE MUESTREO**

Se tomaron dos muestras por semana una para análisis en el laboratorio y la otra para tratamiento y comparación de resultados, varios parámetros físicos como son el caudal, temperatura, pH, fueron medidos en el sitio de muestreo.

El volumen de muestra para análisis fue de 3000 mL.

## **2.2.2. SISTEMA DE TOMA DE MUESTRAS**

**Etiquetado:** Se realizó el etiquetado a cada una de las muestras en el que se registró: número de muestra, nombre del responsable, la fecha, hora y lugar del proceso donde se tomó la muestra. Así como el pH y la temperatura del agua

**Envases:** La muestra fue tomada en envases de plástico con capacidad para 5L.

## **2.3. METODOLOGÍA**

### **2.3.1. METODOS**

#### **2.3.1.1. INDUCTIVO**

Se entiende por inducción la acción de extraer, en este caso comprende la recolección de las muestras, la caracterización de la misma y las pruebas de trazabilidad, para determinar los cálculos de ingeniería los cuales van a ser el punto de partida en el diseño y dimensionamiento del sistema de tratamiento.

#### **2.3.1.2. DEDUCTIVO**

De una manera generalizada se dispone de propuestas de sistemas de tratamientos de aguas residuales industriales, pero es de conocimiento que su diseño está en función de la forma de procesamiento de las pieles, compuestos químicos, volumen de agua, entre otros. Entonces por medio de dicha información se va a realizar la caracterización de las aguas residuales, medición del caudal y así diseñar el sistema de tratamiento.

### **2.3.1.3. EXPERIMENTAL**

Basa este estudio a nivel de laboratorio, en donde se mide los parámetros idóneos para agua residual proveniente de curtiembre como son pH, temperatura, turbidez, DBO, DQO, sulfuros, etc., para así encontrar las condiciones óptimas favorables para el dimensionamiento del sistema de tratamiento de agua residual para la Tenería Neogranadina S.A.

### **2.3.2. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

Son un procedimiento o conjunto de reglas que tienen como objetivo obtener un resultado determinado ya sea en el campo de la ciencia, la tecnología o cualquier otra actividad

### 2.3.2.1. MÉTODO 5210-B: DETERMINACIÓN DE DBO

Tabla 10: Determinación de DBO<sub>5</sub>

Fundamento	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
Determinación de DBO <sub>5</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frasco de DBO (winkler) de 250 – 300<sup>3</sup> cm de capacidad</li> <li>- Incubadora de aire con control termostático a 20 ±1 °C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua destilada</li> <li>- Solución amortiguadora de fosfato</li> <li>- Solución de sulfato de magnesio</li> <li>- Solución de cloruro de calcio</li> <li>- Solución de cloruro férrico</li> <li>- Solución de ácido sulfúrico 1N</li> <li>- Solución de hidróxido de sodio</li> <li>- Solución de sulfito de sodio 0,025 N</li> <li>- Inóculo</li> </ul>	<p>Norma Técnica INEN 1202 Aguas. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</p>	<p>Cuando el agua de dilución no ha sido inoculada:</p> $DBO, \text{mg/l} = \frac{D_1 - D_2}{P}$ <p>Cuando el agua de dilución ha sido inoculada:</p> $DBO, \text{mg/l} = \frac{(D_1 - D_2) - (B_1 - B_2)f}{P}$ <p>D<sub>1</sub>= OD de la muestra inmediatamente después de la preparación, mg/l. D<sub>2</sub>= OD de la muestra diluida después de 5 días de incubación a 20 °C, mg/l. P= Alícuota de la muestra usada en análisis. B<sub>1</sub>= OD del inóculo control antes de la incubación, mg/l. B<sub>2</sub>= OD del inóculo después de la incubación, mg/l. f= relación de inóculo en la muestra con el inóculo en el control = (% de inóculo en D<sub>1</sub>) (% de inóculo B<sub>1</sub>)</p>

Fuente: Métodos normalizados para análisis de aguas residuales y potables

### 2.3.2.2. MÉTODO 5220-C: DETERMINACIÓN DE DQO

Tabla 11: Determinación de DQO

Fundamento	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
Determinación de DQO	-Equipo de reflujos -Placa calentadora	- Solución de dicromato de potasio - Ácido sulfúrico - Solución titulante de sulfato ferroso y amonio - Solución indicadora de ferroína - Sulfato de plata - Sulfato de mercurio - Ácido sulfámico - Solución patrón de ftalato ácido de potasio	Norma Técnica INEN 1203 Aguas. Demanda Química de Oxígeno (DQO)	$DQO, mg/l = \frac{(a - b)N \times 8000}{cm^3 \text{ muestra}}$ <p>Siendo:  DQO: demanda química de oxígeno  a= cm<sup>3</sup> Fe (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> usado para el blanco.  b= cm<sup>3</sup> Fe (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> usado para la muestra.  N= normalidad del Fe (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub></p>

Fuente: Métodos normalizados para análisis de aguas residuales y potables

### 2.3.2.3. DETERMINACIÓN DE CROMO HEXAVALENTE

Tabla 12: Determinación de cromo hexavalente

Fundamento	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
Determinación de cromo hexavalente	- Equipo colorímetro - Balanza analítica	- Solución madre de cromo - Solución patrón de cromo - Ácido sulfúrico - Agua destilada	Norma Técnica INEN 983 Determinación de cromo hexavalente	$Cr^{6+}, mg/l = \frac{m}{cm^3 \text{ de muestra}}$ m= concentración de cromo establecida en la curva de calibración, en $\mu g$ .

Fuente: Métodos normalizados para análisis de aguas residuales y potables

### 2.3.2.4. MÉTODO 4500-B: DETERMINACIÓN DE pH

Tabla 13: Determinación de pH

Fundamento	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
Determinación del pH.	- Potenciómetro - Piceta - Vaso de precipitación	- Solución tampón de pH 4, pH 7 y pH 9. - Agua destilada	Norma Técnica INEN 973	Se determina directamente en la escala del instrumento.

Fuente: Métodos normalizados para análisis de aguas residuales y potables

### 2.3.2.5. DETERMINACIÓN DE LA TURBIDEZ

Tabla 14: Determinación de turbidez

Fundamento	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
Determinación de la turbidez	- Turbidímetro - Píseta	- Agua Residual	Colocar en la celda el agua obtenida en la prueba de jarras Colocar la celda en el turbidímetro Leer directamente el valor según la escala deseada (0-1, 0-10, 0-100, 0-1000) NTU	Lectura directa

Fuente: Métodos normalizados para análisis de aguas residuales y potables

### 2.3.2.6. MÉTODO 2540-B: DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS TOTALES

Tabla 15: Determinación de solidos suspendidos totales

Fundamento	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
Determinación de solidos suspendidos totales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cápsulas de porcelana</li> <li>- Horno de secado</li> <li>- Desecador</li> <li>- Balanza analítica de precisión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua Residual</li> </ul>	<p>Calentar la capsula limpia en la estufa de 103 a 105° durante una hora</p> <p>Elegir un volumen determino de la muestra, transferirla a la capsula pesada previamente y evapórese hasta que se seque</p> <p>Después secar la muestra evaporada al menos durante una hora a 103-105° enfriar en el desecador y pesar</p> <p>Repetir el ciclo hasta que el peso sea constante</p>	<p>Para la determinación de los sólidos totales utilizamos:</p> $mg \frac{ST}{L} = \frac{(A - B) * 1000}{vol\ de\ muestra\ mL}$ <p>Dónde:  A = peso del residuo seco  B = peso de la placa en mg</p>

Fuente: Métodos normalizados para análisis de aguas residuales y potables

### 2.3.2.7. MÉTODO 5530-C: DETERMINACIÓN DE ACEITES Y GRASAS

Tabla 16: Determinación de aceites y grasas

Fundamento	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
Determinación de aceites y grasa	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Embudo de separación</li> <li>- Matraz de destilación</li> <li>- Baño de agua</li> <li>- Papel filtro</li> </ul>	- Agua Residual	<p>Tome un volumen de 1 mL de muestra y marque el nivel de muestra en la botella.</p> <p>Acidifique hasta un pH de 2 o inferior con 5 mL de HCl, pásela por un embudo. Enjuague con cuidado la botella de la muestra con 30 mL de triclorotrifluoroetano y añada los lavados del disolvente al embudo de separación. Dejar que separe las dos capas y luego drenar la capa del disolvente a través del embudo que contenga el papel filtro humedecido con el disolvente en el matraz de destilación.</p>	<p>La cantidad de aceites y grasas se determina mediante:</p> $mg \text{ de aceites y } \frac{grasa}{L} = \frac{(A - B) \times 1000}{mL \text{ de muestra}}$ <p>Donde:  A = la ganancia total del peso  B = peso del matraz tarado menos el peso calculado</p>

Fuente: Métodos normalizados para análisis de aguas residuales y potables

### 2.3.2.8. MÉTODO 5530-C: DETERMINACIÓN DE TENSOACTIVOS

Tabla 17: Determinación de tensoactivos

Fundamento	Materiales	Reactivos	Procedimiento	Cálculos
Determinación de la tensoactivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Balanza analítica</li> <li>- Equipo de destilación</li> <li>- Potenciómetro de laboratorio</li> <li>- Espectómetro</li> <li>- Papel filtro</li> <li>- Embudos de separación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua Residual</li> </ul>	<p>Tomar 500 mL de la muestra ajustar el pH a 4 con una disolución de ácido fosfórico utilizando el indicador naranja de metilo y colocar el aparato de destilación, destilar la muestra, detener la destilación, cuando la muestra deje de hervir adicionar 500 mL de destilado total.</p>	<p>Para calcular los fenoles se utiliza la siguiente ecuación de la curva de calibración</p> $Y = mx + b$ <p>Para la concentración:</p> $\frac{ugfenol}{L} = \frac{A}{B}$ <p>Dónde:  A = microgramos de fenol determinada en la curva  B = mL de la muestra original</p>

Fuente: Métodos normalizados para análisis de aguas residuales y potables

## 2.4. DATOS EXPERIMENTALES

### 2.4.1. CAPACIDAD MÁXIMA DE PIELES (Kg) Y VOLUMEN DE AGUA A UTILIZAR POR CADA BOMBO EN EL PROCESO

Tabla 18: Volumen de agua a utilizar por bombo.

<b>BOMBO</b>	<b>CARGA MÁXIMA DE PIELES EN EL BOMBO (Kg)</b>	<b>PROCESO</b>	<b>%AGUA UTILIZADA (P/V)</b>
II	5000	Proceso de Carnaza	1800
IV	5000	Proceso de Carnaza	1800
V	200	Recurtición-Tintura-Engrase	800
I	35	Recurtición-Tintura-Engrase	800
II	35	Recurtición-Tintura-Engrase	800
III	20	Recurtición-Tintura-Engrase	800

Fuente: Graciela Armas

### 2.4.2. PRINCIPALES CONTAMINANTES PARA EL PROCESO DE CARNAZA

De forma genérica, se puede conocer los principales contaminantes tanto sólidos como líquidos durante los procesos de carnaza y el proceso de recurtición, tintura y engrase en T.N.O. para pieles de ganado vacuno:

Tabla 19: Principales contaminantes para el proceso de carnaza

INSUMOS	PROCESO	CONTAMINANTES
Agua, Carnaza	Dividido	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, SS, SD, sulfuros <b>Sólidos:</b> Cerraje en tripa y cortes.
Agua, Carnaza, Hipoclorito de Sodio	Eliminación de Bacterias	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, SS, SD, <b>Sólidos:</b> Retazos de carnaza
Agua, Carnaza, Ca(OH) <sub>2</sub> ,	Desengrase	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, SS, SD, Grasa <b>Sólidos:</b> Retazos de carnaza, materia Orgánica.
Agua, Carnaza, Tensoactivo	Lavado	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, SS, SD, Tensoactivo <b>Sólidos:</b> Retazos de carnaza.
Agua, Carnaza, Sulfato de Amonio	Desencalado	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, N, SD, amonio <b>Sólidos:</b> Retazos de carnaza. <b>Gas:</b> SH <sub>2</sub>
Agua, Carnaza, Acido Fórmico	Fijado	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, SD, amonio, agua acidificada
Agua, Carnaza, Peróxido de Hidrogeno	Blanqueamiento	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, SD
Agua, Carnaza, Dióxido de Titanio	Blanqueamiento	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, SD
Agua, Anilina	Tintura	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, SD, agua con color

Fuente: Graciela Armas

Tabla 20: Productos sólidos generados como resultado del proceso de carnaza

<b>PROCESO</b>	<b>TIPO DE DESECHO</b>	<b>DISPOSICIÓN FINAL</b>
Dividido	Retazos	Alcantarillado
Desbacterización	Retazos	Alcantarillado
Desengrasado	Retazos, Grasa	Alcantarillado
Lavado	Retazos	Alcantarillado
Desencalado	Retazos	Alcantarillado
Fijado	Retazos	Alcantarillado
Blanqueamiento	Retazos	Alcantarillado
Tintura	Retazos	Alcantarillado

Fuente: Graciela Armas

Tabla 21: Procesamiento de pieles y consumo de agua en el proceso de carnaza

<b>FECHA</b>	<b>PESO DE LA PIEL (Kg)</b>	<b># DE PIELES</b>	<b>% AGUA UTILIZADA (P/V)</b>	<b>VOLUMEN DE AGUA (L)</b>	<b>VOLUMEN DE AGUA (m<sup>3</sup>)</b>
02/02/2012	4000	727	1800	72000	72,000
03/02/2012	5000	909	1800	90000	90,000
03/02/2012	500	180	1800	9000	9,000
06/02/2012	500	180	1800	9000	9,000
06/02/2012	500	180	1800	9000	9,000
07/02/2012	500	180	1800	9000	9,000
07/02/2012	4000	727	1800	72000	72,000
08/02/2012	500	180	1800	9000	9,000

10/02/2012	500	180	1800	9000	9,000
10/02/2012	4000	727	1800	72000	72,000
13/02/2012	4000	727	1800	72000	72,000
13/02/2012	500	180	1800	9000	9,000
14/02/2012	500	180	1800	9000	9,000
15/02/2012	3000	527	1800	52000	72,000
15/02/2012	1000	200	1800	20000	20,000
15/02/2012	500	180	1800	9000	9,000
16/02/2012	4000	727	1800	72000	72,000
18/02/2012	4000	727	1800	72000	72,000
23/02/2012	4000	727	1800	72000	72,000
24/02/2012	1000	182	1800	18000	18,000
28/02/2012	3000	527	1800	52000	72,000
28/02/2012	1000	200	1800	20000	20,000
28/02/2012	1000	182	1800	18000	18,000
<b>TOTAL:</b>	<b>47500</b>	<b>9436</b>	1800	<b>855000</b>	<b>855,000</b>

Fuente: Graciela Armas

Como se indica en la Tabla 21, para el mes de febrero del 2012 se trataron 47500 Kg de piel en peso, 9436 pieles, con un peso aproximado por piel de 5,5 Kg.

Teniendo un consumo de agua aproximado de 0,09 m<sup>3</sup> por piel y un volumen mensual de 855 m<sup>3</sup>.

Este volumen de agua corresponde únicamente para el proceso de carnaza.

Tabla 22: Principales contaminantes para el proceso de R.T.E.

INSUMOS	PROCESO	CONTAMINANTES
Agua, WB, Tensoactivo, Acido Fórmico	Lavado	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, SS, SD, Tensoactivo <b>Sólidos:</b> Virutas de WB
Agua, WB, Neutralizantes, Cromo	Neutralizado	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, SS, SD,
Agua, WB, Recurtientes	Recurtición	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, SS, SD, Grasa
Agua, WB, Anilina	Tintura	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, Color
Agua, Grasas (varias clases)	Engrase	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, SS, SD, Tensoactivo <b>Sólidos:</b> Virutas de WB.
Agua, Acido Fórmico	Fijado	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, SD, amonio, agua acidificada
Agua	Lavado	<b>Líquido:</b> DQO, DBO, SD

Fuente: Graciela Armas

A continuación en la Tabla 23, se describe el procesamiento de pieles y el consumo de agua para al mes de febrero (mes alto de producción) del 2012, donde se trataron 575 pieles, teniendo un consumo de agua por piel aproximado de 0,019 m<sup>3</sup> y un volumen mensual de 11,135 m<sup>3</sup>.

Este volumen de agua corresponde únicamente para el proceso de R.T.E.

Tabla 23: Procesamiento de pieles y consumo de agua en el proceso de R.T.E.

<b>CONTROL DE CONSUMO DE AGUA - MES DE FEBRERO 2012</b>							
<b>FINALIDAD</b>	<b>PESO DE LA PIEL (Kg)</b>	<b># BANDAS</b>	<b>% DE AGUA UTILIZADA (P/V)</b>	<b>PROCESO</b>	<b>T DEL AGUA (°C)</b>	<b>TOTAL DE AGUA (Kg)</b>	<b>TOTAL DE AGUA (m<sup>3</sup>)</b>
Crost Café	8,200	2	200%	Humectación	T.A.	73,800	0,0738
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			150%	Engrase	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			900%				
Crost Negro	92,000	45	200%	Humectación	T.A.	828,000	0,828
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			150%	Engrase	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			900%				
Crost Miel	28,300	15	200%	Humectación	T.A.	254,700	0,255
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			150%	Engrase	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			900%				

Crost Negro	178,000	70	200%	Humectación	T.A.	1602,000	1,602
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			150%	Engrase	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			900%				
Crost Novia	17,000	10	200%	Humectación	T.A.	144,500	0,145
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			100%	Engrase	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			850%				
Crost Café	70,000	30	200%	Humectación	T.A.	756,000	0,756
			80%	Neutralización	50°		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.E.	T.A.		
			150%	Fijación	70°		
			200%	Remonte	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			1080%				

Pre - Engrase	165,000	67	200%	Humectación	35°	1204,500	1,205
			100%	Neutralización	35°		
			80%	Recurtición	T.A.		
			150%	Engrase	60		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			730%				
Nobuck Rojo	12,000	9	200%	Humectación	T.A.	111,600	0,112
			80%	Tintura	T.A.		
			100%	Lavado	70°		
			150%	Engrase	70°		
			200%	Remonte	70°		
% total de agua utilizada en el proceso:			930%				
Nobuck Negro	63,700	49	200%	Humectación	T.A.	592,410	0,592
			80%	Tintura	T.A.		
			100%	Lavado	70°		
			150%	Engrase	70°		
			200%	Remonte	70°		
% total de agua utilizada en el proceso:			930%				

Tintura Crost Negra	25,500	7	50%	Tintura	T.A.	165,750	0,166
			100%	Fijación	70°		
			200%	Lavado	70°		
			100%	Remonte	T.A.		
			200%	Lavado Final	70°		
% total de agua utilizada en el proceso:			650%				
Crost Rojo	12,500	5	200%	Humectación	T.A.	112,500	0,113
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			150%	Engrase	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			900%				
Crost Café	127,000	47	200%	Humectación	T.A.	1143,000	1,143
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			150%	Engrase	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			900%				
Crost Café	27,700	11	200%	Humectación	T.A.	249,300	2,493
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			150%	Engrase	70°		

			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			900%				
Crosta Miel	26,500	10	200%	Humectación	T.A.	238,500	0,239
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			150%	Engrase	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
total de agua utilizada en el proceso:			900%				
Crosta Negra	127,000	27	200%	Humectación	T.A.	1143,000	1,143
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			150%	Engrase	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			900%				
Crosta Bronce	75,800	51	200%	Humectación	T.A.	644,300	0,644
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			100%	Engrase	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			850%				

Crosta Plata	131,500	93	200%	Humectación	T.A.	1117,750 1,118	
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			100%	Engrase	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			850%				
Crosta Negra	81,000	34	200%	Humectación	T.A.	729,000	0,729
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			150%	Engrase	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			900%				
Crosta Café	28,500	10	200%	Humectación	T.A.	307,800	0,308
			80%	Neutralización	50°		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.E.	T.A.		
			150%	Fijación	70°		
			200%	Remonte	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			1080%				

Crosta Gris	19,600	8	200%	Humectación	T.A.	176,400	0,176
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			150%	Engrase	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			900%				
Crosta Avellana	48,800	20	200%	Humectación	T.A.	439,200	0,439
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			150%	Engrase	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			900%				
Crosta Beige	19,000	8	200%	Humectación	T.A.	171,000	0,171
			100%	Neutralización	T.A.		
			200%	Lavado	T.A.		
			50%	R.T.	T.A.		
			150%	Engrase	70°		
			200%	Lavado Final	T.A.		
% total de agua utilizada en el proceso:			900%				
<b>CONSUMO MENSUAL TOTAL DE AGUA UTILIZADA</b>						<b>12205,010</b>	<b>12,205</b>

Fuente: Documentación de T.N.O.

Tabla 24: Consumo total de agua en T.N.O.

<b>PROCESO</b>	<b>VOLUMEN DE AGUA (m<sup>3</sup>)</b>
Carnaza	855,00
Recurtición, Tintura, Engrase	12,2
<b>CONSUMO TOTAL MENSUAL DE AGUA</b>	<b>867,2</b>

Fuente: Graciela Armas

Como se indica en la Tabla 24, para al mes de febrero del 2012 hubo un consumo de agua aproximado de 867,2 m<sup>3</sup> total en T.N.O.

#### 2.4.3. DATOS PARA LA DETERMINACION DEL CAUDAL

Tabla 25: Datos para la determinación del caudal

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>
Tiempo (s)	600
Longitud de la sección (m)	4,10
Ancho del canal (m)	0,47
Profundidad del agua (m)	0,03

Fuente: Graciela Armas

#### 2.5. DATOS ADICIONALES

Tabla 26: Factor de corrección para el cálculo del caudal

<b>TIPO DE TERRENO DEL CAUDAL</b>	<b>FACTOR DE CORRECCIÓN (C)</b>
Canal de concreto	0,8

Canal de tierra	0,7
Arroyo quebrado	0,5

Fuente: www.turbinas3hc.com

Tabla 27: Dimensiones para las rejas de barras de limpieza manual

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>LIMPIEZA MANUAL</b>
Anchura (mm)	6
Profundidad (mm)	1,2
Separación entre barras (mm)	30
Pendiente en relación a la vertical (°)	30
Velocidad de paso a través de la reja (m/s)	0,47

Fuente: Uralita 2011

Tabla 28: Información típica para el diseño de tanques de sedimentación primaria

<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>INTERVALO</b>	<b>TÍPICO</b>
Sedimentación primaria		
• Tiempo de retención, h	1.5-2.5	2
Carga de superficie, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día		
A caudal medio	30-50	40
A caudal punta	80-120	100
• Cargasobvertedero, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día	125-500	250
Sedimentación primaria con adición del lodo activado en exceso:		
• Tiempo de retención, h	1.5-2.5	2
Cargadesuperficie, m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> *día		

A caudal medio	24-32	28
A caudal punta	48-70	60
• Carga sobre vertedero, m <sup>3</sup> /m*día	125-500	250

Fuente: Metcalf & Eddy, 1996

Tabla 29: Información usual para diseño de sedimentadores rectangulares primarios

PARÁMETRO	UNIDAD	INTERVALO	VALOR USUAL
Profundidad	m	3 – 4,5	3,6
Longitud	m	15 - 90	25 -40
Ancho*	m	3 -25	5 – 10
Velocidad del barredor	m/s	0,6 – 1,2	0,9

Fuente: Crites, Tchobanoglous, 2000

Tabla 30: Valores usuales de gradiente de velocidad (G) y tiempos de retención de los procesos de tratamiento de agua residual

PROCESO	TIEMPO DE RETENCIÓN	VALORES DE G, s <sup>-1</sup>
Mezcla: operaciones comunes en la mezcla rápida del agua residual	10 – 30 s	500 – 1500
Mezcla rápida para un contacto inicial y de reactivos químicos	≤ 1 s	1500 – 6000
Mezcla rápida de reactivos químicos en procesos de filtración por contacto	< 1 s	2500 – 7500

Floculación: procesos comunes de floculación empleados en el tratamiento de agua residual	30 – 60 min	50 – 100
Floculación en procesos de filtración directa	2 – 10 min	25 – 150
Floculación en procesos de filtración por contacto	2 – 5 min	25 – 200

Fuente: Fuente: Crites, Tchobanoglous, 2000

Tabla 31: Coeficiente de rugosidad  $\eta$  de Manning

<b>MATERIAL</b>	<b>N</b>	<b>RUGOSIDAD k (mm)</b>
<b>CANALES ARTIFICIALES</b>		
Vidrio	0,010	0,3
Latón	0,011	0,6
Acero liso	0,012	1,0
Acero pintado	0,014	2,4
Acero ribeteado	0,015	3,7
Cemento pulido	0,012	1,6
Cemento no pulido	0,014	2,4
Madera cepillada	0,012	1,0
Teja de arcilla	0,014	2,4
Enladrillado	0,015	3,7
Asfáltico	0,016	5,4
Metal ondulado	0,022	37

Mampostería de cascotes	0,025	80
<b>CANALES EXCABADOS EN TIERRA</b>		
Limpio	0,022	37
Con guijarros	0,025	80
Con maleza	0,030	240
Pedregoso	0,035	500
<b>CANALES NATURALES</b>		
Limpios y rectos	0,030	240
Amplios y profundos	0,040	900
Grandes ríos	0,035	500
<b>ZONA INUNDADA</b>		
Terrenos de pastos	0,035	500
Poca maleza	0,050	2000
Mucha maleza	0,075	5000
Arboles	0,150	----

Fuente: Crites, Tchobanoglous, 2000

Tabla 32: Valores de las constantes empíricas a y b.

<b>VARIABLE</b>	<b>A</b>	<b>b</b>
DBO	0.018	0.020
SST	0.0075	0.014

Fuente: Crites y Tchobanoglous, 2000

## CAPITULO III

### 3. LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1. CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE T.N.O.

En T.N.O. se trabaja con 6 bombos destinados a las operaciones de proceso de carnaza y R.T.E., para el presente trabajo se ha normalizado los caudales de vertido de los bombos en función del tiempo, por lo que el diseño esta dimensionado a cantidades de agua utilizados en cada uno de los procesos en dos días de producción alta, siendo este el mejor mecanismo, para el control de dichos caudales.

##### 3.1.1. CÁLCULO DEL CAUDAL

De los datos obtenidos en la tabla 21, se tiene que  $L = 4,10$  m y  $t = 600$  s

• **Calculo de la velocidad del agua:** En base a la ecuación 1, página 29

$$v = \frac{L}{t}$$

Donde:

$v$  = velocidad del agua (m/s)

$L$  = longitud de la sección (m)

$t$  = tiempo (s)

$$v = \frac{4,10 \text{ m}}{600 \text{ s}}$$

$$v = 0,006 \text{ m/s}$$

- **Cálculo del área de recorrido del agua:** En base a la ecuación 2, página 29

$$A = b * h$$

Donde:

A = área de la sección (m<sup>2</sup>)

b = ancho del canal (m) = 0,47 m

h = profundidad del agua (m) = 0,03 m

$$A = 0,47 \text{ m} * 0,03 \text{ m}$$

$$A = 0,01 \text{ m}^2$$

- **Calculo del caudal:** En base a la ecuación 3, página 30

$$Q = C * v * A$$

Donde:

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

v = velocidad del agua (m/s)

A = área de la sección

C = factor de corrección = 0,8 (tabla 26)

$$Q = 0,8 * 0,006 \frac{m}{s} * 0,01 m^2$$

$$Q = 0,00004 m^3/s$$

**Cálculo del caudal de diseño:** Para calcular el caudal de diseño se emplea el factor de mayoración (FM) correspondiente al 30%.

$$Qd = Q * FM$$

$$Qd = 0,00004 \frac{m^3}{s} * 30\%$$

$$Qd = 0,00005 \frac{m^3}{s} = 0,18 \frac{m^3}{min} = 10,8 \frac{m^3}{hora} = 259,2 \frac{m^3}{día}$$

### 3.1.2. DISEÑO DE REJILLAS DE LIMPIEZA MANUAL

El canal recolector es el primer elemento de la planta, encargado de recolectar las aguas provenientes de los procesos en sus distintas descargas. Aquí se instaló dos rejillas de limpieza manual.

• **Cálculo del área de las rejillas:**

$$A = b * h$$

Donde:

A = área (m<sup>2</sup>)

b = base (m)

h = altura (m)

$$A = 0,47 \text{ m} * 0,55 \text{ m}$$

$$A = 0,25 \text{ m}^2$$

• **Calculo de la velocidad de aproximación del fluido hacia la reja:** En base a la ecuación 4, página 32

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

v = velocidad de aproximación del fluido hacia la reja (m/s)

n = Coeficiente de Manning (0,014)

R = Radio hidráulico (m)

J = Gradiente hidráulico (0,005)

**Calculo del radio hidráulico:** En base a la ecuación 5, página 32

$$R = \frac{b * h}{2 (b + h)}$$

$$R = \frac{0,47 \text{ m} * 0,55 \text{ m}}{2 (0,47 \text{ m} + 0,55 \text{ m})}$$

$$R = 0,12 \text{ m}$$

Donde:

R = radio hidráulico

b = ancho del canal (m) = 0,47 m

h = profundidad (m) = 0,55 m

• **Solución del cálculo de la velocidad de aproximación del fluido hacia la reja:** La velocidad de aproximación del fluido hacia la reja se encuentra en el ábaco de la fórmula de Manning (anexo I), donde se une  $R = 0,12$  y  $n = 0,0014$  (tabla 27) y se proyecta la línea de referencia. Se une el punto situado en la línea de referencia con la pendiente  $= 0,001$ . La intersección de la escala de velocidad da  $v = 0,35$  m/s.

• **Cálculo del área entre barras:** En base a la ecuación 6, página 32

$$A_L = \frac{Q}{v_{RL}}$$

Donde:

$A_L$  = área libre entre barras ( $m^2$ )

$Q$  = caudal ( $m^3/s$ )

$v_{RL}$  = velocidad de entrada al área libre entre barras (m/s)

$$A_L = \frac{0,00005 \text{ m}^3/s}{0,35 \text{ m/s}}$$

$$A_L = 0,00014 \text{ m}^2$$

• **Cálculo del área de la sección transversal del flujo:** Se calcula en base a la ecuación 7, página 33

$$A_f = A_L \left[ \frac{a + t}{a} \right]$$

Donde:

$A_f$  = área de flujo ( $m^2$ )

$a$  = separación entre barras (mm)

$t$  = espesor de las barras (mm)

De acuerdo a la información de la tabla 27 se tiene que debe haber una separación entre barras de 3 cm

$$A_f = 0,00014 m^2 \left[ \frac{30 mm + 6 mm}{30 mm} \right]$$

$$A_f = 0,00016 m^2$$

• **Cálculo de la longitud sumergida de la rejilla:** Se calcula en base a la ecuación 8, página 33

$$d_{max} = \left[ \frac{Q}{v_{RL} * b} \right]$$

$$d_{max} = \left[ \frac{0,00005 m^3/s}{0,35 \frac{m}{s} * 0,47m} \right]$$

$$d_{max} = 0,0003 m$$

Donde:

$d_{max}$  = nivel máximo de agua (m)

$Q$  = caudal ( $m^3/s$ )

$v_{RL}$  = velocidad de aproximación (m/s)

$b$  = ancho de la rejilla (m)

Para el cálculo de la longitud se utiliza la ecuación 9 de la página 34:

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

Donde:

$L_s$  = longitud sumergida de la rejilla (m)

$d_{max}$  = nivel máximo de agua (m)

$\theta$  = grado de inclinación de las rejillas

$$L_s = \frac{0,0003 \text{ m}}{\text{sen } 45}$$

$$L_s = 0,0004 \text{ m}$$

• **Cálculo del número de barras:** A partir de la ecuación 11, página 34

$$N = \frac{b - a}{a + t}$$

Donde:

$N$  = número de barras

$b$  = ancho de la rejilla (m)

$a$  = separación entre barras (mm)

$t$  = espesor de las barras (mm)

$$N = \frac{470 \text{ mm} - 30 \text{ mm}}{30 \text{ mm} + 6 \text{ mm}}$$

$$N = 12$$

• **Cálculo de pérdidas de carga en la rejilla.**

$$h_L = \frac{1}{0,7} \left[ \frac{V^2 - v^2}{2g} \right]$$

Dónde:

$g$  = aceleración por la gravedad =  $980 \text{ cm/s}^2$

$C$  = Coeficiente de flujo

$V$  = velocidad de flujo a través del espacio entre barras de la rejilla (m/s)

$v$  = velocidad de aproximación del fluido hacia la rejilla (m/s)

• **Cálculo de la velocidad de flujo:**

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

Donde:

$V$  = velocidad de flujo a través del espacio entre barras de la rejilla (m/s)

$Q$  = caudal ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),

$A$  = area

Proponiendo un caudal alto de  $0,009 \text{ m}^3/\text{s}$ , se tiene.

$$V = \frac{0,009 \text{ m}^3/\text{s}}{0,02 \text{ m}^2}$$

$$V = 0,45 \text{ m/s}$$

• **Cálculo de las pérdidas de carga, para condiciones con agua limpia:** A partir de la ecuación 12, página 35

$$hL = \frac{1}{0,7} \left[ \frac{(0,45 \text{ m/s})^2 - (0,35 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right]$$

$$hL = 0,005 \text{ m}$$

**Cálculo de las pérdidas de carga en las rejillas para condiciones en la que esta se encuentre obstruida:** Se calcula a partir de la ecuación 13, página 36

La velocidad aumenta en proporción 100%/50%. Y si se supone que el coeficiente de flujo para la rejilla obstruida es de 0.6 aproximadamente las pérdidas de carga serán

$$hL = \frac{1}{C} \left( \frac{V^2 - v^2}{2g} \right)$$

$$hL = \frac{1}{0,6} \left[ \frac{(0,9 \text{ m/s})^2 - (0,35 \text{ m/s})^2}{2 (9,8 \text{ m/s}^2)} \right]$$

$$hL = 0,06 \text{ m}$$

### 3.1.2. DISEÑO DEL TANQUE HOMOGENEIZADOR

El volumen del depósito de homogeneización, depende del caudal vertido y del régimen de trabajo.

En general, se debe calcular un volumen al menos igual al caudal total vertido.

**3.1.2.1. Cálculo del área del homogeneizador:** La altura del tanque se considera por diseño de construcción de 2 m.

$$A = \frac{Q * t}{h}$$

**Dónde:**

Q =Caudal (m<sup>3</sup>/h)

t= Tiempo de descarga (h)

h=Altura (m)

$$A = \frac{10,8 \frac{m^3}{h} * 1 h}{2 m}$$

$$A = 5,4 m^2$$

**3.1.2.2. Cálculo del volumen del homogeneizador.**

$$V = Ah$$

$$V = 5,4 m^2 * 2m$$

$$V = 10,8 m^3$$

Multiplicando el volumen por un factor de seguridad del 15%, se tiene:

$$V = 10,8 m^3 * 15\% +$$

$$V = 12,42 m^3$$

**3.1.2.3. Cálculo de la potencia de las paletas del homogeneizador.** A partir de la ecuación 14, página 37

$$P = \gamma Qh$$

Donde.

P = potencia disipada (kW)

$\gamma$  = peso específico del agua (kN/m<sup>3</sup>)

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

h = pérdidas de energía disipada por el fluido en su paso por el mezclador estático  
(m)

$$P = \left(0,00005 \frac{m^3}{s}\right) * \left(1 \frac{kN}{m^3}\right) * 0,06m$$

$$P = 0,000003 kW$$

$$P = 0,0003 W$$

### **3.1.3. DISEÑO DEL TANQUE CLARIFICADOR**

En este proyecto se diseñará un tanque de sedimentación de forma rectangular, cuyo diseño se describe a continuación.

Lo primero que se debe calcular es el área superficial necesaria, a partir de la ecuación 15 de la página 40. Dado que el caudal de diseño es de 259,2 m<sup>3</sup>/día y asumiendo un valor de carga de superficie (CS) de 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/día (tabla 28) se calcula el área superficial necesaria:

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

Donde:

A = área superficial ( $m^2$ )

Q = caudal ( $m^3/día$ )

CS = carga superficial ( $m^3/m^2/día$ )

$$A = \frac{259,2 \text{ m}^3/día}{50 \text{ m}^3/m^2/día}$$

$$A = 5,18 \text{ m}^2$$

Proponiendo una relación ancho/largo de 4 a 1, se calcula entonces el largo y el ancho del tanque, se utiliza la ecuación 20 de la página 42

$$a = \sqrt{\frac{A}{4}}$$

$$a = \sqrt{\frac{5,18 \text{ m}^2}{4}}$$

$$a = 1,14 \text{ m}$$

Por lo tanto el largo será:

$$\text{largo} = 4 \text{ ancho}$$

$$\text{largo} = 4 (1,14\text{m})$$

$$\text{largo} = 5 \text{ m}$$

La nueva carga superficial será:

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

$$CS = \frac{259,2 \text{ m}^3/\text{día}}{1,14 \text{ m} * 5 \text{ m}}$$

$$CS = 45,47 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{día}$$

Proponiendo una profundidad de 2 m se calcula el volumen del tanque a partir de la ecuación 17 de la página 41

$$V = l * a * h$$

$$V = 5 \text{ m} * 1,14 \text{ m} * 2 \text{ m}$$

$$V = 11,40 \text{ m}^3$$

$$V = 11,40 \text{ m}^3 * 15\% +$$

$$V = 15 \text{ m}^3$$

**El tiempo de retención será:** A partir de la ecuación 21 de la página 43

$$Tr = \frac{V}{Q}$$

$$Tr = \frac{15 \text{ m}^3}{10,8 \text{ m}^3/\text{h}}$$

$$Tr = 1,38 \text{ h}$$

**Se puede calcular la velocidad de arrastre:** A partir de la ecuación 23 de la página 45

$$V_H = \left[ \frac{8k(s-1)gd}{f} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

$V_H$  = velocidad horizontal mínima a la cual se inicia el arrastre de partículas. (m/s)

$k$  = constante que depende del tipo de material arrastrado. (0,05)

$s$  = peso específico de las partículas. (1,25)

$g$  = aceleración de la gravedad. (9,8 m/s<sup>2</sup>)

$d$  = diámetro de las partículas.

$f$  = factor de fricción de Darcy-Weisbach. (0,025)

$$V_H = \left[ \frac{8(0,05)(1,25 - 1) \left( \frac{9,8m}{s^2} \right) (100 \times 10^{-3} m)}{0,025} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$V_H = 0,19 \text{ m/s}$$

**Esta velocidad de arrastre se compara con la velocidad horizontal, la cual se calcula a partir de la ecuación 24 de la página 45:**

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

Donde:

$V_h$  = velocidad horizontal (m/s)

$Q$  = caudal (m<sup>3</sup>/s)

$A$  = área del sedimentador rectangular (m<sup>2</sup>)

$$V_h = \frac{0,00005}{5,70}$$

$$V_h = 0,000008 \text{ m/s}$$

La velocidad horizontal es considerablemente menor que la velocidad de arrastre. Por lo tanto, el material sedimentado no será re-suspendido.

**Porcentaje de remoción:** Se calcula a partir de la ecuación 22 de la página 43

$$R = \frac{t}{a + bt}$$

Donde:

R = porcentaje de remoción de DBO o SST esperado, (%)

t = tiempo nominal de retención (h)

a, b = constantes empíricas (adimensional) (tabla 28)

### **Remoción de DBO**

$$\text{Remocion de DBO} = \frac{t}{a + bt}$$

$$\text{Remocion de DBO} = \frac{1,38 \text{ horas}}{0,018 + (0,02)(1,38 \text{ horas})}$$

$$\text{Remocion de DBO} = 30,26\%$$

### **Remoción de SST**

$$\text{Remocion de SST} = \frac{t}{a + bt}$$

$$\text{Remocion de SST} = \frac{1,38 \text{ horas}}{0,0075 + (0,014)(1,38 \text{ horas})}$$

$$\text{Remocion de DBO} = 51,45\%$$

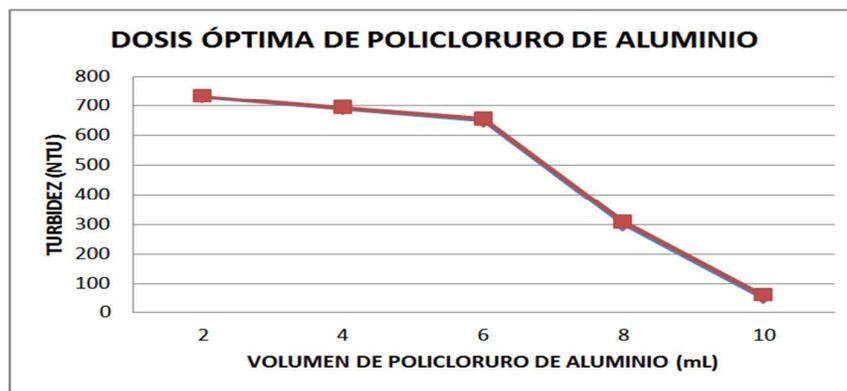
### 3.1.3.1. DOSIFICACIÓN IDEAL DE PAC AL 25% (P/V)

Tabla 33: Diferentes dosificaciones del policloruro de aluminio al 25% (P/V)

# DE JARRA CAPACIDAD DE 1000mL	pH DEL AGUA RESIDUAL	DOSIS DE SOLUCIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO AL 25% (P/V)	pH DE AGUA TRATADA	TURBIDEZ (NTU)
1	5,4	2,0mg/L	7,5	850
2	7,5	4,0mg/L	5,2	725
3	8	6,0mg/L	6,6	650
4	9	8,0 mg/L	7	300
5	8	10,0 mg/L	6,22	50

Fuente: Graciela Armas

Figura 8: Dosis óptima de policloruro de aluminio



Fuente: Graciela Armas

Tabla 34: Evaluación del tratamiento con policloruro de aluminio al 25% (P/V)

<b>PARÁMETRO</b>	<b>RESULTADO</b>
Dosis (mg)	10 mg/L
Tiempo de Sedimentación (min)	90
Turbidez Inicial	3060
Turbidez Final	<50
pH Inicial	7
pH Final	6,22
% de Eficiencia	98,4

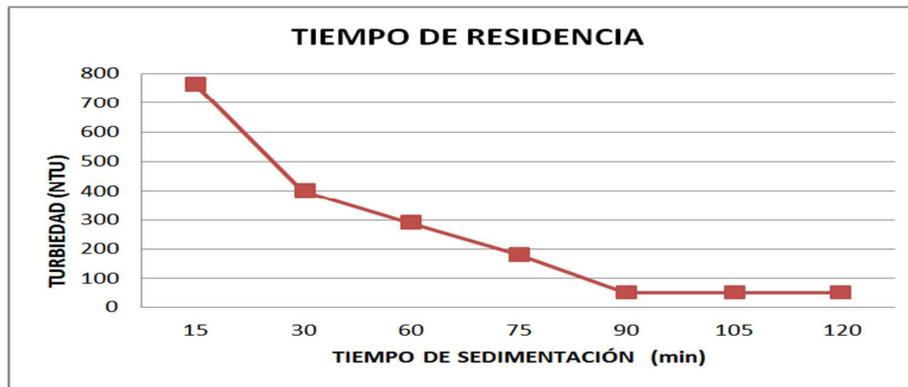
Fuente: Graciela Armas

Tabla 35: Diferentes tiempos de residencia

<b>TIEMPO</b>	<b>TURBIEDAD (NTU)</b>
0	854
15	760
30	400
60	290
75	180
90	< 50
105	< 50
120	< 50
135	< 50
150	< 50

Fuente: Graciela Armas

Figura 9: Tiempo de Residencia



Fuente: Graciela Armas

### 3.2. RESULTADOS

#### 3.2.1. REJILLAS

Tabla 36: Resultados obtenidos para el diseño del sistema de rejillas.

PARÁMETROS	VALOR
Caudal	0,00005 m <sup>3</sup> /s
Área de las rejillas	0,25 m <sup>2</sup>
Área total	0,00012 m <sup>2</sup>
Nº Barras	12
Espacio entre barras	0,03 m
Velocidad de aproximación del fluido hacia la reja	0,45 m
Velocidad de flujo	0,35 m
Pérdidas de carga en la rejilla no obstruida	0,005 m
Pérdidas de carga en la rejilla obstruida	0,06 m

Fuente: Graciela Armas

### 3.2.2. HOMOGENIZADOR

Tabla 37: Resultados obtenidos para el diseño del tanque homogeneizador.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNID.</b>
Altura	2	m
Área	5,4	m <sup>2</sup>
Volumen	13	m <sup>3</sup>

Fuente: Graciela Armas

Tabla 38: Resultados obtenidos para las paletas homogeneizadoras

<b>PARÁMETROS</b>	<b>VALOR</b>
Potencia	0,0003 W

Fuente: Graciela Armas

### 3.2.3. CLARIFICADOR

Tabla39: Resultados obtenidos para el diseño del tanque clarificador.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>VALOR</b>
Área	5,18 m <sup>2</sup>
Altura	2 m
Largo	5 m
Ancho	1,14 m
Volumen	15 m <sup>3</sup>
Carga superficial	45,47 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día

Tiempo de retención	1,38 h
Velocidad de arrastre	0,19 m/s
Velocidad horizontal	0,000008 m/s
Remoción de DBO	30,26 %
Remoción de SST	51,45 %

Fuente: Graciela Armas

### 3.2.4. PROPUESTA

Para poder tratar este tipo de efluentes generado por T.N.O., en sus diferentes procesos, se propuso el diseño de un sistema de tratamiento de agua residual con la finalidad de disminuir la carga contaminante, para que así esta agua pueda cumplir con los niveles establecidos por el TULAS, anexo VI, tabla 9.

Por lo cual se propone el siguiente sistema de tratamiento (Anexo I), la cual consta de los siguientes componentes:

- Recolección del agua residual proveniente del proceso de carnaza de T.N.O., la cual pasa por un canal de 52,38 m., aquí se ubicó un sistema de rejillas de limpieza manual, ubicadas a 22,12 m desde el inicio del canal. Las rejillas constan de 12 barras con una separación de barras de 3 cm, estas rejillas se diseñaron con el fin de retener la mayor cantidad de sólidos posibles (retazos de carnaza, palos, fundas plásticas, botellas, etc.)
- Un tanque de homogeneización en donde se va a realizar una mezcla de las aguas residuales provenientes de los diferentes procesos de T.N.O., el cual fue diseñado para una capacidad de 13 m<sup>3</sup>, a una profundidad de 2 m, donde se implementa una paleta homogeneizadora de 0,0003 W.

- El agua homogeneizada pasará al tanque de sedimentación por gravedad.
- Un tanque de sedimentación rectangular, el cual tiene las siguientes dimensiones 5 m de largo por 1,15 m de ancho con una profundidad de 2 m, con un volumen de 15 m<sup>3</sup>, donde se tratara el agua con policloruro de aluminio al 25% (P/V) con una dosificación de 10 mg/L y un tiempo de residencia de 90 min., en el cual se pretende remover el 30,26% de DBO y el 51,45% de SST, para que de esta manera pueda cumplir con los límites de descarga establecidos en el TULAS, anexo VI, tabla 9.

### 3.2.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los ensayos se realizaron en un solo laboratorio que fue “Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental CESTTA”, con muestras de agua original provenientes de distintos procesos como son: Proceso de Carnaza, Tintura de Carnaza, Recurtición, Tintura y Engrase.

Tabla 40: Análisis de resultados

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>ANTES DEL TRATAMIENTO</b>	<b>DESPUÉS DEL TRATAMIENTO</b>	<b>% REDUCCIÓN</b>
pH	-	7,93	6,22	-
DQO	mg/L	1101	105	91
DBO <sub>5</sub>	mg/L	840	44	95
Sulfuros	mg/L	14,28	0,013	99,9
SST	mg/L	760	50	94
Fenoles	mg/L	1,58	0,02	99

Fuente: Graciela Armas

Según los análisis del agua residual antes y después del tratamiento, se puede indicar, que como resultado del tratamiento del agua residual proveniente de los diferentes procesos de T.N.O, se obtuvo una remoción del DQO del 91%, DBO<sub>5</sub> 95%, para el contenido de sulfuro se tiene un porcentaje de reducción del 99,9%. La reducción de los sólidos en suspensión del 94%. Y una remoción de fenoles del 99%. Obteniéndose de esta manera un agua tratada que puede ser descargada al alcantarillado público, puesto que cumple con los límites de descarga establecidos en el TULAS, anexo VI, tabla 9.

### **3.3. DISCUSIÓN**

Mediante el trabajo realizado en las Etapas de Proceso de Carnaza y Proceso de Recurtición, Tintura, Engrase para la "TENERÍA NEOGRANADINA S.A." de la ciudad de Ambato, se ha llegado a obtener los resultados buscados de los parámetros característicos del agua residual que se precisaba disminuir, para que dicha agua pueda ser descargada al alcantarillado público cumpliendo así con los límites de descarga establecidos en el TULAS, anexo VI, tabla 9.

El objetivo principal fue determinar, analizar y dar una solución al agua residual, para esto se realizó ensayos de jarras con los cuales se logró determinar la dosis y pH óptimo de floculante a utilizar (en esta caso Policloruro de Aluminio). Con todo esto se puede decir, que como resultado del tratamiento del Agua residual proveniente de las diferentes etapas, se obtuvo una remoción del DQO del 91%, mientras que para el contenido de sulfuro se tiene un porcentaje de remoción del 99,9%. La remoción de los sólidos en suspensión del 94%.

En cuanto a los beneficios de la medida se puede establecer que el diseño del sistema de tratamiento de agua residual para T.N.O., posee básicamente beneficios ambientales ya que desde el punto de vista económico los sistemas de tratamiento de agua residual destinadas a minimizar y/o evitar la generación de residuos, no conllevan beneficios por lo contrario representan gastos de ahí la importancia de agotar las posibilidades de implementar medidas de producción más limpias

## CAPITULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- Al caracterizar el agua residual proveniente de las diferentes etapas de la Tenería Neogranadina S.A., los resultados fueron, 1101 mg/L de DQO, 14,28 mg/L de sulfuros, 840 mg/L de DBO<sub>5</sub>, 760 mg/L SS, 9526 ml/L de MES, los cuales fueron analizados y tratados con el fin de bajar el nivel de contaminación, puesto que no cumple con los límites de descarga establecidos en el TULAS, anexo VI, tabla 9.
- El sistema de tratamiento de agua residual consiste de un tanque homogeneizador con capacidad para 13 m<sup>3</sup> y de un tanque clarificador con capacidad para 15 m<sup>3</sup>, en el cual se va a añadir floculante, en este caso Policloruro de Aluminio al 25% (P/V), para la mitigación de la contaminación del agua residual, llegando a ser la dosis óptima de floculante 10 mg/L a un pH de 8. Cabe recalcar que el sistema funciona por gravedad.
- El tiempo de retención para la floculación es de 90 minutos, se considera ideal este tiempo puesto que a partir del mismo, la turbiedad se mantiene constante y de esta forma se evita alargar innecesariamente dicho tiempo, con el fin de agilizar el tratamiento propuesto.
- Se puede indicar, que como resultado del tratamiento del agua residual proveniente de los diferentes procesos de T.N.O, se obtuvo una remoción del DQO del 91%,

DBO<sub>5</sub>95%, para el contenido de sulfuro se tiene un porcentaje de reducción del 99,9%. La reducción de los sólidos en suspensión del 94%. Y una remoción de fenoles del 99%. Obteniéndose de esta manera un agua tratada que puede ser descargada al alcantarillado público, puesto que cumple con los límites de descarga establecidos en el TULAS, anexo VI, tabla 9.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

- En lo posible evitar botar desperdicios (fundas de químicos utilizados, botellas plásticas, etc.) en la canalización.
- Limpiar el sistema de rejillas después de cada descarga del efluente, para de esta manera evitar las pérdidas por cargas.
- Realizar mediciones de caudal constantes, para así contar con un caudal igual o similar al caudal empleado en el diseño del sistema de tratamiento.
- Preparar las soluciones de Policloruro de Aluminio al 25% (P/V) el día en que se va a realizar la floculación y evitar al mínimo guardarlas y volverlas a reutilizar.
- Hacer análisis frecuentes al agua tratada para verificar que el tratamiento está marchando bien y que los contaminantes están siendo minimizados y sobretodo que se está cumpliendo con lo establecido en el TULAS, anexo VI, tabla 9.

## BIBLIOGRAFIA

- **ADZET, J y otros.**, Química técnica de Tenerife., Igualada – España., Editorial Romanya/Valls., 1985., Pp. 22-31
- **ALOY, M. y otros.**, Tannerie et Pollution., Lyon - Francia., 1976., Pp. 43-22
- **BALLESTER. J. y otros.**, Curtiembre: Aguas residuales de curtidos., segunda edición., Barcelona – España., 1991., Pp. 212-231
- **CRITES-TCHOBANOGLIOUS.**, Tratamientos de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones, McGraw Hill., 2001., Pp. 241-337
- **DEGREMONT.**, Manual Técnico de Depuración de Aguas., Cuarta Edición., Editorial Grafo, S.A., Bilbao - España., 1979., Pp. 24-33
- **JOAN. B.**, Aguas residuales de curtidos., Igualada – España., 1992., Pp. 212-231
- **METCALF-EDDY.**, Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Tercera edición., Madrid – España., McGraw-Hill., 1998., Pp. 231-251., 280-281

- **RAMALHO. R.S.**, Tratamiento de Aguas Residuales., Quebec – Canadá., Editorial Reverté S.A., 1991., Pp. 337 - 392
  
- **ROBERTS-ROBINSON.**, Manual de sistema de gestión medioambiental., Madrid - España., Editorial Paraninfo., Pp. 73 - 82
  
- **SHREVE. R.**, Industrias de proceso químico., Madrid – España., Editorial Dossat, S.A., 1954., Pp. 662 a 679
  
- **ZAMBRANO A.**, Situación Legal de las Curtiembres en el Ecuador., Ambato – Ecuador., 2005., Pp. 23 – 56
  
- **CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE.**, Guía Técnica para la Minimización de Residuos en Curtiembres., Lima - Perú., 1998., Pp. 21 – 39
  
- **COLOMBIA: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE QUÍMICOS Y TÉCNICOS DE LA INDUSTRIA DEL CUERO.**, XI Encuentro Nacional de Químicos y Técnicos de la Industria del Cuero., Bogota – Colombia., 2004., Pp. 5-10
  
- **ECUADOR: ASOCIACIÓN NACIONAL DE CURTIDORES.**, Seminario para Curtidores. Ambato – Ecuador., 1988., Pp. 25

• **TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN AMBIENTAL**

**SECUNDARIA.**, Libro XI., 2012., Pp. 321 – 328

- **ACAN A.**, Diseño de un sistema de tratamiento para la disminución de sólidos en el sistema de riego Chambo Guano, sector Langos Panamericana La Capilla., Facultad de Ciencias., Escuela de Ingeniería Química., Riobamba – Ecuador., 2011., Pp. 29 – 36
  
- **PUENTE. C.**, Diseño y Construcción de un Sistema de Tratamiento de aguas residuales para la curtiembre El Alce., Facultad de Ciencias., Escuela de Ingeniería Química., Riobamba – Ecuador., 2008., Pp. 20 – 42
  
- **ARMAS G.**, Informe de Practicas pre-profesionales, Riobamba – Ecuador., 2011., Pp. 12 – 18
  
- **BASF.**, Vademécum del Técnico en Curtición., Tercera Edición., 2010., Pp. 210

## BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET

### • EFLUENTES DE CURTIEMBRES

[www.monografias.com/trabajos19/efluentes-curtiembres/efluentes-curtiembres.shtml](http://www.monografias.com/trabajos19/efluentes-curtiembres/efluentes-curtiembres.shtml)

[www.cueronet.com/auqtic/tecnologia/aguasresiduales.htm](http://www.cueronet.com/auqtic/tecnologia/aguasresiduales.htm)

[www.lenntech.es/reciclaje-del-agua.htm](http://www.lenntech.es/reciclaje-del-agua.htm)

2012/01/25

### • GUÍA DE CURTIEMBRES

[www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/epa/guiacurt/guiaopci.html](http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/epa/guiacurt/guiaopci.html)

[www.cpts.org/prodlimp/guias/Cueros/capitulo8.pdf](http://www.cpts.org/prodlimp/guias/Cueros/capitulo8.pdf)

[www.monografias.com/curtido-de-cuero.shtml](http://www.monografias.com/curtido-de-cuero.shtml)

[www.idea.unal.edu.co/SWITCH/.../Cartilla\\_PML%20Curtiembres.pdf](http://www.idea.unal.edu.co/SWITCH/.../Cartilla_PML%20Curtiembres.pdf)

[www.cortolima.gov.co/SIGAM/Series/curtiembres.pdf](http://www.cortolima.gov.co/SIGAM/Series/curtiembres.pdf)

[www.cueronet.com/auqtic/tecnologia/cadenaproductiva.htm](http://www.cueronet.com/auqtic/tecnologia/cadenaproductiva.htm)

2012/01/25

### • GUÍA PARA EL DISEÑO DE DESARENADORES Y SEDIMENTADORES

[catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lic/hammeken\\_a\\_am/capitulo5.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lic/hammeken_a_am/capitulo5.pdf)

[www.contratos.gov.co/archivospuc1/DA/132035000/06-1-6605/DA\\_PROCESO\\_06-1-6605\\_132035000\\_16348.pdf](http://www.contratos.gov.co/archivospuc1/DA/132035000/06-1-6605/DA_PROCESO_06-1-6605_132035000_16348.pdf)

[www.bvsde.ops-](http://www.bvsde.ops-)

[oms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/035\\_diseño%20de%20desarenadores%20y%20sedimentadores/Diseño%20de%20desarenadores%20y%20sedimentad](http://oms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/035_diseño%20de%20desarenadores%20y%20sedimentadores/Diseño%20de%20desarenadores%20y%20sedimentad)

<http://es.scribd.com/doc/47025289/41/Rejas-de-limpieza-manual>  
2012/05/01

- **LA CADENA DEL CUERO**

[www.cueronet.com/tecnica/cadena.htm](http://www.cueronet.com/tecnica/cadena.htm)

[www.revistavirtualpro.com/revista/index.php?ed=2007-03-01&pag=29](http://www.revistavirtualpro.com/revista/index.php?ed=2007-03-01&pag=29)

2012/01/25

- **TRATAMIENTOS DE AGUA RESIDUAL**

[www.geocities.com/jdelosri/procesos.htm](http://www.geocities.com/jdelosri/procesos.htm)

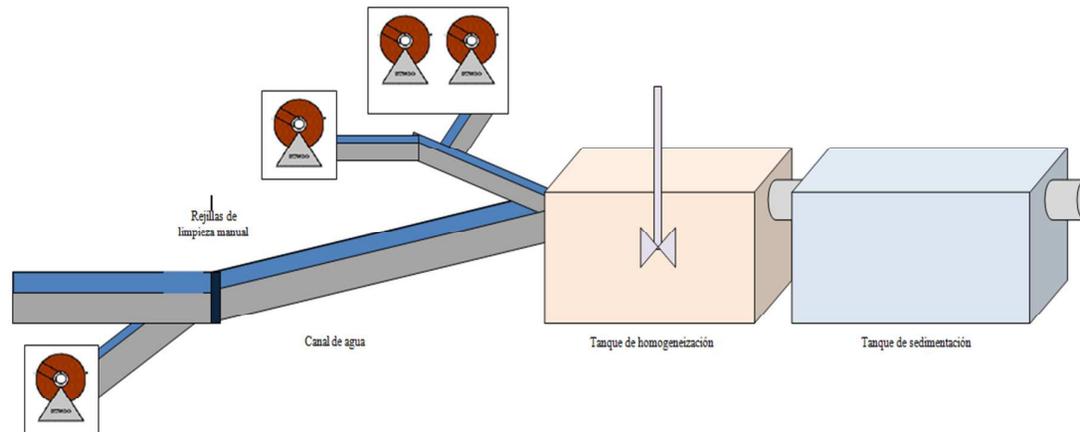
[www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan2/010283/010283-01.pdf](http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacd/scan2/010283/010283-01.pdf)

2012/03/25

**ANEXOS**

**ANEXO I**

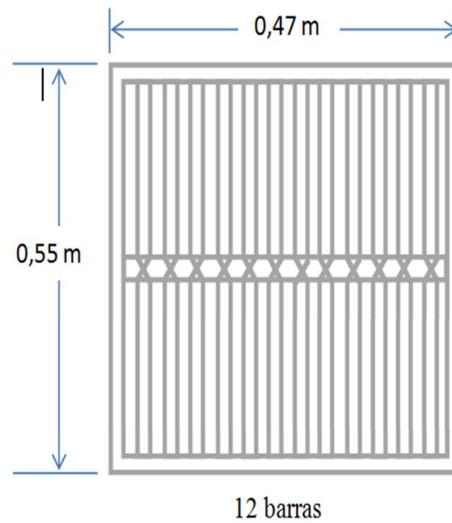
**DIAGRAMA PI & P**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
	Certificado	Por eliminar				
	Por aprobar	Para informar	04/06/12	1:16	1:100	
	Aprobado	Por calificar				

**ANEXO II**

**REJILLAS**



**ECUACIÓN DE DISEÑO**

$$N = \frac{b - a}{a + t}$$

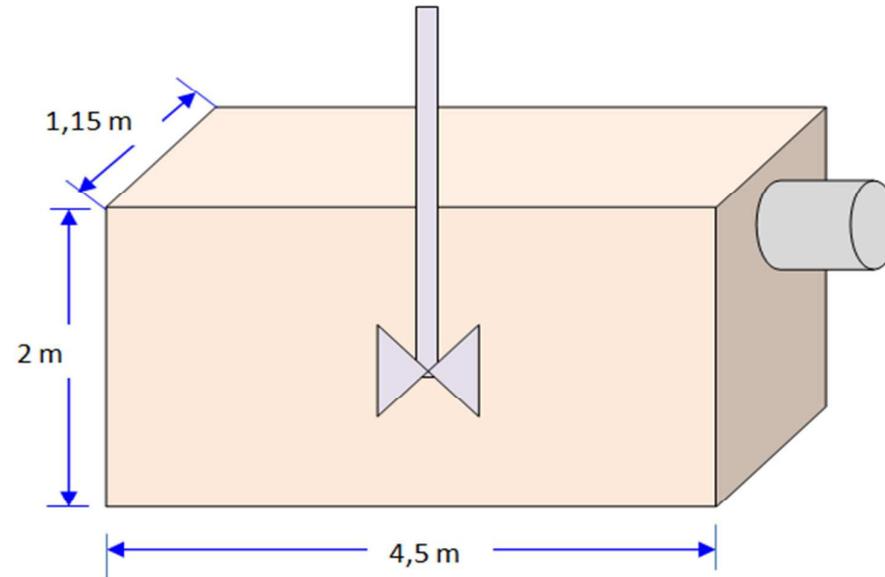
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
	Certificado	Por eliminar		FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA	FECHA	LÁMINA
	Por aprobar	Para informar	Armas Graciela		04/06/12	2:16
	Aprobado	Por calificar				

**ANEXO III**

**TANQUE HOMOGENEIZADOR**

**ECUACIÓN DE DISEÑO  
PARA EL TANQUE  
HOMOGENEIZADOR**

$$V = Ah$$



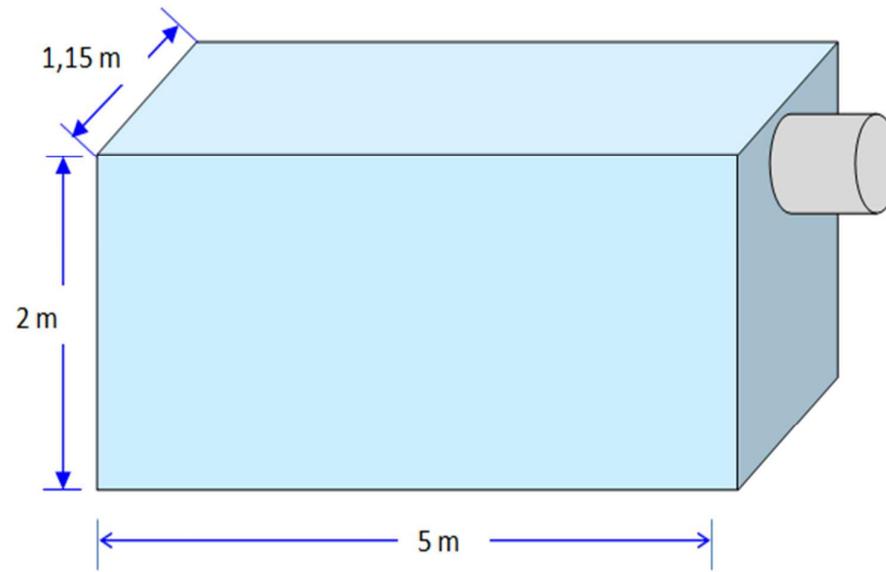
**ECUACIÓN DE  
DISEÑO PARA LA  
PALETA  
HOMOGENEIZADORA**

$$P = \gamma Qh$$

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS	FECHA	LÁMINA
	Por aprobar	Para informar	ESCUELA DE ING. QUÍMICA	04/06/12	3:16
	Aprobado	Por calificar	Armas Graciela	ESCALA	1:100

ANEXO IV

TANQUE DE SEDIMENTACIÓN



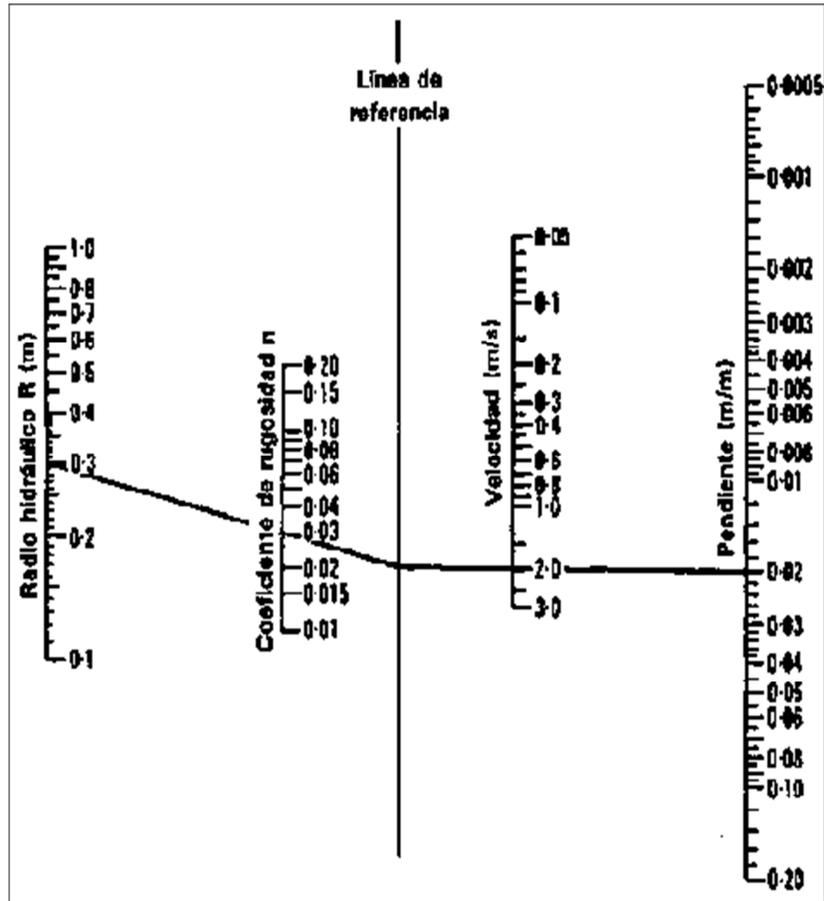
**ECUACIÓN DE DISEÑO  
PARA EL TANQUE DE  
SEDIMENTACIÓN**

$$V = l * a * h$$

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS		
	Por aprobar	Para informar	ESCUELA DE ING. QUÍMICA		
	Aprobado	Por calificar	Armas Graciela		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
			04/06/12	4:16	1:100

ANEXO V

ÁBACO DE LA FÓRMULA DE MANNING



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS	FECHA	LÁMINA	ESCALA
	Por aprobar	Para informar	ESCUELA DE ING. QUÍMICA	04/06/12	5:16	1:1
	Aprobado	Por calificar	Armas Graciela			

**ANEXO VI**

**TABLA 9 DEL ANEXO VI TULAS**

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y grasas	Solubles en hexano	mg/l	50
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Explosivos o inflamables	Sustancias	mg/l	0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	1,0
Cinc	Zn	mg/l	10
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cloroformo	Extracto de carbón	mg/l	0,1
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5
Cromo hexavalente	Cr <sup>6+</sup>	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/l	250
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	500
Dicloroetileno		mg/l	1,0
Fosforo total	P	mg/l	15
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Hidrocarburos totales petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Materia flotante	Visible	mg/l	Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Niquel	NI	mg/l	2,0
Nitrógeno total Kjeldahl	N	mg/l	60
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrogeno	Ph	mg/l	6-9
Solidos sedimentables		mg/l	20
Solidos suspendidos totales		mg/l	220
Solidos totales		mg/l	1600
Selenio	Se	mg/l	0,5
Sulfatos	(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	mg/l	400
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	C	mg/l	<45
Tensoactivos	Activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tricloroetileno		mg/l	1,0
Tetracloruro de carbono		mg/l	1,0
Sulfuro de carbono		mg/l	1,0
Compuestos organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Organosfosforados y carbamatos	Especies totales	mg/l	0,1

NOTAS Los parámetros resultados son los parámetros de monitoreo indispensables en una curtiembre.	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA  Armas Graciela	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
	Certificado	Por eliminar		FECHA	LÁMINA	ESCALA
	Por aprobar	Para informar		04/06/12	6:16	1:1
	Aprobado	Por calificar				

**ANEXO VII**

**TABLA 12 DEL ANEXO VI TULAS**

<b>CIU</b>	<b>ACTIVIDAD INDUSTRIAL</b>	<b>PARAMETROS DE MONITOREO</b>
1820	Adobo y teñido de pieles, fabricación de artículos de piel	DBO, DQO, SST, SAAM, Grasas y Aceites, Fenoles, Sulfatos, Sulfuros,
1910	Curtido y adobo de pieles	Cromo Hexavalente

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales			
Parámetros de monitoreo de las descargas industriales	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA Armas Graciela	FECHA	LÁMINA	ESCALA
	Por aprobar	Para informar		04/06/12	7:16	1:1
	Aprobado	Por calificar				

## ANEXO VIII

### ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL AGUA RESIDUAL

 <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN LAB-CESTTA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 2998-232 Riobamba - Ecuador	 <b>ENSAYOS</b> No OAE LE 2C 06-008
---	---	--

**INFORME DE ENSAYO No:** 0101  
**ST:** 12-0039 ANÁLISIS DE AGUAS

**Nombre Peticionario:** TENERIA NEOGRANADINA S.A  
**Atn.** Sr. Hans Diederichs  
**Dirección:** El Pisque Panamericana Norte 6 ½: Ambato, Tungurahua

**FECHA:** 02 de Febrero del 2012  
**NUMERO DE MUESTRAS:** 1  
**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:** 2012 / 01/26 - 14:40  
**FECHA DE MUESTREO:** 2012 / 01/26 - 10:15  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 2012 / 01/26 - 2012 / 02 / 02  
**TIPO DE MUESTRA:** Agua Residual  
**CÓDIGO LAB-CESTTA:** LAB-A 0127-12  
**CÓDIGO DE LA EMPRESA:** IA  
**PUNTO DE MUESTREO:** Caja de revisión descarga Final Neogranadina S.A  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** Físico - Químico  
**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:** Dr. Kleber Isa  
**CONDICIONES AMBIENTALES:** T máx.: 24.0 °C. T mín.: 19.0 °C

**RESULTADOS ANALÍTICOS:**

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
Sólidos Totales	PEE/LAB-CESTTA/10 APHA 2540 B	mg/L	3060	1600	±3%
Demanda Química de Oxígeno	PEE/LAB-CESTTA/09 APHA 5220 D	mg/L	1101	500	± 3%
Demanda Bioquímica de Oxígeno	PEE/LAB-CESTTA/46 APHA 5210 B	mg/L	840	250	± 15%
*Cromo Hexavalente	PEE/LAB-CESTTA/32 APHA3111 B 3030 E	mg/L	0.023	0.5	-
Cromo Total	PEE/LAB-CESTTA/28 APHA 3030 B, 3111 B	mg/L	19,12	-	±27%
*Sulfuro	PEE/LAB-CESTTA/53 APHA 4500 S <sup>2-</sup>	mg/L	14.28	1.0	-
Sólidos Suspendidos Totales	PEE/LAB-CESTTA/13 APHA 2540 D	mg/L	760	220	±6%
Tensoactivos	PEE/LAB-CESTTA/44 APHA 5540 C	mg/L	0,90	2,0	± 7%
Potencial de Hidrógeno	PEE/LAB-CESTTA/05 APHA 4500 H <sup>+</sup>	----	7.93	5-9	± 0,15
*Sólidos Sedimentables	PEE/LAB-CESTTA/56 APHA 2540 D	ml/L	0,3	20	-
*Color	PEE/LAB-CESTTA/61 APHA 2120 C	Unidades de Color	1900	-	-
Fenoles	PEE/LAB-CESTTA/14 APHA 5530 D	mg/L	1,58	0,2	±32%
Cloruros	PEE/LAB-CESTTA/15 APHA 4500 Cl <sup>-</sup> B	mg/L	580	-	± 2%
*Aceites y Grasas	PEE/LAB-CESTTA/42 APHA 5520 C	mg/L	0,6	100	-

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos de ensayo  
**MC2201-05**

Página 1 de 2

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
Análisis antes del tratamiento	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA Armas Graciela		
	Por aprobar	Para informar			
	Aprobado	Por calificar			
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
			04/06/12	8:16	1:1

## ANEXO IX

### ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL AGUA TRATADA

 <b>LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN LAB-CESTTA</b>	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL  FACULTAD DE CIENCIAS Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 2998-232 Riobamba - Ecuador	 <b>ENSAYOS</b> No OAE LE 2C 06-008
---	--	--

**INFORME DE ENSAYO No:** 0218  
**ST:** 12- 0087 ANÁLISIS DE AGUAS

**Nombre Peticionario:** TENERIA NEOGRANADINA S.A.  
**Atn.** Sr. Hans Diederichs  
**Dirección:** El Pisque Panamericana Norte 6 ½; Ambato, Tungurahua

**FECHA:** 05 de Marzo del 2012  
**NUMERO DE MUESTRAS:** 1  
**FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:** 2012 / 02/ 27 - 09:43  
**FECHA DE MUESTREO:** 2012 / 02/ 27 - 07:30  
**FECHA DE ANÁLISIS:** 2012 / 02/ 27 - 2012 /03 / 05  
**TIPO DE MUESTRA:** Agua Residual  
**CÓDIGO LAB-CESTTA:** LAB-A 0272-12  
**CÓDIGO DE LA EMPRESA:** N.A  
**PUNTO DE MUESTREO:** Al final de la descarga  
**ANÁLISIS SOLICITADO:** Físico - Químico  
**PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:** Srta. Lorena Armas  
**CONDICIONES AMBIENTALES:** T máx.:24.0 °C. T min.: 19.0 °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	105	500	± 3%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	PEE/LAB-CESTTA/46 APHA 5210 B	mg/L	44	250	± 33%
*Cromo Hexavalente	PEE/LAB-CESTTA/32 APHA3111 B 3030 E	mg/L	0,047	0,5	-
*Sulfuro	PEE/LAB-CESTTA/53 APHA 4500 S <sup>2-</sup>	mg/L	0,013	1,0	-
Sólidos Suspendidos Totales	PEE/LAB-CESTTA/13 APHA 2540 D	mg/L	<50	220	±14%
Tensoactivos	PEE/LAB-CESTTA/44 APHA 5540 C	mg/L	<0,05	2,0	± 15%
Potencial de Hidrógeno	PEE/LAB-CESTTA/05 APHA 4500 H <sup>+</sup>	----	6,22	5-9	± 0,10
Fenoles	PEE/LAB-CESTTA/14 APHA 5530 D	mg/L	<0,02	0,2	±32%
*Aceites y Grasas	PEE/LAB-CESTTA/42 APHA 5520 C	mg/L	0,6	100	-
Sulfatos	PEE/LAB-CESTTA/18 APHA 4500 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> E	mg/L	62	400	± 14%

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.  
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos de ensayo  
**MC2201-05**

Página 1 de 2

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
Análisis después del tratamiento	Certificado Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA Armas Graciela	FECHA   LÁMINA   ESCALA		
	Por aprobar Para informar		04/06/12	9:16	1:1
	Aprobado Por calificar				

## ANEXO X

### FICHA TECNICA DEL POLICLORURO DE ALUMINIO



23

#### BOLETÍN TECNICO

### GLOCHEM GL-240

#### POLICLORURO DE ALUMINIO

#### ***POLIMERO COAGULANTE FLOCULANTE CATIONICO***

##### DESCRIPCION GENERAL

POLICLORURO GLOCHEM GL-240, es un floculante - coagulante líquido del tipo polímero inorgánico de reacción catiónica, trabaja eficientemente como un coagulante primario en la clarificación de aguas y es resistente al cloro. Es aprobado para el tratamiento de aguas potables y utilizado para tal efecto en los Estados Unidos de Norte América y en el Reino Unido. Es un polímero inorgánico basado químicamente en policloruro de aluminio de elevada concentración.

Es manufacturado bajo las más exigentes normas de control de calidad, obteniéndose con esto un producto de gran pureza y de consistencia muy estable.

##### VENTAJAS

- **Fácil Aplicación:** POLICLORURO GLOCHEM GL-240 es un polielectrolito líquido de fácil dilución por lo que facilita las operaciones de alimentación y dosificación a los sistemas donde es aplicado.
- **Económico:** Su elevada eficiencia con niveles bajos de dosificación, implica la reducción de costos por tratamiento.
- **Es resistente al cloro**
- **Trabaja sobre un amplio rango de pH:** lo cual evita los ajustes posteriores de pH.

##### USOS PRINCIPALES

POLICLORURO GLOCHEM GL-240, es altamente eficiente como floculante primario o como coagulante auxiliar o secundario. Es recomendable para usos en:

- Operaciones de sedimentación por gravedad. Ayuda a la formación de flóculos de gran tamaño, lo que acelera el proceso de sedimentación.
- Clarificación de aguas potables, aguas municipales, aguas residuales industriales y tiene especial aplicación en procesos específicos como en aguas de recirculación o de enfriamiento.

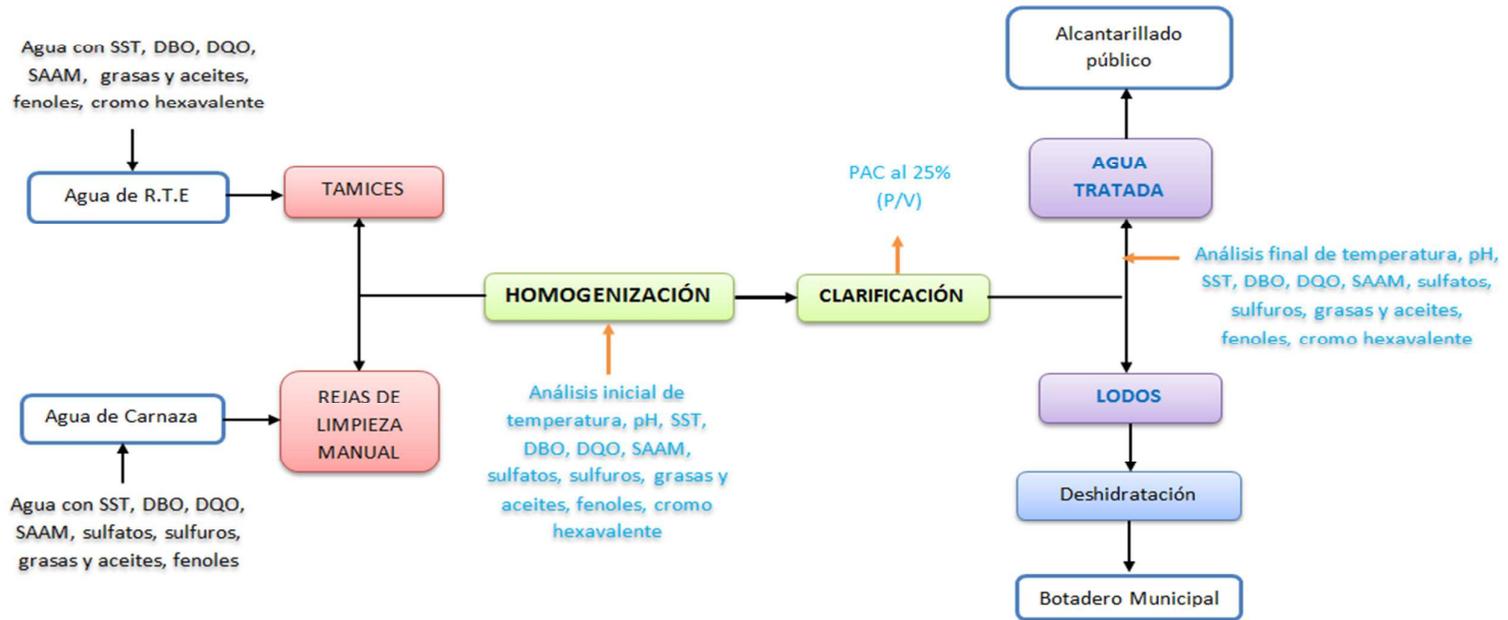
gchem@andina.net.ec | Guilo - Ecuador

Ignacio San María 202 y 10 de Agosto (593) 2430 753 2255 962 2271 394

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales			
Análisis después del tratamiento	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA Armas Graciela	FECHA	LÁMINA	ESCALA
	Por aprobar	Para informar		04/06/12	10:16	1:1
	Aprobado	Por calificar				

ANEXO XI

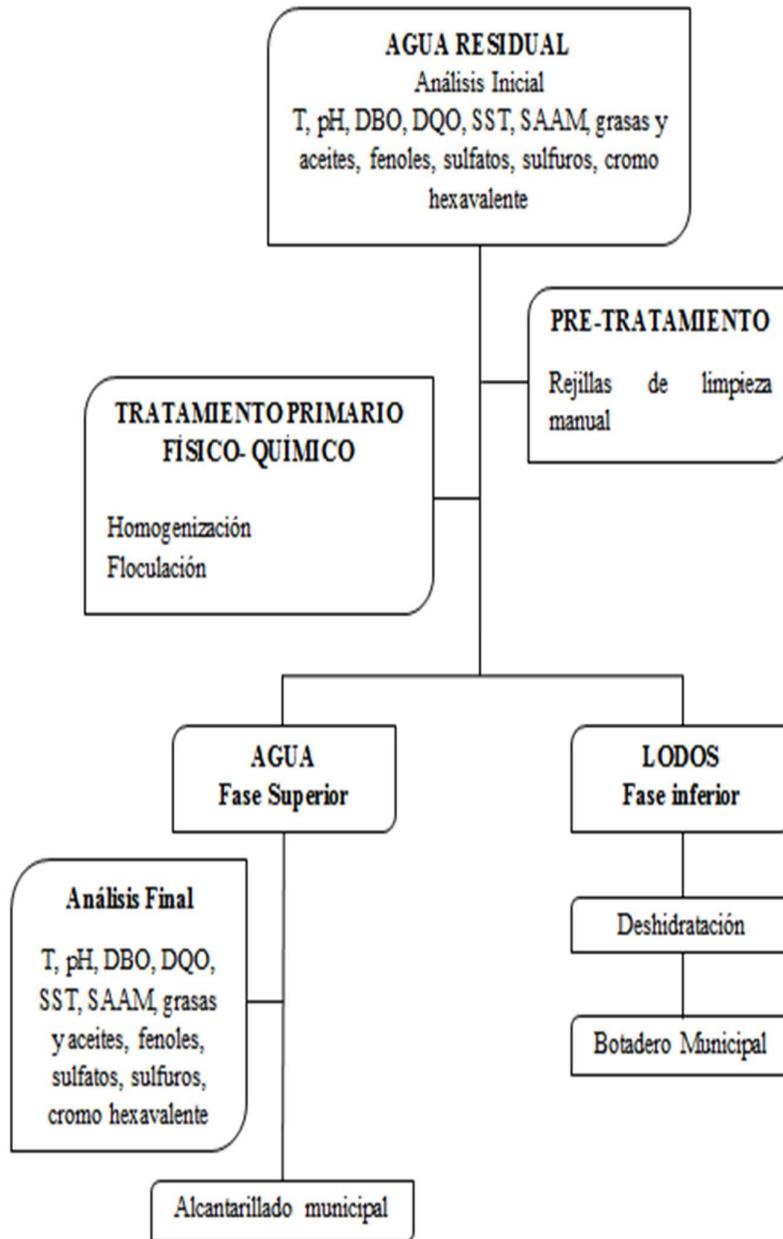
SISTEMA SECUENCIAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA "TENERÍA NEOGRANADINA"



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS	FECHA	LÁMINA
	Por aprobar	Para informar	ESCUELA DE ING. QUÍMICA	04/06/12	11:16
	Aprobado	Por calificar	Armas Graciela	ESCALA	1:1

**ANEXO XII**

**FLUJOGRAMA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS DE CURTIEMBRE**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
Análisis después del tratamiento	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS		
	Por aprobar	Para informar	ESCUELA DE ING. QUÍMICA		
	Aprobado	Por calificar	Armas Graciela		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
			04/06/12	12:16	1:1

**ANEXO XIII**

**DETERMINACIÓN DE SULFURO EN EL AGUA**



(a)



(b)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
a) Agua con presencia de sulfuro	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS		
b) Agua con ausencia de sulfuro	Por aprobar	Para informar	ESCUELA DE ING. QUÍMICA		
	Aprobado	Por calificar	Armas Graciela		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
			04/06/12	13:16	1:1

**ANEXO XIV**

**CANAL DE AGUA RESIDUAL**



(c)

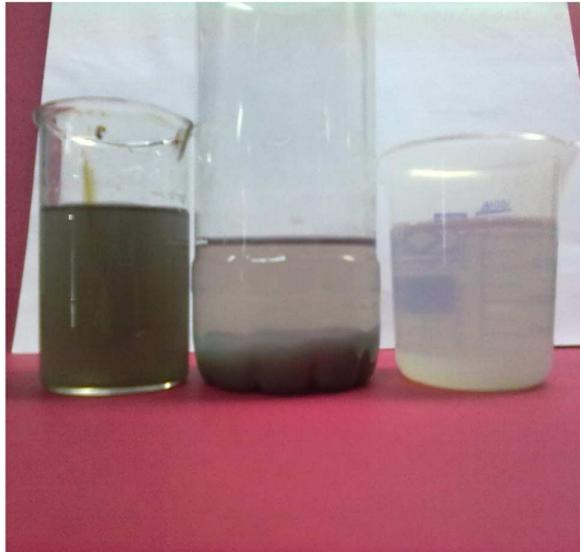


(d)

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
c) Rejas obstruidas d) Rejas limpias	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA Armas Graciela	FECHA	LÁMINA	ESCALA
	Por aprobar	Para informar		04/06/12	14:16	1:1
	Aprobado	Por calificar				

**ANEXO XV**

**AGUA RESIDUAL Y AGUA TRATADA**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE ING. QUÍMICA  Armas Graciela	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
c) Rejas obstruidas d) Rejas limpias	Certificado	Por eliminar				
	Por aprobar	Para informar		04/06/12	15:16	1:1
Aprobado	Por calificar					

**ANEXO XVI**  
**AGUA TRATADA**



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales		
	Certificado	Por eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS		
	Por aprobar	Para informar	ESCUELA DE ING. QUÍMICA		
	Aprobado	Por calificar	Armas Graciela		
			FECHA	LÁMINA	ESCALA
			04/06/12	16:16	1:1