



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

ESCUELA DE POSTGRADO

FACULTAD DE CIENCIAS

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MASTER EN
PROTECCIÓN AMBIENTAL**

TEMA:

**“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DEL CAMAL DE AMBATO”**

AUTOR:

JEZABEL DEYHANIRA CÁCERES VÁSQUEZ

TUTOR:

ING. PATRICIO ROMERO M.Sc.

RIOBAMBA 2005

AGRADECIMIENTO

Expreso mi más sincero agradecimiento al Ing. M.Sc. Patricio Romero, tutor de la tesis, por la guía impartida para la culminación de la misma.

También expreso mi reconocimiento al Camal Frigorífico Municipal de Ambato que, con la ayuda de la Ing. Adela Ortíz Administradora de ésta institución y de todo el personal técnico y operativo de la planta, por la ayuda desinteresada que prestaron para la realización de este trabajo.

Y a todas las personas amigas que de alguna u otra manera aportaron en la labor de este trabajo investigativo.

DEDICATORIA

A Dios por haber guiado mi camino.

A mis Padres por su ayuda, quienes con su esfuerzo, dedicación y sacrificio han sabido orientarme tan acertadamente.

A mis Hermanos por su desinteresada bondad.

Y a mi sobrinita Ashley por su cariño y estímulo de todos los días que ha aportado para la culminación de este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

Índice de Abreviaturas	ix
Índice de Tablas	xi
Índice de Figuras	xiii
Resumen	xiv
Summary	xv
Introducción	xvi
Justificación	xviii
Objetivos	xx
Hipótesis	xx
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.1.1 Camal Frigorífico Municipal de Ambato	1
1.1.2 Personal Relacionado con el Camal	2
1.1.3 Suministro de Agua	2
1.1.4 Consumo de Energía.....	2
1.1.5 Residuos Sólidos y Líquidos	3
1.1.6 Recolección de Sólidos.....	3
1.1.7 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.....	3
1.2 AGUAS RESIDUALES	4

1.2.1	Procesos de Tratamiento de las Aguas Residuales	7
1.2.2	Tratamiento Aerobio	9
1.2.3	Tratamiento Anaerobio.....	10
1.2.3.1	Mecanismo de la Digestión Anaerobia.....	11
1.2.3.2	Factores que influyen en el Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales.....	13
1.2.4	Tratamiento Aerobio Versus Tratamiento Anaerobio	14
1.3	SISTEMAS CONVENCIONALES DE TRATAMIENTO ANAEROBIO	17
1.3.1	Tanque Imhoff.....	17
1.3.1.1	Descripción	18
1.3.1.2	Consideraciones de Diseño.....	19
1.3.1.3	Generación de Lodos	20
1.3.2	Filtros Anaerobios	22
1.3.2.1	Principios de Funcionamiento	23
1.3.2.2	Parámetros Generales según la Norma Técnica Ambiental Brasileira (ABNT) para el Diseño de Filtros Anaerobios.....	25
1.3.2.2.1	Medio Soporte	26
1.3.2.2.2	Tiempo de Retención Hidráulica.....	26
1.3.2.3	Remoción de Lodos	27
2.	METODOLOGÍA Y DESARROLLO	29
2.1	MATERIALES Y MÉTODOS	29
2.1.1	Materiales	29

2.1.1.1	Materiales de Laboratorio.....	29
2.1.1.2	Materiales de Planta.....	29
2.1.1.3	Materiales de Oficina.....	30
2.1.2	Métodos.....	30
2.1.2.1	Forma de Expresión de los Indicadores.....	30
2.1.2.2	Análisis Físico-Químico y Microbiológico.....	31
2.1.2.2.1	Muestreo.....	31
2.1.2.2.2	Sitios de Muestreo.....	31
2.1.2.2.3	Tipo de Muestra.....	31
2.1.2.2.4	Método de Muestreo.....	31
2.1.2.2.5	Volumen de la Muestra.....	32
2.1.2.2.6	Frecuencia y Duración del Programa de Muestreo.....	32
2.1.2.3	Evaluación de la Planta de Tratamiento.....	32
2.1.2.3.1	Verificación de los Parámetros de Diseño.....	32
2.1.2.3.2	Carga Contaminante.....	33
2.2	EQUIPOS Y REACTIVOS.....	33
2.2.1	Equipos.....	33
2.2.2	Reactivos.....	33
2.3	PARTE EXPERIMENTAL.....	34
2.3.1	Identificación y Familiarización con la Industria.....	34
2.3.2	Muestreo de Aguas Residuales.....	34

2.3.3	Verificación Visual de la Planta	34
2.3.4	Balance de Cargas Contaminantes	35
2.3.5	Evaluación de la Planta	35
2.3.6	Diseño Experimental	35
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
3.1	IDENTIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES	37
3.2	EVALUACIÓN DE LAS INSTALACIONES FÍSICAS DEL TANQUE IMHOFF	37
3.3	CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN REAL DEL TANQUE IMHOFF	40
3.3.1	Cálculo de la Carga Superficial	41
3.3.2	Análisis de las Aguas Residuales en la Planta de Tratamiento	43
3.3.3	Cálculo de la Carga Contaminante	45
3.3.4	Porcentaje de Remoción de Carga Contaminante	47
3.3.5	Tiempo de Colmatación de la Cámara de Digestión	50
3.3.6	Verificación de la Hipótesis	52
3.3.7	Análisis de Control en la Planta de tratamiento	53
3.4	PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	54
3.4.1	Limpieza del Tanque Imhoff en Condiciones Actuales de Operación	54
3.4.2	Implementación de Trampa de Grasas	54
3.4.3	Modificación de las Cámaras de Digestión	55
3.4.3.1	Dimensionamiento de la Bomba para Remoción de Lodos en Tanque 1	56
3.4.3.2	Disposición Final de los Lodos.....	57

3.4.4	Funcionamiento de los Tanques Imhoff en Serie	57
3.4.4.1	Cantidad de Lodos Generados con las Modificaciones en cada Tanque Imhoff	60
3.4.4.2	Dimensionamiento del Bombeo de Lodos para Tanque Imhoff 2	61
3.5	PROPUESTA PARA DISMINUIR MUCHO MÁS LA CARGA CONTAMINANTE	63
3.5.1	Diseño Experimental	64
3.5.2	Diseño de Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA).....	66
3.5.2.1	Dispositivos de Control y Limpieza del Sistema.....	68
3.5.2.2	Caja de Distribución de Flujo	68
3.5.2.3	Remoción de Lodos en el Filtro Anaerobio	69
3.5.3	Estimación de los Parámetros Contaminantes en el Efluente.....	70
3.6	PRECAUCIONES PARA EL MANEJO DE LAS INSTALACIONES	71
3.7	PRESUPUESTO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.	72
3.7.1	Factibilidad Económica	73
4.	CONCLUSIONES.....	77
5.	BIBLIOGRAFÍA	80

ANEXOS

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ABREVIATURA	SIGNIFICADO
ARI	Aguas Residuales Industriales
ARD	Aguas Residuales Domésticas
ARA	Aguas Residuales Agrarias
H	Altura
HP	Caballos de potencia
Cs	Carga superficial
Q	Caudal
Q_{tR}	Caudal por tiempo de retención
Q_H	Caudal por altura
Q_{tRH}	Caudal por tiempo de retención y por altura
cm	centímetros
C. Totales	Coliformes Totales
C. Fecales	Coliformes Fecales
DBO_5	Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
d	día
CO_2	Dióxido de Carbono
P total	Fósforo total
gal.	Galones norteamericanos
°C	Grados centígrados
g	gravedad
h	hora

Kg	Kilogramo
L	Litros
L/hab	Litros por habitante
mg/L	Miligramos por Litro
mL	Mililitros
m ³ /L	Metro cúbico por Litro
m	metros
m ²	metros cuadrados
m ³	metros cúbicos
mm	milímetros
MO	Materia Orgánica
N. amoniacal	Nitrógeno Amoniacal
NMP/100mL	Número más probable por cada 100 mililitros
pulg.	Pulgadas
S.S.T.	Sólidos Suspendidos Totales
S.S.V.	Sólidos Suspendidos Volátiles
S. Suspendidos	Sólidos Suspendidos
S. Sediment.	Sólidos Sedimentables
S	Sección Horizontal
t _R	Tiempo de retención
t _{RH}	Tiempo de retención por altura
T _{RH}	Tiempo de retención hidráulica
UNT	Unidad Técnica Nefelométrica

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1: Contaminantes en el Agua Residual.....	5
Tabla No. 2: Composición Típica de Residuos Líquidos en Mataderos y Plantas de Procesamiento de Carnes.....	6
Tabla No. 3 : Comparación entre Tratamiento Aerobio y Anaerobio.....	15
Tabla No. 4 : Beneficios y Limitaciones del Tratamiento Anaerobio.....	16
Tabla No. 5: Criterios usuales para Diseño de Tanques Imhoff para Cámara de Sedimentación.....	19
Tabla No. 6: Criterios usuales para Diseño de Tanques Imhoff en Zona de Ventilación de Gases.....	20
Tabla No. 7: Criterios usuales para Diseño de Tanques Imhoff en la Cámara de Digestión de Lodos.....	21
Tabla No. 8: Tiempos de Retención Hidráulica de Filtros Anaerobios.....	26
Tabla No. 9: Matriz para el Diseño Factorial 2 ³	36
Tabla No. 10: Parámetros de Diseño del Tanque Imhoff empleados por Ingecon.....	37
Tabla No. 11: Dimensiones de la Cámara de Sedimentación del Tanque Imhoff en la Planta.....	38
Tabla No. 12: Dimensiones de la Cámara de Digestión del Tanque Imhoff en la Planta.....	38
Tabla No. 13: Efluente de Agua residual en la planta de tratamiento.....	40
Tabla No. 14: Análisis Físico-Químico y Microbiológico de las Aguas Residuales en la Planta de Tratamiento.....	43
Tabla No. 15: Carga Contaminante del Afluente y Efluente en la Planta de Tratamiento.....	45
Tabla No. 16: Porcentaje de Remoción de la Carga Contaminante.....	47
Tabla No. 17: Cantidad de Carga Contaminante Retenido en el Tanque Imhoff en una Semana.....	49
Tabla No. 18: Análisis Físico-Químico y Microbiológico en la Planta de Tratamiento – Control.....	53

Tabla No. 19: Parámetros Físico-Químico y Microbiológico estimativo para el efluente del segundo tanque Imhoff operando en serie.....	58
Tabla No. 20: Parámetros Físico - Químico y Microbiológico para Tanques Imhoff en Serie.....	59
Tabla No. 21: Valores empleados en el Diseño Experimental 2 ³	64
Tabla No. 22: Superficie Óptima en m ² para el Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente	65
Tabla No. 23: Resultado de Análisis de Varianza del Diseño Factorial 2 ³	65
Tabla No. 24: Parámetros de diseño del Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente Unitario	66
Tabla No. 25: Dimensiones del Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente.....	67
Tabla No. 26: Presupuesto para Optimizar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	72
Tabla No. 27: Costos por Ventas de Faenamiento Anual para el Tratamiento de Aguas Residuales.	73
Tabla No. 28: Costos de Explotación y de Administración de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	73
Tabla No. 29: Flujo de Caja para la Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Frigorífico Municipal Ambato	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1: Representación Esquemática de los Procesos de Descomposición Aerobios y Anaerobios	14
Figura No. 2: Tanque Imhoff Sección Transversal	18
Figura No. 3: Representación Esquemática de la Sección Transversal del Filtro Anaerobio	27
Figura No. 4: Representación esquemática de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales	39
Figura No. 5: Plano de la Sección Vertical del Tanque Imhoff	40
Figura No. 6: Generación de Agua Residual Semanal	41
Figura No. 7: Análisis Físico-Químico de Aguas Residuales en la Planta de Tratamiento	45
Figura No. 8: Carga Contaminante en la Semana de Muestreo	46
Figura No. 9: Porcentaje de Remoción de la Carga Contaminante	48
Figura No. 10: Cantidad de Carga Contaminante Retenido Semanalmente	49
Figura No. 11: Tanque Imhoff modificado la Cámara de Digestión y Sistema de Limpieza	55
Figura No. 12: Reducción de Parámetros Contaminantes al funcionar los Tanques Imhoff en Serie .	59
Figura No. 13: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales propuesto con tanques Imhoff en serie..	60
Figura No. 14: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales propuesto con Tanques Imhoff en serie y los Filtros Anaerobios	69

RESUMEN

El presente trabajo se basa en la “Evaluación del Sistema de Aguas Residuales del Camal de Ambato” con la finalidad de dar soluciones correctivas en su funcionamiento.

Se realizó la Evaluación en las instalaciones de la Planta de Tratamiento, tanto en su diseño como en su operación; mediante el muestreo de las Aguas Residuales (Afluente, Efluente).

Se determinó que las instalaciones no cumplen con los parámetros de los estándares de diseño, la remoción de la carga contaminante (DBO_5) es de 53.34%, la DQO está en un 56.36%, los sólidos sedimentables se remueven en un 84.20%.

Se propone la modificación de las cámaras de digestión y la implementación del Sistema de Remoción de Lodos, así como también el funcionamiento de los dos tanques Imhoff en serie.

Anexo a este sistema se propone la implantación de Filtros Anaerobios que permitirán disminuir la carga contaminante.

SUMMARY

The present research, is about “System Evaluation of Wastewater of the Ambato’s Camail “ with the finally to give correctives solutions in its functionality.

To the same, this was realized the evaluation in the installations of treatment, by the way in your design like in your operation, to mediate the sampling of the wastewater.

To decide that the installations don’t perform with the parameters of the standars of design, the remotion of the loading contaminates (DBO_5) is 53.34%, DQO is 56.36%, and solids sedimentables is removed in an 84.20%.

This propose the modification of the cameras of digestion, and the implementation of mud’s remotion system’s, as well as the funtionation of the dipper Imhoff in series.

Attached of this system to propose the implantations of filter anaerobes that permit decrease the loading contaminate.

INTRODUCCIÓN

El Camal Frigorífico Municipal de Ambato, entidad que presta servicio a la comunidad en las áreas de comercialización, faenamiento e inspección sanitaria ante y post mortem en las tres especies domésticas de abasto: ovinos, bovinos y porcinos.

Cada área tiene su actividad que están sujetas a los protocolos que rigen el funcionamiento de la Institución, encontrándose que cada actividad genera compuestos biológicos, energías, vibraciones, ruidos o combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente constituye un riesgo para la vida o la salud del personal técnico, operativo y usuarios que directa o indirectamente afecta al medio ambiente.

Todos los camales o mataderos son susceptibles de causar impactos ambientales en diferentes fases, debido a la cantidad y calidad de los efluentes, emisiones o residuos que generan, presentando riesgo para la salud de la población, efectos adversos significativos sobre la cantidad y calidad de los recursos naturales renovables, incluidos en el suelo, agua y aire (PORTERO, Sheldon y et. al. 2000). Por lo tanto, existe la necesidad de estudiar éstos factores que están generándose en el Camal Frigorífico Municipal de Ambato, con la finalidad de efectuar una identificación, evaluación y búsqueda de sus posibles medidas de mitigación.

Las aguas en el Camal se generan de tres fuentes:

aguas servidas provenientes de desechos industriales

aguas servidas originadas por el uso de muebles sanitarios en las áreas de administración y servicios

aguas lluvia

Con el objeto de evitar efectos negativos de impacto ambiental, se ha considerado realizar el tratamiento de las aguas servidas del Camal para lo cual se ha dividido las aguas provenientes de uso

industrial de las aguas correspondientes a las áreas administrativas y de servicios.

Las aguas de desecho a tratarse deberán ser sometidas a una depuración biológica secundaria, que en lo posible utilice la menor cantidad de energía, sea barato y de fácil operación y mantenimiento.

La planta de tratamiento de aguas servidas está localizada en un sitio que no produce molestias a los usuarios. Se ha considerado la arborización de la zona de amortiguamiento (CAMAL MUNICIPAL DE AMBATO, MEMORIAS. 1994).

Los seres humanos tenemos el derecho a una vida saludable y productiva pero para alcanzar un desarrollo sostenible debemos vivir en armonía con la naturaleza, la protección del medio ambiente deberá constituir parte integrante de nuestro proceso de formación en forma tal que responda equitativamente a las necesidades tanto de desarrollo y ambientales de las generaciones presentes y futuras, enfrentar este tipo de situaciones han permitido desarrollar varios enfoques holísticos que conciben la integración de los procesos naturales con procesos sociales, relacionándolos directamente con los productivos o económicos.

En la presente investigación se trata de realizar la evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento del Camal Frigorífico Municipal de Ambato, evaluar las condiciones de funcionamiento y el mantenimiento de la misma, cuando se encuentra inconvenientes se dan correctivos necesarios tanto en su estructura como en su operación y así como también se propone la ampliación de la planta de tratamiento para mejorar el rendimiento de la misma con la finalidad de minimizar los parámetros contaminantes del efluente.

JUSTIFICACIÓN

Las plantas faenadoras de ganado bovino, ovino y porcino destinadas al consumo humano es una de las industrias que generan mayor contaminación en sus efluentes por el alto contenido de materia orgánica biodegradable, la cantidad de estas varían de acuerdo a la operación y al sistema de recolección que tenga la industria.

Una industria que no dispone de un sistema de recolección de sólidos presenta la DBO₅ de 570 mg/L, 1850 mg/L de DQO, sólidos suspendidos de 800 mg/L y la cantidad de grasa equivalente a 75 mg/L de acuerdo a los datos reportados por la Intec de Chile. Así también se han reportado en los estudios realizados en el Camal Frigorífico Municipal de Riobamba en el que no dispone de sistema de recolección de sólidos la DBO₅ de 6000 mg/L, DQO 8000 mg/L, sólido total de 9500 mg/L. (León G, Tesis de Maestría)

El Camal Frigorífico Municipal de Ambato dispone del sistema de recolección de rúmen y estiércol. El agua residual es sometido a un tratamiento previo en los Tanques Imhoff antes de su descarga al Río Culapachán.

De acuerdo a la información proporcionada por la Administración del Camal, durante los seis años de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales una sola vez se ha efectuado la limpieza total, mientras que en los años siguientes lo han realizado de manera superficial, por no disponer de un sistema de limpieza adecuado. Mediante análisis preliminares de aguas residuales en el efluente del tanque Imhoff se ha determinado que la DBO₅ es de 336 mg/L y la DQO de 868 mg/L.

Al realizar el diseño de los tanques Imhoff por la empresa Ingecon, se esperaba que el efluente tenga una descarga de 60 mg/L de DBO₅.

Según la Normativa Ambiental (Texto Unificado Secundario), los límites permisibles máximos para la

descarga de la DBO_5 en el efluente es de 100 mg/L, en tanto que la DQO es de 250 mg/L.

Por todo lo mencionado, es necesario realizar una evaluación completa de la planta de tratamiento de aguas residuales, tanto en su estructura física como en los parámetros hidráulicos de funcionamiento y proponer soluciones correctivas con miras a realizar una explotación adecuada para que el efluente llegue a los parámetros esperados por la empresa Ingecon.

OBJETIVOS

1. Objetivo General

Evaluar el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales del Camal Frigorífico Municipal de Ambato, desde el punto de vista hidráulico ambiental.

2. Objetivos Específicos

Comprobar los criterios de diseño de los Tanques Imhoff aplicados por la empresa Ingecon con los parámetros estándares bibliográficos.

Caracterizar los parámetros de calidad del agua residual en el afluente y efluente de los Tanques Imhoff.

Definir una propuesta técnica para optimizar la planta de tratamiento de aguas residuales y obtener el efluente con la DBO₅ de 60 mg/L propuesto por la empresa Ingecon.

HIPÓTESIS

El funcionamiento del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales del Camal Frigorífico de la ciudad de Ambato es óptimo, tal que la DBO₅, disminuye a los parámetros esperados en el diseño original que es de 60 mg/L.

CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 ANTECEDENTES

El Camal Frigorífico Municipal de Ambato fue construido hace 30 años éste se ubicaba en la Cdla. Cashapamba, por el crecimiento de su población se vio obligado a trasladarse a instalaciones más adecuadas para su proceso industrial, contando en la actualidad con modernas maquinarias para su funcionamiento. Sus instalaciones tienen cuatro años de operación, se encuentra situado en la calle F y V dentro del Parque Industrial, asentadas en un área de 32.000 m².

1.1.1 Camal Frigorífico Municipal de Ambato

En la actualidad se encuentra rodeada por construcciones industriales y por una construcción destinada a vivienda que es la Urbanización Amazonas.

El área total del terreno de propiedad municipal en el Parque Industrial destinado para la construcción del nuevo Camal es de 43.777 m², en el proyecto elaborado por Ingecon, es asignada un área para la construcción del Camal de 32.000 m² y el remanente se entrega como acciones de la Municipalidad al Centro de Comercialización de Ganado.

Las áreas programadas y ejecutadas en el nuevo Camal corresponden al siguiente detalle: área administrativa 115.43 m², área de faenamiento y oreo de ganado vacuno 684 m², área de faenamiento y oreo de ganado menor 420 m², área de servicio de los trabajadores 104 m², área de oficinas de

comerciantes 120.19 m², área de corrales 7.526 m², cafetería 138.6 m², guardiana, vivienda, controles y servicios higiénicos exteriores 96.38 m², instalaciones de mantenimiento 77.5 m², áreas verdes 11.497 m², otras instalaciones (tanques reservorios y tratamiento de aguas servidas) 1.100 m².

Hay que señalar que las áreas con las que cuenta el Camal Municipal son las adecuadas para la demanda actual y para la proyección de la demanda futura” (CAMAL MUNICIPAL DE AMBATO, MEMORIAS. 1994).

1.1.2 Personal Relacionado con el Camal

El número de puestos de trabajo permanentes en la empresa que tienen dependencia laboral con el I. Municipio de Ambato, es de 36 personas. La parte técnica administrativa cuenta con una administradora, personal de control sanitario, mantenimiento, secretaria y chofer.

El personal operativo cuenta con 21 trabajadores entre operarios de planta y conserje. Existe un estimativo de 10 personas que no tienen relación laboral directa con el I. Municipio de Ambato, pero que están sujetas al control de las autoridades administrativas del Camal, que realizan labores de limpieza de vísceras.

1.1.3 Suministro de Agua

De acuerdo a información proporcionada por el Camal, el agua que ingresa al mismo se realiza por toma directa, el rango estimado de suministro y consumo de agua es de 200 a 300 m³/día y está en función de operatividad en las tres líneas de faenamiento.

1.1.4 Consumo de Energía

De la misma manera el consumo promedio de energía eléctrica mensual es de 3400 KW, y su fuente de aprovisionamiento es la red principal.

1.1.5 Residuos Sólidos y Líquidos

El volumen estimado de aguas de desecho generados en el camal y de las actividades anexas proviene del desangrado, lavado de canales, lavado de vísceras, contenidos estomacales, biliares y ruminales, limpieza y desinfección de la planta, equipos y materiales de trabajo, cocinas, baterías sanitarias, duchas y tanques de uso múltiple y representa un adicional de aproximadamente del 1% del volumen de agua que ingresa al camal (CAMAL MUNICIPAL DE AMBATO, MEMORIAS. 1994).

1.1.6 Recolección de Sólidos

Los residuos sólidos que se generan en el faenamiento del ganado bovino, porcino y ovino son recolectados en carretillas y depositados en el lugar destinado para el mismo, ubicado en la parte externa del camal y éste es finalmente transportado por volquetas para su disposición final.

Cierta cantidad de residuos sólidos forman parte de las aguas residuales. Actualmente se está implementando un sistema de recolección mecanizada formado por un sistema de bombeo por medio de una tubería aérea hasta un silo de almacenamiento y ser transportado para su disposición final.

1.1.7 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

El sistema de Evacuación de aguas residuales con que cuenta el Camal es separado, tanto el agua proveniente del área administrativa como el agua residual generado en el proceso de faenamiento, éste último es recolectado y es dirigido a un sistema de tratamiento que está formado por dos Tanques Imhoff con una dimensión de 4.6 metros de ancho y 15 metros de longitud cada uno, el efluente es directamente eliminado por una tubería de 42 cm de diámetro que desemboca en el Río Culapachán.

El agua residual ésta formado del agua consumido en el proceso, más la cantidad de sangre de los ganados faenados y cierta cantidad de residuos sólidos tales como rúmen, estiércol proveniente de las panzas y del lavado de los intestinos de las vísceras.

1.2 AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales crudas son las aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso (MDSMA, 1995).

Se define agua residual o agua servida como una combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de casas, edificios comerciales, fábricas e instituciones junto a cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que pueda estar presente.

Las cuatro fuentes de aguas residuales son

- Aguas domésticas o urbanas
- Aguas residuales industriales
- Aguas de usos agrícolas
- Aguas pluviales

Aunque la mayor parte de las aguas residuales (cerca del 90%) provienen del uso doméstico e industrial, la de usos agrícolas y pluviales urbanas están adquiriendo cada día mayor importancia, debido a que los escurrimientos de fertilizantes (fosfatos) y pesticidas representan los principales causantes del envejecimiento de lagos y pantanos proceso llamado eutrofización (Internet. GRUPO ASISTE, 2002).

Los diversos tipos de aguas residuales reciben nombres descriptivos según su procedencia, siendo una de sus características típicas la presencia de sustancias consumidoras de oxígeno en comparación con el agua, por ejemplo, de un río (Alaerts, 1995).

En la Tabla No. 1 se puede observar los contaminantes presentes en el agua residual.

Todos los efluentes, tanto del matadero como de la industria procesadora de la carne, contienen sangre, estiércol, pelos, grasas, huesos, proteínas y otros contaminantes solubles. La composición de los efluentes de los mataderos dependerá del proceso de producción, de la separación en la descarga de cada sección de materias como sangre, intestinos y desechos del suelo. En general, los efluentes tienen altas temperaturas y contienen patógenos, además de altas concentraciones de compuestos orgánicos y nitrógeno. La relación promedio de DQO:DBO₅:N en un matadero es de 12:4:1.

Tabla No. 1: Contaminantes en el Agua Residual

Contaminante	Fuente	Efectos causados por la descarga del agua residual
Sustancias que consumen oxígeno (MO* biodegradable).	ARD* y ARI* (proteínas, carbohidratos, grasas, aceites).	Agotamiento del oxígeno, condiciones sépticas.
Sólidos suspendidos	ARD y ARI; erosión del suelo.	Depósito de lodo; desarrollo de condiciones anaeróbicas.
Nutrientes: • Nitrógeno • Fósforo	ARD, ARI y ARA* ARD y ARI; descarga natural.	Crecimiento indeseable de algas y plantas acuáticas.
Microorganismos patógenos	ARD	Comunicación de enfermedades.
Materia tóxica • Metales pesados • Compuestos orgánicos tóxicos	ARI ARA y ARI	Deterioro del ecosistema; envenenamiento de los alimentos en caso de acumulación.
MO refractaria (Difícil de degradar biológicamente)	ARI (fenoles, surfactantes), ARD (surfactantes) y ARA (pesticidas, nutrientes); materia resultante del decaimiento de la MO.	Resisten el tratamiento convencional, pero pueden afectar el ecosistema.
Sólidos inorgánicos disueltos • Cloruros • Sulfuros • pH	Abastecimiento de agua, uso de agua Abastecimiento agua, uso agua, infiltración ARD y ARI ARI	Incremento del contenido de sal.
Olores: H ₂ S	Descomposición de ARD	Molestia pública

*MO; Materia orgánica *ARD: Aguas residuales domésticas *ARI: Aguas residuales industriales;

*ARA: Aguas residuales Agrícolas.

Fuente: Alaerts (1995).

En los mataderos, los residuos líquidos se generan a partir de:

Los corrales en donde los animales permanecen antes de ser procesados. Los efluentes se componen de aguas de lavados y desinfecciones, de materias fecales y urinarias.

Área de sangría.

Operaciones de remoción de cueros, pelos y otras partes no comestibles.

Procesamiento de la carne, incluyendo procesamiento de vísceras e intestinos; generan aguas que se van llenando de desperdicios con estas operaciones. Esta agua puede contener sangre, grasa, contenidos de los intestinos, pedazos de carne, pelos y desinfectantes. En la operación de trozado de la carne quedan sólidos adheridos a cuchillos y equipos, los que luego son eliminados en la operación de limpieza de la planta.

Tabla No. 2: Composición Típica de Residuos Líquidos en Mataderos y Plantas de Procesamiento de Carnes

COMPONENTES	UNIDADES	CONCENTRACION
DQO total	mg/L	1.850
DBO ₅ total	mg/L	570
N-Kjeldahl	mg/L	150
P total	mg/L	16
Sólidos suspendidos	mg/L	800
Grasas	mg/L	75
Ph	----	6,8 - 7,1

Fuente: Intec, Chile 1998

La composición de los efluentes depende del tipo de animales procesados. Cuando los mataderos son de vacuno, los efluentes son principalmente aguas de lavado, con contenidos de sangre y algunas partículas gruesas de cueros y huesos. Normalmente se debe tener especial cuidado en mantener separados los intestinos y su contenido.

En el caso de procesamiento de cerdos, las aguas del tipo calientes provenientes de las operaciones de afeitado se desechan, así como aquellas utilizadas para lavar los equipos y los animales. Esta agua contiene gran cantidad de pelos. A continuación se detalla en la tabla No. 2, las composiciones típicas de efluentes de plantas de mataderos y procesamiento de subproductos y carnes.

1.2.1 Procesos de Tratamiento de las Aguas Residuales

Reviste mayor importancia, desde el punto de vista del saneamiento ambiental, la necesidad del tratamiento de las aguas residuales generadas por las distintas actividades de una población o industria, ya que a partir de las mismas, se realizará la recarga de los acuíferos. Además el vertimiento de estas aguas residuales, dependiendo del grado de descarga, ocasiona problemas de contaminación en el suelo, las aguas subterráneas y el aire.

El objetivo principal del tratamiento de las aguas residuales es corregir sus características indeseables, de tal manera que su uso o disposición final pueda ocurrir de acuerdo con las reglas y criterios definidos por las autoridades legislativas. Los tratamientos incluirán la reducción de la concentración de por lo menos uno de los cinco constituyentes más importantes del agua residual (DSENY, 1995 tomado de Lettinga nombrado por Metcalf 1995):

- Sólidos en suspensión.
- Material orgánico (biodegradable).
- Nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo).
- Organismos patógenos.
- Metales pesados.

Los diferentes tipos de tratamientos de las aguas residuales se han desarrollado en forma sencilla y general hacia dos propósitos: 1) La captación o separación de los sólidos de acuerdo a su sedimentabilidad. 2) La estabilización biológica de los sólidos restantes.

Actualmente existe una gran variedad de sistemas para el tratamiento de aguas residuales sin embargo, éstos deberían ser seleccionados sobre la base del contexto local específico donde serán aplicados (Boller, 1997 nombrado por Metcalf 1995). De manera general, se puede afirmar que en los países desarrollados el número de alternativas factibles puede estar limitado debido a una regulación ambiental más estricta. De otro lado en los países en desarrollo el número de opciones puede ser más alto debido a la existencia de diversos estándares de calidad (Peña, 1998). Von Sperling (1995, citado por Peña, 1998) argumenta que todos estos factores son críticos al seleccionar preliminarmente los sistemas más adecuados para un contexto particular.

Según Souza (1997), la selección de tecnologías para la recolección y tratamiento de las aguas residuales deberá considerar, cada vez en mayor medida, alternativas que incluyan el reuso de agua. Existen trabajos muy importantes donde se resalta el hecho de adoptar una adecuada metodología para la selección del tratamiento de agua residual, tal como los presentados por Veenstra *et. al.* (1998) y Madera *et. al.*, (1998).

Según Lettinga y Hulshoff (1995a)., los criterios importantes para la Selección de Tratamientos de Aguas Residuales son:

El método debe proveer una eficiencia de tratamiento en la remoción de varias categorías de contaminantes: Materia orgánica biodegradable (DBO_5), sólidos sedimentables, amoníaco y compuestos orgánicos nitrogenados, fosfatos y patógenos.

La estabilidad del sistema respecto a interrupciones en la fuente de energía, picos de carga, interrupción en la alimentación y/o contaminantes tóxicos, debe ser alta. La flexibilidad del proceso debe ser alta, con respecto a la escala a la cual es aplicada, posibilidades de ampliación y posibilidad de mejorar la eficiencia.

El sistema debe ser simple en su operación, mantenimiento y control ya que una buena operación no debe depender de la presencia de operadores e ingenieros experimentados.

El requerimiento de área debe ser bajo, en especial cuando no está disponible y/o el precio es alto.

El número de etapas de procesos (diferentes) requeridos debe ser lo más bajo posible.

El tiempo de vida del sistema debe ser largo.

La aplicación del sistema no debe sufrir ningún problema en la disposición del lodo.

La aplicación del sistema no debe ser acompañada con mal olor y problemas de malestar en la gente.

El sistema debe ofrecer buenas posibilidades para recuperar subproductos útiles en irrigación y fertilización.

Es recomendable disponer de experiencia suficiente en el manejo del sistema.

1.2.2 Tratamiento Aerobio

El proceso aerobio se caracteriza porque la descomposición de la materia orgánica (MO), se lleva a cabo en una masa de agua que contiene Oxígeno disuelto (OD). En este proceso participan bacterias aerobias o facultativas. El desdoblamiento de la MO es realizado, a través de procesos bioquímicos con la intervención de enzimas producidas por las bacterias en sus procesos vitales (Moscoso & León, 1996).

Las comunidades microbianas aerobias tienen muchas ventajas específicas: tienen potenciales de energía libre altos, permitiendo que se operen una variedad de mecanismos bioquímicos paralelos. Estas comunidades son capaces de trabajar con bajos niveles de sustrato, condiciones medio ambientales variables y una multitud de químicos diferentes en el afluente.

Al momento de considerar una tecnología aerobia, se deben considerar los altos costos de inversión y mantenimiento, generalmente elevados para el nivel económico de los países en desarrollo.

1.2.3 Tratamiento Anaerobio

Según Lettinga *et. al.* (1989), el tratamiento anaerobio es una tecnología relativamente nueva, que ofrece muchas posibilidades:

Lograr una protección efectiva del medio ambiente a bajo costo.

Para países en desarrollo se hace accesible (importación no costosa de equipos).

Para recuperar/preservar recursos y estimular la producción agrícola.

Tres rangos definidos de temperatura pueden ser distinguidos en el tratamiento anaerobio (Lettinga, 1980, Lettinga *et. al.*, 1995):

Una digestión fría (psicrofílica), entre los 0°C y 20°C.

Una digestión mesófilica, entre 20°C y 42°C.

Una termofílica, por encima de los 42°C hasta los 75°C.

Los límites de estos rangos están definidos por la temperatura a la cual la velocidad de decaimiento de la bacteria empieza a exceder la velocidad de crecimiento. Si se tiene un agua residual normal, el tratamiento termofílico podría consumir demasiada energía y el psicrofílico podría consumir mucho espacio (Lettinga *et. al.*, 1995).

El tratamiento anaerobio necesita integración y un plan de tratamiento global, para lograr una completa remoción de cargas contaminantes.

Según Van Haandel y Lettinga (1994), un sistema de tratamiento anaerobio tenderá a desarrollar una población bacteriana compatible con la naturaleza de la MO y de las cargas hidráulicas y orgánicas.

En un sistema de tratamiento "maduro" (que tiene una población compatible con el material orgánico

del afluente) son importantes para la eficiencia de remoción del material orgánico biodegradable los siguientes factores:

La naturaleza del material orgánico a ser digerido.

La existencia de factores ambientales adecuados para la digestión anaerobia.

Tamaño de la población bacteriana (eficiencia de retención de lodo en el sistema).

Intensidad de contacto entre MO afluente y población bacteriana.

Tiempo de permanencia del agua residual en el sistema.

1.2.3.1 Mecanismo de la Digestión Anaerobia

Se puede decir que la digestión anaerobia tiene lugar en tres etapas generales (Orozco, 1989):

Primeramente los componentes de alto peso molecular, tales como las proteínas y los polisacáridos, son degradados en sustancias solubles de bajo peso molecular tales como aminoácidos y azúcares, esta etapa es a veces llamada "fase de licuefacción".

Seguidamente, los nutrientes orgánicos son convertidos en ácidos menos grasos en una fase de "fermentación ácida", la cual baja el pH del sistema.

Finalmente, en la fase de "fermentación de metano" o "metanogénica", los ácidos orgánicos son convertidos en metano, dióxido de carbono y una pequeña cantidad de hidrógeno.

Para la digestión anaerobia de proteínas, carbohidratos y lípidos, se distinguen cuatro etapas diferentes en el proceso global de conversión (Van Haandel y Lettinga, 1994):

Hidrólisis: El proceso requiere la participación de las llamadas exoenzimas que son excretadas por las bacterias fermentativas y permiten el desdoblamiento de la MO.

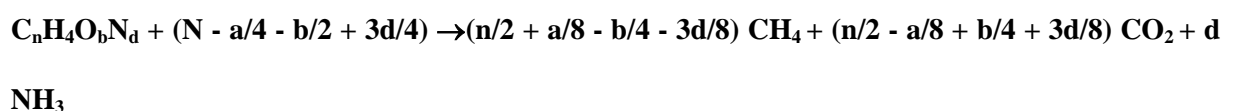
Acidogénesis: Los compuestos disueltos, generados en el proceso de hidrólisis, son absorbidos en las células de las bacterias fermentativas y después por las acidogénicas, excretados como ácidos grasos volátiles, alcoholes, ácido láctico y compuestos inorgánicos como CO₂, H₂, NH₃, H₂S, etc.

Acetogénesis: En esta etapa, dependiendo del estado de oxidación del material orgánico a ser digerido, la formación del ácido acético puede ser acompañada por el seguimiento de CO₂ o H₂.

Metanogénesis: En general es el paso que limita la velocidad del proceso de digestión. El metano es producido por las bacterias acetotróficas a partir de la reducción del ácido acético o por las bacterias hidrogenotróficas a partir de la reducción del CO₂.

Las bacterias que producen metano a partir del hidrógeno crecen más rápidamente que aquellas que usan ácido acético, de modo que las metanogénicas acetotróficas generalmente limitan la tasa de transformación de la MO complejo presente en el agua residual. Por conveniencia muchas veces los tres primeros procesos son llamados "fermentación ácida", que se completan con la "fermentación metanogénica".

La producción de metano depende principalmente del estado de oxidación del carbono en la MO. Si la composición del sustrato es conocida y es completamente convertido a CH₄ y CO₂ (y NH₃ en el caso que el sustrato contenga nitrógeno), la producción teórica de metano puede ser calculada de acuerdo a la siguiente ecuación (Lettinga y Hulshoff, 1995b):



Generalmente el biogas obtenido contiene mucho menos CO₂ que el calculado con la ecuación anterior, debido a la alta solubilidad del CO₂ en el agua.

1.2.3.2 Factores que influyen en el Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales

El curso del proceso de digestión anaerobia, es afectado fuertemente por un número de factores ambientales. Para la aplicación óptima del proceso de tratamiento anaerobio de las aguas residuales, es de mucha importancia tener conocimiento suficiente sobre el efecto de estos factores (Lettinga *et. al.*, 1995):

Temperatura: Un importante aspecto de la temperatura en los sistemas anaerobios, es que el decaimiento de la bacteria anaerobia a temperaturas menores a 15°C es muy bajo. Esto significa que el lodo anaerobio puede ser preservado por largos períodos de tiempo, sin que pierda mucho su actividad, haciendo que el tratamiento anaerobio sea muy atractivo para aguas residuales que se descargan discontinuamente.

pH: La producción de metano se desarrolla óptimamente a un valor de pH entre 6.5 a 7.5.

Capacidad buffer: El contenido del reactor debe tener suficiente capacidad buffer para neutralizar una eventual acumulación de ácidos grasos volátiles y por supuesto la mezcla debe ser adecuada para evitar zonas ácidas dentro del reactor.

Nutrientes: El tratamiento biológico anaerobio de las aguas residuales es desarrollado por bacterias, las cuales deben crecer durante el tratamiento, de otra forma serían lavados fuera del sistema. Por esta razón el agua residual debe contener un número de compuestos a partir de los cuales la bacteria pueda sintetizar sus constituyentes celulares.

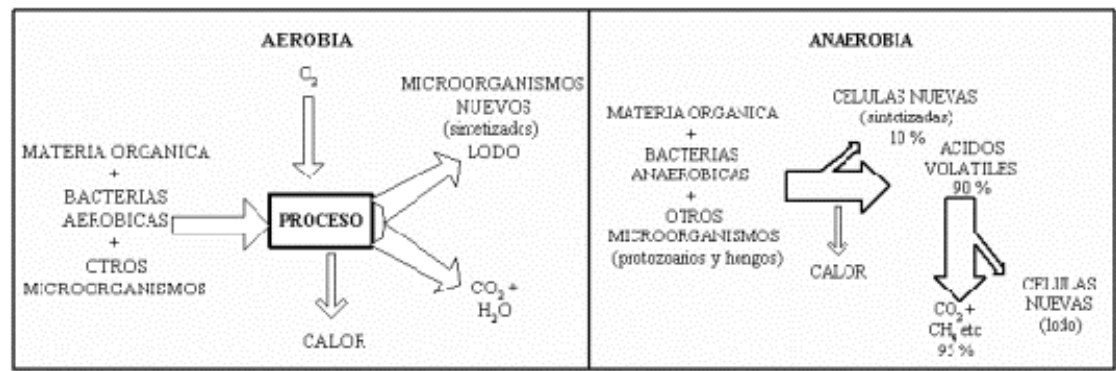
Toxicidad en la digestión anaerobia: Por encima de una cierta concentración cualquier componente puede ser inhibitorio, aún los ingredientes (substratos) para los organismos. Sin embargo en un rango de concentración baja muchos de estos compuestos naturales pueden estimular el metabolismo de las bacterias.

Para Van Haandel y Lettinga (1994), la temperatura es el factor ambiental de mayor importancia en la digestión anaerobia de aguas residuales.

1.2.4 Tratamiento Aerobio Versus Tratamiento Anaerobio

En la Figura No. 1, se observa la representación esquemática de los procesos de descomposición aerobios y anaerobios.

Figura No. 1: Representación Esquemática de los Procesos de Descomposición Aerobios y Anaerobios



Fuente: (Sterling, 1987a).

A diferencia de los sistemas de tratamiento aerobio, las cargas de los reactores anaerobios no están limitadas por el suministro de ningún reactivo. Entre más lodo esté siendo retenido en el reactor bajo condiciones operacionales, más altas son las cargas potenciales del sistema, siempre y cuando pueda ser mantenido un tiempo de contacto suficiente entre el lodo y el agua. (Lettinga *et. al.*, 1989).

El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es la prevención de la contaminación ambiental. Este fin debe ser logrado con sistemas confiables y con los costos más bajos posibles.

Existe un número de razones para emplear sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales, entre otras (Hulshoff y Lettinga, 1984):

Con respecto al tratamiento de aguas residuales de mediana a alta concentración (DQO > 1500 mg/L) el uso del tratamiento anaerobio es significativamente más barato que el tratamiento aerobio.

La situación con respecto a desechos de baja concentración, como desechos domésticos, depende mucho de la temperatura del agua, a temperaturas bajo 12°C la actividad metanogénica puede hacerse tan baja que hace el tratamiento anaerobio competitivo con el tratamiento aerobio para aplicaciones a gran escala.

Se produce energía, esto es especialmente interesante con el tratamiento de desechos altamente concentrados.

Se requiere menos área para la planta anaerobia en comparación con la unidad de tratamiento aerobio.

Importante argumento para la aplicación en zonas urbanas.

Tabla No. 3 : Comparación entre Tratamiento Aerobio y Anaerobio

Aerobio	Anaerobio
$C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$ $\Delta G^\circ = -2840 \text{ KJ/mol gluc}$ <ul style="list-style-type: none"> • Mayor eficiencia de remoción. • Operatividad comprobada. • 50% de C es convertido en CO₂, 40-50% es incorporado dentro de la masa microbiana. • 60% de la energía es almacenada en la nueva biomasa, 40% es perdido como calor. • Ingreso de elevada energía para aireación. • Limitación de cargas orgánicas. • Se requiere adición de nutrientes. • Requerimiento de grandes áreas. • Sensible a economía de escala. • Periodos de arranque cortos. • Tecnología establecida. 	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3 CO_2 + 3 CH_4$ $\Delta G^\circ = -393 \text{ KJ/mol gluc}$ <ul style="list-style-type: none"> • Menor producción de lodos. • Menores costos de operación. • 95% de C es convertido en biogas; 5% es transformado en biomasa microbiana. • 90% de la energía es retenida como CH₄, 3-5% es perdido como calor, 5-7% es almacenada en la biomasa. • No requiere de energía. • Acepta altas cargas orgánicas. • Degrada compuestos policlorados. • Requerimiento bajo de nutrientes. • Se requiere pequeña área superficial. • Largos periodos de arranque. • Recientemente establecida, todavía bajo desarrollo para aplicaciones específicas.

Fuente: Adaptado de Arce (1997).

La tecnología del tratamiento anaerobio es relativamente de bajo costo en términos de equipos.

Los procesos anaerobios presentan las ventajas de no requerir equipos para la aireación, tener limitada producción de lodos de desecho y producir metano.

En las Tablas No. 3 y No. 4 se detalla con más cuidado estos dos tratamientos aerobio y anaerobio, en donde podemos apreciar las diferencias que tienen cada uno.

Tabla No. 4 : Beneficios y Limitaciones del Tratamiento Anaerobio

Beneficios	Limitaciones
<ol style="list-style-type: none"> 1. Baja producción de exceso de lodo (estable). 2. Bajo requerimiento de nutrientes. 3. Sin requerimiento de energía para aireación. 4. Producción de metano. 5. El proceso puede manejar frecuentemente altas cargas de alimentación. 6. El lodo anaerobio puede ser preservado (inactivo) por muchos meses sin serios deterioros. 7. Compuestos valiosos, como el amonio, son conservados, lo que en casos específicos puede representar un beneficio (si la irrigación puede ser aplicada). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las bacterias anaerobias (particularmente las metanogénicas) son muy susceptibles de inhibición por un gran número de compuestos. 2. Si no se cuenta con lodo adaptado, el proceso de puesta en marcha es relativamente lento. 3. La digestión anaerobia normalmente requiere de un adecuado post-tratamiento para la remoción de la DBO remanente, amonio y compuestos de mal olor. 4. Existe poca experiencia práctica, sin embargo la situación a este respecto está cambiando rápidamente.

Fuente: Lettinga *et. al.* (1984).

Aunque los sistemas anaerobios de tratamiento de aguas residuales son conocidos desde el siglo pasado, fueron considerados ineficientes y lentos para la necesidad de tratamiento de los crecientes volúmenes de aguas residuales, especialmente en áreas industriales y densamente pobladas. Sin embargo recientes desarrollos han demostrado que los procesos anaerobios son una alternativa económicamente atractiva para el tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales industriales (ARI) y aguas residuales domésticas (ARD) en zonas semi-tropicales y tropicales (Van Haandel y Lettinga, 1994).

1.3 SISTEMAS CONVENCIONALES DE TRATAMIENTO ANAEROBIO

La baja eficiencia de remoción de los primeros sistemas de tratamiento anaerobio "tanque séptico", "tanque Imhoff", debe ser atribuida a una falla fundamental: existe muy poco o ningún contacto entre la masa bacteriana anaerobia del sistema y el material no sedimentable del afluente. Por esa razón, mucho del material disuelto o hidrolizado no puede ser metabolizado y acaba siendo descargado del sistema de tratamiento con el efluente. En estos diseños, la importancia del contacto entre el lodo y el material orgánico no fue reconocida y el bajo desempeño de los sistemas anaerobios era atribuido a una inferioridad intrínseca con relación a los sistemas aerobios; sin embargo, un sistema de tratamiento anaerobio de aguas residuales puede tener una alta eficiencia en la remoción de MO, aún con muy poco tiempo de residencia (Van Haandel y Lettinga, 1994).

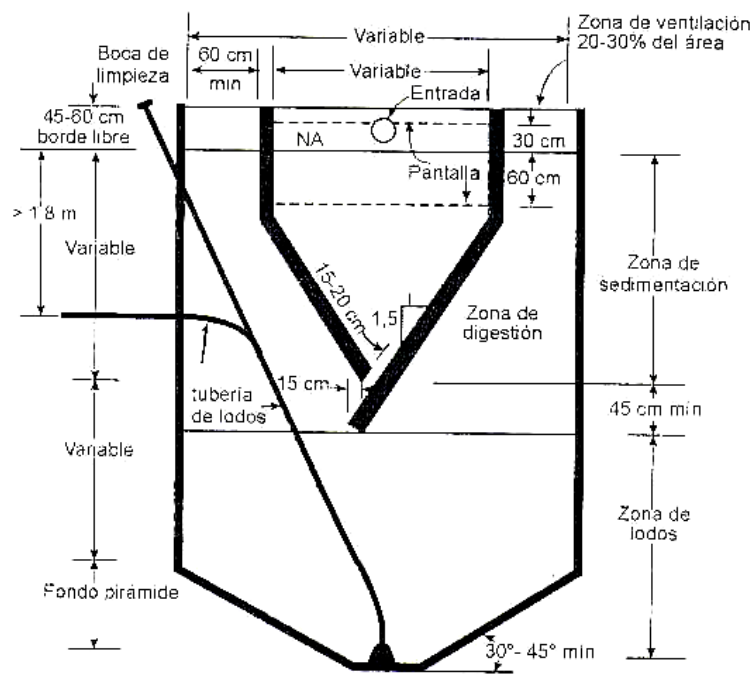
Tal como lo señala Lettinga (1995, citado por Peña, 1998), el tratamiento anaerobio debería ser el método principal de depuración dados sus beneficios y enormes potenciales. Aunque los sistemas convencionales de tratamiento aerobio alcanzan excelentes eficiencias, ellos no reúnen los criterios necesarios para la sostenibilidad de las inversiones en escenarios de recursos de capital y mano de obra calificada.

1.3.1 Tanque Imhoff

Un tanque Imhoff (ver figura No. 2), consiste en un tanque de dos pisos en el cual la sedimentación tiene lugar en el compartimiento superior, y la digestión y acumulación de lodos en el compartimiento inferior. Los tanques Imhoff se utilizan como unidad para tratamiento de aguas residuales provenientes de zonas residenciales y demás zonas que cuenten con red de alcantarillado por gravedad o sistemas de recolección a presión con bombas trituradoras. Los tanques Imhoff fueron usados ampliamente antes de que se hiciera común la digestión con calentamiento de tanques separados. Debido a que no requieren de personal calificado por su sencilla operación, los tanques Imhoff se continúan utilizando de manera ocasional. Dichos tanques no cuentan con unidades mecánicas que requieran

mantenimiento, y la operación consiste en la remoción diaria de espuma, en su evacuación por el orificio más cercano y en la inversión del flujo dos veces al mes para distribuir los sólidos de manera uniforme en los dos extremos del digestor de acuerdo con el diseño y retirarlos periódicamente.

Figura No. 2: Tanque Imhoff Sección Transversal



Fuente: Tomado de Romero, J. 2002

1.3.1.1 Descripción

Los tanques Imhoff convencionales son unidades rectangulares o circulares que no cuentan con calentamiento; los tanques circulares se usan para caudales pequeños. El proceso de eliminación de sólidos sedimentables y de digestión anaerobia de los mismos, en un tanque Imhoff, es similar al proceso que se produce en una fosa séptica. Los sólidos pasan a través de una abertura situada en la parte inferior de la cámara de sedimentación al compartimiento inferior para su digestión sin calentamiento. La acumulación de espumas se produce en la cámara de sedimentación. Los gases producidos durante la digestión en el compartimiento inferior escapan a través del sistema de venteo.

La propia configuración de la abertura que comunica ambas cámaras en la parte inferior de la cámara de sedimentación impide el paso a la misma de los gases generados en la digestión y de las partículas de fango que ascienden desde la capa de fango depositada en el fondo debido a la presencia de gases (Metcalf & Eddy, 1995). Con el paso de los años, muchos fabricantes han desarrollado versiones mecanizadas del tanque Imhoff consistentes en un tanque circular de sedimentación montado sobre un tanque circular de digestión de lodos, provisto de puntos de extracción de gas ubicados en la periferia del tanque.

El lodo digerido se barre mecánicamente hasta una tubería central de drenaje. Un tanque mecanizado puede contar además con barredores para la remoción tanto de la capa de espuma formada en la superficie del tanque, como de aquella formada en la parte superior de la cámara de digestión.

1.3.1.2 Consideraciones de Diseño

En la tabla No. 5 se presentan algunos criterios usuales para el diseño de tanques Imhoff. La cámara de sedimentación se diseña con una carga superficial de 600 gal/pie².d (24.4 m³/m².d) bajo condiciones de caudal promedio, y con un período de retención de aproximadamente 3 horas.

El fondo de la cámara de sedimentación para un tanque convencional sin calentamiento se diseña con una inclinación de 55° con respecto a la horizontal.

Tabla No. 5: Criterios usuales para Diseño de Tanques Imhoff para Cámara de Sedimentación

Cámara de Sedimentación			
Parámetro de diseño	Unidad	Valor	
		Intervalo	Usual
Carga superficial	M ³ /m ² /d	24 - 50	44
Período de retención	H	2 - 4	3
Relación largo/ancho	2:1- 5:1	3:1	
Pendiente de la cámara de sedimentación	relación	1.25:1 - 1.75:1	1.5:1

Continúa..

Parámetro de diseño	Unidad	Intervalo	Usual
Abertura de paso entre cámaras	m	0.1524 - 0.3048	0.254
Longitud del traslapo	m	0.1524 - 0.3048	0.254
Borde libre	m	0.4572 - 0.6092	0.6092

Fuente: Crites Tchobanoglous (2000)

La capacidad de la cámara de digestión debe permitir el almacenamiento de lodos por un período de 6 meses, incluso durante la época más fría del año sin que sea necesario realizar calentamiento. En muchos diseños, los lechos para el secado de lodos se ubican en cercanía del tanque Imhoff para reducir los problemas asociados con el manejo de los lodos generados.

En la siguiente tabla encontraremos criterios de diseño de los tanques Imhoff para la zona de ventilación.

Tabla No. 6: Criterios usuales para Diseño de Tanques Imhoff en Zona de Ventilación de Gases

Zona de Ventilación de Gases			
		Valor	
Parámetro de diseño	Unidad	Intervalo	Usual
Área (con relación al área superficial total)	%	15 - 30	20
Ancho de la abertura*	m	0.4572 - 0.762	0.6092

Fuente: Crites Tchobanoglous (2000)

De la misma manera en la Tabla No. 7, se indica los parámetros para la Cámara de Digestión de lodos.

1.3.1.3 Generación de Lodos

El lodo es un subproducto que se genera en todos los procesos de tratamiento de aguas residuales. Estos suelen ser líquido o semisólido. El lodo estabilizado es valioso como fuente de nutrientes y

como acondicionador de suelo, puede emplearse en agricultura o como fertilizante de estanques empleados en acuicultura.

En el caso de las plantas de tratamiento de mataderos, el lodo está formado de rúmen y estiércol con cierta cantidad de sangre. Desde la antigüedad se utiliza el estiércol como abono, sin llegar a descubrir la importancia del nitrógeno, fósforo y potasio, en el crecimiento de las plantas, el hombre ha sabido de la importancia de la reutilización de los residuos de las heces animales (estiércol, rúmen).

Tabla No. 7: Criterios usuales para Diseño de Tanques Imhoff en la Cámara de Digestión de Lodos

Cámara de Digestión de Lodos			
Parámetro de diseño	Unidad	Valor	
		Intervalo	Usual
Capacidad de almacenamiento (sin almacenamiento)	mes	4 - 8	6
Volumen [†]	L/hab.	56.64 - 99.12	70.80
Tubería de extracción de lodos	m	0.2032 - 0.3048	0.254
Distancia libre hasta el nivel del lodo	m	0.3048 - 0.9144	0.6092
Profundidad total del agua en el tanque (desde la superficie hasta el fondo)	m	7.3152 - 9.7536	9.1440

* La abertura mínima debe ser de 18 pulg (450 mm) para permitir el acceso al personal de limpieza.

[†] Para un período de digestión de 6 meses.

Fuente: Crites Tchobanoglous (2000)

En el tanque Imhoff, estos lodos que se han generado deberán ser removidos para evitar la colmatación en la cámara de digestión y en casos extremos si estos lodos llegan a colmatarse en todo el tanque Imhoff, sencillamente no se puede obtener la eliminación de los contaminantes.

Por lo expuesto es importante que el Tanque Imhoff deba disponer de un sistema de remoción de lodos ya sea manual o automatizado. Si el diseño ha sido realizado adecuadamente, solamente por medio de

una tubería de un diámetro adecuado se puede eliminar el lodo sin la necesidad de mecanismos complicados tales como bombeo.

1.3.2 Filtros Anaerobios

Las aguas residuales de mataderos, por su procedencia poseen una alta concentración de materia orgánica, la cual al ser descargada en lagunas o arroyos provoca serios problemas que se manifiestan en ausencia de oxígeno disuelto en las aguas de los cuerpos receptores, siendo causa, por ende, de la muerte de peces y de otras especies que requieren de oxígeno para vivir. Esta situación puede llegar a convertir un cuerpo de agua, otrora saludable, en una cloaca mal oliente y en fuente de enfermedades. Estas aguas residuales son fácilmente putrescibles por lo que se deduce que son susceptibles a tratamiento biológico. El alto contenido de sólidos disueltos y la alta proporción de sólidos volátiles presentes en las aguas residuales del área de matanza se constituyen en parámetros muy importantes para la determinación del tipo de tecnología a utilizar.

Considerando las características ya citadas de los efluentes del área de matanza es conveniente utilizar un sistema de bajo costo que permita eliminar la mayor cantidad de materia orgánica de las aguas residuales.

Uno de los sistemas que ha dado óptimos resultados en Nicaragua es el sistema “FOSA-FILTRO ANAEROBIO”, como sistema de tratamiento que permite cumplir aceptablemente con los objetivos propuestos en el tratamiento de aguas residuales.

El sistema de Fosa puede ser reemplazado por otro tipo de sistemas, tales como Cámaras Imhoff u otros que permitan eliminar la mayor cantidad de carga contaminante.

Las ventajas que presenta este sistema son:

Puede ser construido con materiales nacionales (hormigón), y con mano de obra nacional ya experimentada en labores constructivas.

No requiere de personal especializado para su operación y mantenimiento.

Requiere de poco espacio para su construcción en relación del volumen del agua residual a tratar.

Permanece convenientemente cubierto, lo que evita accidentes y daños al paisaje.

No requiere de elementos electromecánicos para su funcionamiento, opera automáticamente, aprovechando las características topográficas del terreno.

Debido a la separación de sólidos es poco probable que se presenten problemas de colmatación en el tratamiento, lo cual permite una mejor distribución del flujo y consecuentemente una mayor eficiencia de depuración.

Debido a que el proceso es completamente anaerobio, existe poca producción de lodos en el filtro, lo que nos evita problemas de manejo de gestión de lodos.

Es muy resistente a sobrecargas.

El sistema “Fosa - Filtro”, ha sido ampliamente utilizado en América Latina en el tratamiento de aguas residuales provenientes de mataderos, obteniéndose resultados más que satisfactorios.

1.3.2.1 Principios de Funcionamiento

El “Filtro Anaerobio” es una técnica en la cual se realiza un proceso biológico de depuración en ausencia de oxígeno molecular disuelto. El “Filtro” se basa en la posibilidad de lograr una alta concentración de “biomasa” (microorganismos) en el interior del mismo, esto se alcanza a través de los siguientes mecanismos:

- Adhesión de microorganismos a un medio de soporte, formando una película biológica.
- Atropamiento de flóculos bacterianos en los intersticios del material que rellena el reactor.

Los sólidos biológicos se retienen dentro del reactor, durante un largo período de tiempo.

La elevada concentración de microorganismos dentro del reactor permite que puedan alcanzarse bajos tiempos de retención hidráulica, altas eficiencias y rendimientos significativos en la producción de biogas.

Es importante que el medio filtrante posea una alta superficie específica y una amplia relación de vacíos, que permita una mayor superficie de contacto entre la capa biológica y el agua residual.

En el funcionamiento del “Filtro” intervienen los sólidos suspendidos inertes y los digeribles que sedimentan rápidamente y se acumulan en los espacios intersticiales. Esta acumulación (cuando llega a presentarse, y esto sucede si no se realiza un pre-tratamiento que elimine los sólidos suspendidos), la dispersión hidráulica, la acción de mezcla de las burbujas de gas ascendente y otros factores son los causantes de cortocircuitos y de la desviación de flujo ideal.

Debido a que la digestión anaerobia es un proceso biológico complejo, se deben considerar factores que intervienen directamente en el funcionamiento de un sistema anaerobio.

Para la digestión anaerobia un rango óptimo de pH, que indica la intensidad de acidez y de alcalinidad en las aguas, está entre 6.8 y 7.5, pero el proceso aún ocurre satisfactoriamente en el rango de 6.0 y 8.0. La temperatura es otro parámetro importante que puede afectar la actividad biológica, valores entre 15° y 40°C permiten que se realice el proceso de digestión, sin embargo es importante señalar que temperaturas más cercanas al valor más alto de este rango, aceleran el proceso de degradación y contrariamente, temperaturas más cercanas al valor más bajo de este rango hacen más lento el proceso.

La alcalinidad es un indicador que nos permite determinar la capacidad que posee un agua determinada para neutralizar un ácido fuerte, esto es que el sistema está salvaguardando contra fluctuaciones de pH.

1.3.2.2 Parámetros Generales según la Norma Técnica Ambiental Brasileira (ABNT) para el Diseño de Filtros Anaerobios

1. El Lecho filtrante deberá tener una altura de 1.30 m, este criterio tiene su fundamento debido a que ha sido demostrado en muchos trabajos de investigación, que por encima de 1 m, de altura del material filtrante, las eficiencias en la eliminación de materia orgánica no mejoran sustancialmente. Además, otro criterio a considerar son los problemas de carácter estructural que provocaría una mayor altura del lecho, sobre todo en nuestro caso que utilice piedra como material de soporte. El material filtrante debe tener una granulometría lo más uniforme posible, pudiendo variar entre 50 y 80 mm.
2. La profundidad útil (h) del “Filtro Anaerobio” se recomienda sea de 1.80 m, sin embargo este puede variar un poco de acuerdo a las necesidades.
3. El ancho mínimo que debe tener un “Filtro” es de 0.85 m.
4. El largo máximo del “Filtro” no debe exceder a tres veces la profundidad útil (h).
5. El volumen útil mínimo que puede tener un “Filtro” es de 1.25 m³.
6. El falso fondo debe tener aberturas de 3 cm, espaciadas cada 15 cm entre sí.
7. El dispositivo de pasaje hacia el “Filtro Anaerobio” puede ser muy bien una “Tee” de diámetro mínimo de 3 pulgadas.
8. El dispositivo de salida consistirá en tuberías que bajarán hasta el fondo falso del Filtro contribuyendo el caudal en puntos distintos del fondo del Filtro, los cuales se deben seleccionar para darle una mejor cobertura a toda la capa filtrante, evitando así problemas de cortocircuitos.
9. Se podrán construir cuántos Filtros sean necesarios, colocándolos en funcionamiento paralelo o en serie si se desea mejorar aún más la eficiencia del sistema.

1.3.2.2.1 Medio Soporte

Debe promover la uniformización del flujo en el reactor, mejorar el contacto entre el líquido afluente y los sólidos biológicos en el reactor, permitir acumulación de gran cantidad de biomasa ($> \theta_c$) y actuar como barrera física evitando la salida de sólidos con el efluente.

1.3.2.2.2 Tiempo de Retención Hidráulica

Este tipo de filtros, en general se diseñan en función del tiempo de retención hidráulica, así de acuerdo a la norma Brasileira ABNT:

Tabla No. 8: Tiempos de Retención Hidráulica de Filtros Anaerobios

Q (l/d)	TDH (d)	
	15-25°C	<15°C
< 1500	1	1.17
1501 - 3000	0.92	1.08
3001 - 4500	0.83	1
4501 - 6000	0.75	0.92
6001 - 7500	0.67	0.83
7501 - 9000	0.58	0.75
> 9000	0.50	0.75

Fuente: Norma ABNT

La velocidad superficial: Se limita a valores inferiores de 1.0 m/h de modo de evitar el arrastre de sólidos con el efluente.

Volumen útil: De acuerdo a la norma ABNT:

$$V = 1.60 \times Q \times \text{TRH}$$

Donde:

V : Volumen total del filtro (m³)

Q : Caudal máximo, (m³/s)

TRH : Tiempo retención hidráulica (d)

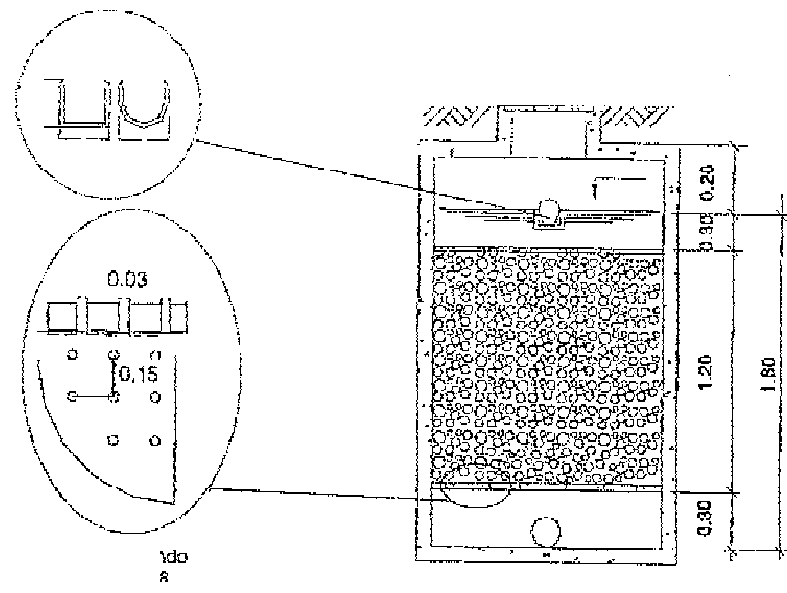
Área horizontal: $A = V/H$ con H = profundidad útil del filtro (1.8m)

Eficiencia: Pueden esperarse eficiencias de entre 75 - 95% cuando se usan como post-tratamiento de efluentes previamente tratadas por otros sistemas.

A partir de ajustes experimentales se puede calcular la eficiencia con la siguiente ecuación:

$$E = 100 (1 - 0.87 \times TRH^{-0.50})$$

Figura No. 3: Representación Esquemática de la Sección Transversal del Filtro Anaerobio



1.3.2.3 Remoción de Lodos

Para el caso del "Filtro Anaerobio", los puntos de muestreo ubicados a diferentes profundidades, nos darán suficiente información de la concentración de lodos. Cuando en el punto de muestra superior,

ubicado unos centímetros más abajo del punto de descarga, presenta concentraciones de lodo similares al del lecho filtrante, deberá hacerse una purga, la cual no sobrepasará al 5% del volumen útil del "Filtro". (Salazar D., 2003).

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

2.1 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1.1 Materiales

2.1.1.1 Materiales de Laboratorio

- Probeta de 100 mL
- Vasos de precipitación de 250 mL
- Erlenmeyers de 250 mL
- Pipetas 1 mL, 2 mL, 5 mL
- Pera de succión
- Bureta de 100 mL
- Balones aforados de 100 mL, 1000 mL
- Cajas petri
- Soporte universal
- Pinza de soporte

2.1.1.2 Materiales de Planta

- Jarras graduadas 1 L
- Cronómetro digital

- Indumentaria de seguridad: mascarilla, guantes, botas

2.1.1.3 Materiales de Oficina

- Proyector
- Computadora
- Cámara Digital
- Videgrabadora
- Lápices, esferos

2.1.2 Métodos

Un diseño de investigación constituye un procedimiento empleado para alcanzar los objetivos propuestos, en cuanto al problema de investigación, los mismos que se desarrollan de acuerdo a los requerimientos de la investigación.

2.1.2.1 Forma de Expresión de los Indicadores

La forma en que pueden estar expresados los indicadores es en valores absolutos y en valores relativos:

En valores absolutos, corresponde al registro de la dimensión que adopta la variable **m** sin que refleje ningún tipo de relación. Este tipo de medición generalmente es utilizado para variables de existencia.

En valores relacionados, permiten establecer el comportamiento de las variables en términos relativos.

Variables Cuantitativas:

Expresan dimensiones de la realidad, que pueden ser medidas con unidades pre-establecidas, para lo cual se utilizan métodos cuantitativos.

2.1.2.2 Análisis Físico-Químico y Microbiológico

Para el mejor desenvolvimiento del trabajo se explicará de forma detallada el seguimiento de la metodología del mismo:

2.1.2.2.1 Muestreo

(OIKOS, CORPORACIÓN. 1999), señala que el objetivo del muestreo en un cuerpo de agua es remover una pequeña porción, representativa del total, para su respectivo análisis. Una vez tomada la muestra, sus constituyentes deben permanecer en las mismas condiciones que cuando fue colectada, a fin de tener confiabilidad en los resultados analíticos.

2.1.2.2.2 Sitios de Muestreo

Las muestras fueron tomadas directamente del tubo o el canal de efluentes del sistema de aguas de tratamiento del camal; en los puntos destinados para ello que son: 1 y 2. Ver Anexo 1.

2.1.2.2.3 Tipo de Muestra

El tipo de muestra que se usó para la investigación del presente trabajo fue una Muestra Simple, misma que es un muestreo flexible tanto en espacio como en tiempo.

2.1.2.2.4 Método de Muestreo

Se llevó a cabo el Muestreo Manual, se ha escogido este tipo de muestreo por ser el más adecuado para sustancias orgánicas, además permite coleccionar muestras adicionales cuando en el proceso de colección de las muestras se observan condiciones inusuales.

Para realizar este muestreo, se procedió a la recolección mediante recipientes de boca ancha con una abertura de al menos 51 milímetros, lo cual ayudó a obtener la muestra más rápidamente, se llenó lo suficiente de acuerdo al tipo de análisis que se observó, con su respectiva identificación.

2.1.2.2.5 Volumen de la Muestra

La cantidad de la muestra depende del número de parámetros a ser analizados y del tipo de análisis realizados, así como también de la concentración inferida del parámetro que se determina. El volumen de la muestra deberá ser de dos litros para cumplir con todos los requerimientos del análisis, más una cantidad igual como muestra testigo.

2.1.2.2.6 Frecuencia y Duración del Programa de Muestreo

Se realizan muestreos del agua residual antes del ingreso al tanque Imhoff así como también a la salida del mismo (puntos 1 y 2 ver anexo 1), ésta información es importante para determinar las condiciones del funcionamiento de la planta. Se realizan muestreos a intervalos de tiempo determinados durante las horas de operación de la planta, con la finalidad de obtener muestras con características representativas del funcionamiento. Se mide el caudal en cada muestreo y se obtiene el volumen determinado para obtener la muestra compuesta y realizar su posterior análisis físico-químico y microbiológico en el laboratorio.

Los parámetros físico-químicos que se realizan son: DBO₅, DQO, Sólidos Suspendidos Totales, Sólidos sedimentables, sólidos suspendidos volátiles, Nitrógeno amoniacal, Grasas y aceites, en tanto que los microbiológicos son: coliformes totales y coliformes fecales.

Con la información recopilada se realizan los cálculos pertinentes para obtener información que permite identificar la situación real del funcionamiento de la planta de tratamiento.

2.1.2.3 Evaluación de la Planta de Tratamiento

2.1.2.3.1 Verificación de los Parámetros de Diseño

Primeramente se recopila información para saber todo el funcionamiento de la planta y posteriormente comparar con los parámetros de diseño.

Con la información obtenida se verifica los parámetros de la planta con los criterios de diseño especificados en la bibliografía.

2.1.2.3.2 *Carga Contaminante*

Para determinar el funcionamiento de la planta de tratamiento se debe tomar en cuenta las condiciones de entrada y salida de algunos parámetros tales como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO), etc., que indican la eficiencia de remoción. La información que se requiere para realizar los cálculos son los valores de los análisis físico-químicos del afluente y efluente y la cantidad de agua residual que se ha generado durante el proceso de faenamiento en las distintas líneas.

2.2 EQUIPOS Y REACTIVOS

2.2.1 Equipos

- Equipo para determinar DBO
- Equipo para determinar DQO
- Agitador magnético
- Estufa

2.2.2 Reactivos

- SAF (Sulfato Amonio Ferroso)
- Indicador (ferroína)

2.3 PARTE EXPERIMENTAL

2.3.1 Identificación y Familiarización con la Industria

Se mantuvo reuniones con la Administradora del Camal la Ing. Adela Ortíz al igual con el personal técnico que labora en dicha institución para definir la situación ambiental en la que se encuentra dicho camal.

Posterior a ello se realizaron visitas periódicas para familiarizarse con el proceso de faenamiento y todo lo que involucra dentro de su funcionamiento.

2.3.2 Muestreo de Aguas Residuales

Los muestreos se realizaron durante una semana laborable tomando en cuenta los horarios de faenamiento.

Se realizó la medición de la profundidad de agua residual en el sistema de drenaje para posteriormente desarrollar los cálculos de caudal, al mismo tiempo se hicieron las mediciones de pH, temperatura y el muestreo de 200 mL de agua residual, para al final del día obtener la muestra combinada, el intervalo del muestreo se realizó cada 30 minutos durante los cinco días de la semana.

En la muestra combinada se realizó el análisis físico químico y microbiológico en los laboratorios del CICAM, en los laboratorios del Camal y en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

2.3.3 Verificación Visual de la Planta

Se realizaron visitas periódicas a las instalaciones con la finalidad de obtener información real del funcionamiento de la planta de tratamiento.

2.3.4 Balance de Cargas Contaminantes

Con toda la información obtenida se realizó el balance de materiales empleando métodos de ingeniería.

2.3.5 Evaluación de la Planta

Con la información obtenida se realizó la evaluación de las instalaciones según los criterios empleados por la empresa Ingecon.

Se calculó los parámetros de funcionamiento de las instalaciones y se comparó con los parámetros de diseños estándares.

Se completó el estudio con la verificación de la calidad del efluente mediante los análisis físico-químico y microbiológicos (DBO₅, DQO, SST, SSV, N amoniacal, grasas y aceites, Coliformes fecales y totales), y proponer las posibles soluciones con miras a disminuir la cantidad de carga contaminante.

2.3.6 Diseño Experimental

El diseño experimental a emplearse en la presente trabajo es el Diseño factorial 2^3 , el cual incluye tres factores a dos niveles cada uno.

Estos tratamientos se aplican siempre al azar y los ensayos se ejecutan con dos replicaciones. La disposición de los tratamientos que resulta del sorteo respectivo, se aplica en el espacio tal como acontece en las experiencias de campo, o en el tiempo tal como sucede en las experiencias de laboratorio.

Los valores se escogen tomando en cuenta los criterios de diseños que puedan afectar en forma directa a los resultados finales. Los factores a utilizar en el presente diseño son: Caudal, Tiempo de Retención y Altura, mismos que sirven para el dimensionamiento del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente

(FAFA). Como se dijo anteriormente cada una de estas variables presentan dos niveles los que se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

Tabla No. 9: Matriz para el Diseño Factorial 2³

PARÁMETROS	Q	t _R	H
L	-	-	-
Q	+	-	-
t _R	-	+	-
Qt _R	+	+	-
H	-	-	+
Q _H	+	-	+
t _R H	-	+	+
Qt _R H	+	+	+

Los símbolos (-) y (+) indican los valores menor y mayor de los factores respectivamente.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LAS INSTALACIONES

Al familiarizarse con las instalaciones del camal se verificó que el sistema de desagüe en las líneas de faenamiento: bovino, ovino y porcino, son las únicas que están conectadas hacia el tanque Imhoff.

La forma de operación de la planta de tratamiento se realiza en forma alternada de un día a otro, es decir, una cámara por día y no como estaba propuesto en el diseño original. Se observó que en los Tanques Imhoff, la cantidad de lodos rebasa la capacidad de almacenamiento ya que no se realiza una limpieza adecuada.

3.2 EVALUACIÓN DE LAS INSTALACIONES FÍSICAS DEL TANQUE IMHOFF

Una vez familiarizado con las instalaciones de los tanques se procedió a la verificación de los parámetros de diseños aplicados por la empresa Ingecon, mismos que se detallan a continuación.

Tabla No. 10: Parámetros de Diseño del Tanque Imhoff empleados por Ingecon

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Horas laborables.	h	8
Caudal de diseño	m ³ /d	400
Tiempo de Retención	hora	5
Tiempo de almacenamiento de Lodos.	año	1
DBO ₅ del Afluente	mg/L	600
DBO ₅ del Efluente	mg/L	60

Fuente: Ingecon, 1994

La empresa constructora diseñó dos tanques Imhoff, cada uno para tratar 200 m³ de agua residual.

En la verificación del diseño, se han utilizado los planos de la instalación y la visualización directa de la estructura física de la planta. Las dimensiones que presentan cada tanque Imhoff instalado se indican en las Tablas No. 11 y 12 respectivamente.

Tabla No. 11: Dimensiones de la Cámara de Sedimentación del Tanque Imhoff en la Planta

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Ancho	m	3
Longitud	m	15
Alto de la parte recta	m	1
Alto de la parte piramidal	m	1.75
Ángulo de inclinación de la sección piramidal, respecto a la horizontal	°	52
Ancho de la conexión con zona neutra	m	0.75
Área Superficial	m ²	45
Volumen	m ³	87

El alto de la zona neutra es de 0.75 m, las características que presenta el tanque Imhoff, son los que se detalla en la Tabla No. 12.

Tabla No. 12: Dimensiones de la Cámara de Digestión del Tanque Imhoff en la Planta

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Forma de la cámara	--	Base rectangular
Longitud	m	15
Ancho	m	4.6
Alto	m	1.6
Área de la sección transversal	m ²	5.8
Volumen	m ³	110.4
Ancho del respiradero de gas	m	0.6

De acuerdo a los parámetros de diseños aplicados por la empresa Ingecon, la planta está diseñada para operar con 400 m³/d de agua residual, para lo que se han diseñado dos tanques Imhoff que operen en paralelo, esto es, cada tanque maneje 200 m³/d de agua residual.

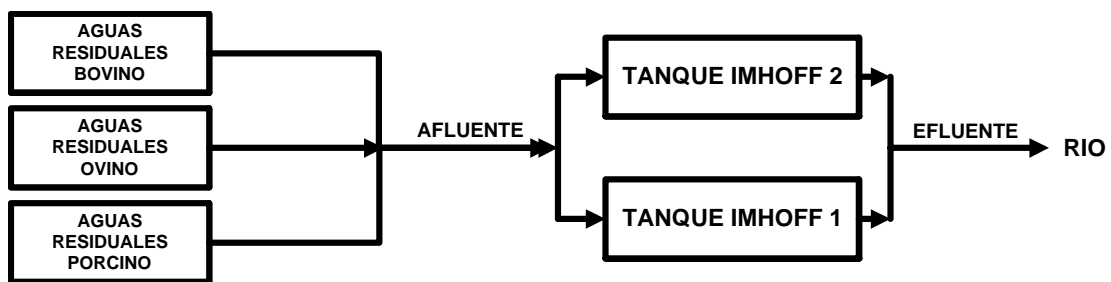
Según los parámetros de caudal y el tiempo de retención (Tabla No. 10), se espera tratar 250 m³/d en los dos tanques, esto implica que el volumen para cada tanque corresponda a 125 m³/d. Sin embargo de acuerdo al dimensionamiento que presenta el plano, en el tanque de sedimentación (Tabla No. 11), el volumen de la cámara es de 87 m³, lo cual indica un subdimensionamiento de 30.4 % al comparar con los parámetros adoptados de la Tabla No. 10.

Según la Tabla No. 12, la forma geométrica que tiene la cámara de digestión es rectangular. De acuerdo a los parámetros de diseño indicados en la parte teórica, la base de esta cámara debe ser triangular y/o bipyramidal, lo cual facilita la limpieza de la cantidad de lodos acumulados.

Los restantes parámetros están de acuerdo a los criterios de la Tabla 12, para el diseño de este tipo de tanques.

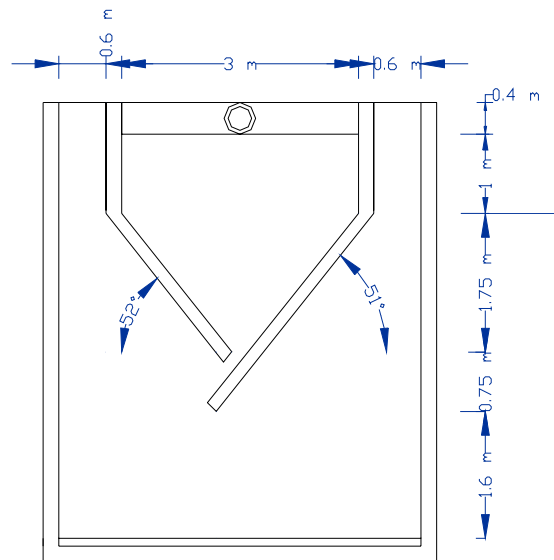
A continuación se indica la distribución de la planta de tratamiento representada en el siguiente diagrama.

Figura No. 4: Representación esquemática de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales.



En la Figura No. 5, se muestra el corte de la sección vertical del Tanque Imhoff.

Figura No. 5: Plano de la Sección Vertical del Tanque Imhoff



3.3 CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN REAL DEL TANQUE IMHOFF

Una vez verificada las instalaciones físicas de la planta de tratamiento; se ha procedido a la revisión de los parámetros de funcionamiento actual.

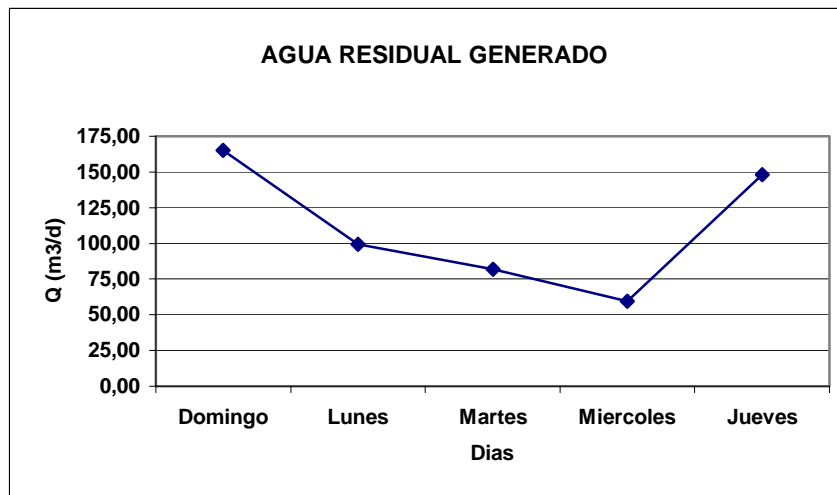
Se ha procedido a determinar el caudal del afluente en la planta de tratamiento del agua residual de acuerdo a la parte experimental, obteniéndose el hidrograma para cada día de trabajo en la semana de muestreo y finalmente obtener el volumen de agua residual generado, el resumen de estos valores, se presenta en la Tabla No. 13. Para una información detallada ver el Anexo 3.

Tabla No. 13: Efluente de Agua residual en la planta de tratamiento

DIA	Caudal (L/s)			Volumen M ³
	Mínimo	Promedio	Máximo	
Domingo	2.822	6.461	7.795	165.15
Lunes	1.270	5.513	7.697	99.24
Martes	0.806	4.539	6.209	81.70
Miércoles	0.706	4.126	5.998	59.42
Jueves	2.940	7.821	8.702	148.12

De acuerdo a la Tabla No. 13, el volumen del agua residual mínimo generado en los procesos de faenamiento es de 99.24 m³ en tanto el volumen máximo es de 165.15 m³ por cada día, lo cual implica un promedio de 110.73 m³ cada día. La Figura No. 5 ilustra esta variabilidad de caudal diario.

Figura No. 6: Generación de Agua Residual Semanal



Esta variabilidad se justifica debido a que el consumo de agua y la generación de agua residual depende del número de ganados: bovino, ovino y porcino faenados, el mismo que fluctúa de acuerdo a los días.

Con los valores de la Tabla No. 13, el volumen máximo diario de agua residual que ingresa al tanque Imhoff es de 165.15 m³. Esto implica que existe un sobredimensionamiento de las instalaciones en 2.4 veces.

3.3.1 Cálculo de la Carga Superficial

Se procede a realizar el cálculo de la carga superficial (Cs) en la cámara de sedimentación en las condiciones de operación.

$$C_s = \frac{Q_{\text{operación}}}{A_{\text{sup}}} \quad (1)$$

$$C_s = \frac{165.135 \text{ m}^3/\text{d}}{45 \text{ m}^2} = 3.67 \text{ m/d}$$

Este valor de la carga superficial indica que el agua residual recorre 3.67 m por cada día de funcionamiento.

Al calcular el Tiempo de retención en la cámara de sedimentación para el caudal máximo, se tiene:

$$t_R = \frac{V_{\text{sedimentador}} * h_{\text{trabajo}}}{V_{\text{total}}} \quad (2)$$

donde:

$V_{\text{sedimentador}}$: Volumen de la cámara de sedimentación, m^3

h_{trabajo} : Número de horas de trabajo en la planta de faenamiento, h

V_{total} : Volumen de agua residual diario máximo a tratar, m^3

$$t_R = \frac{(87 \text{ m}^3)(8 \text{ h})}{165.15 \text{ m}^3} = 4.21 \text{ h}$$

El valor del tiempo de retención de 4.21 horas en la cámara de sedimentación es aceptable, ya que de acuerdo con la Tabla No. 11, el valor máximo permisible es de 4 horas.

La velocidad de sedimentación durante el funcionamiento de la planta tratamiento es:

$$V = \frac{L}{t_R} \quad (3)$$

Donde:

L : Longitud de la cámara de sedimentación, m

t_R : Tiempo de retención, h

$$V = \frac{L}{t_R} = \frac{15 \text{ m}}{4.21 \text{ h}} = 0.059 \text{ m/min.}$$

3.3.2 Análisis de las Aguas Residuales en la Planta de Tratamiento

Una vez realizado la caracterización físico-químico y microbiológico de las aguas residuales se han obtenido los resultados que resume en la siguiente tabla.

Tabla No. 14: Análisis Físico-Químico y Microbiológico de las Aguas Residuales en la Planta de Tratamiento.

PARÁMETRO	UNIDAD	LUNES		MARTES		MIERCOLES		JUEVES		DOMINGO	
		AFL.	EFL.	AFL.	EFL.	AFL.	EFL.	AFL.	EFL.	AFL.	EFL.
pH	UNIT	7	6.6	6.8	7.1	7	6.9	6.8	6.9	6.9	6.8
Turbidez	UNT	320	51	293	55	302	53	313	56	338	57
DBO ₅	mg/L	602	275	576	271	563	283	657	316	733	366
DQO	mg/L	1280	575	1223	531	1083	436	1205	524	1695	868
SST	mg/L	684	350	599	302	551	254	632	307	887	452
SSV	mg/L	176	70	158	68	143	58	156	69	238	107
S Suspendidos	mg/L	423	174	356	171	334	151	394	152	543	224
S Sediment.	mL/L	27	6	20	3	26	4	28	4	36	5
N amoniacal	mg/L	24	8	21	9	20	7	21	9	32	15
Grasas y aceites	mg/L	314	218	290	154	289	176	347	212	380	202
C. Totales	NMP/100 mL	4600	2400	4320	2123	4056	2059	4535	2187	4956	2526
C. Fecales	NMP/100 mL	390	230	370	207	357	218	385	208	422	201

*AFL: Afluente, EFL: Efluente

Según los datos de la Tabla No. 14, el agua residual que ingresa (Afluente) a la planta de tratamiento presentan valores elevados de los parámetros analizados, así el día que presenta valores altos corresponde al día domingo, en tanto que el día miércoles corresponde a valores mínimos, esto se debe a la cantidad de ganados faenados en los días de la semana.

En el análisis se observa que la DBO_5 del afluente oscila entre 733 mg/L y 563 mg/L, esto implica que al hacer una comparación con los parámetros de diseño (Ver tabla No. 10), en la que se reporta 600 mg/L del afluente, el valor real supera a las condiciones de diseño en 21.2 %.

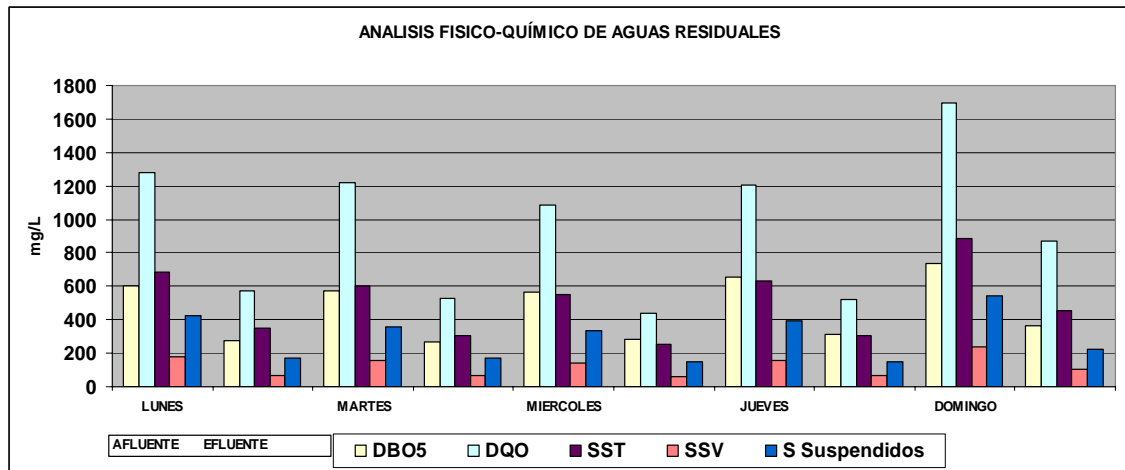
También se observa que la cantidad de Sólidos Sedimentables que contiene el agua residual (Afluente) es elevado oscilando entre 20 mL/L - 36 mL/L, estos valores se justifican por cuanto en el afluente se encuentra presente una cantidad considerable de residuos sólidos tales como rúmen y estiércol, que a su vez conlleva la presencia de Coliformes totales y fecales.

Se observa que la cantidad de grasa que ingresa a la planta de tratamiento es elevada su valor máximo es de 380 mg/L. Esta presencia se justifica ya que en las etapas de lavado de la canal se produce dilución de grasa de los ejemplares.

Según los diseñadores de la Planta, se esperaba llegar a disminuir el valor de la DBO_5 en el efluente a 60 mg/L, sin embargo el valor experimental del mismo (Tabla No. 14.), oscila entre 271 mg/L y 366 mg/L que equivale a 4.5 - 6.1 veces superior a lo esperado. Al comparar con la Normativa Ambiental (Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria - LIBRO VI), se encuentra en 2.1 y 3.6 veces por encima de lo estipulado para su evacuación. (Ver anexo 4)

Para una mejor visualización se presenta en forma gráfica los parámetros importantes para el control de la planta de tratamiento.

Figura No. 7: Análisis Físico-Químico de Aguas Residuales en la Planta de Tratamiento



3.3.3 Cálculo de la Carga Contaminante

Para determinar la cantidad real de la generación de los parámetros contaminantes se ha realizado el cálculo de la carga contaminante tomando en cuenta los valores de la Tabla No. 14 y el volumen de agua residual generado en cada uno de los días (Tabla No. 13.), obteniéndose la siguiente tabla de resultados.

Tabla No. 15: Carga Contaminante del Afluente y Efluente en la Planta de Tratamiento

PARÁMETRO	UNIDAD	LUNES		MARTES		MIÉRCOLES		JUEVES		DOMINGO	
		AFL.	EFL.	AFL.	EFL.	AFL.	EFL.	AFL.	EFL.	AFL.	EFL.
DBO ₅	Kg/d	59.75	26.42	47.08	21.63	33.45	16.32	97.32	45.27	121.05	57.88
DQO	Kg/d	127.04	55.24	99.97	42.38	64.34	25.14	178.5	75.07	279.93	143.35
SST	Kg/d	67.89	33.63	48.96	24.1	32.73	14.64	93.62	43.98	146.49	74.65
SSV	Kg/d	17.47	6.73	12.92	5.43	8.5	3.34	23.11	9.89	39.31	17.67
S Suspendidos	Kg/d	41.98	16.72	29.1	13.65	19.84	8.71	58.36	21.78	89.68	36.99
S Sediment. (m ³)	m ³ /d	2.68	0.58	1.63	0.24	1.54	0.23	4.15	0.57	5.95	0.83
N amoniacal	Kg/d	2.38	0.77	1.72	0.72	1.19	0.4	3.11	1.29	5.28	2.48
Grasas y aceites	Kg/d	31.16	20.94	23.71	12.29	17.17	10.15	51.4	30.37	62.76	33.36

AFL: Afluente EFL: Efluente

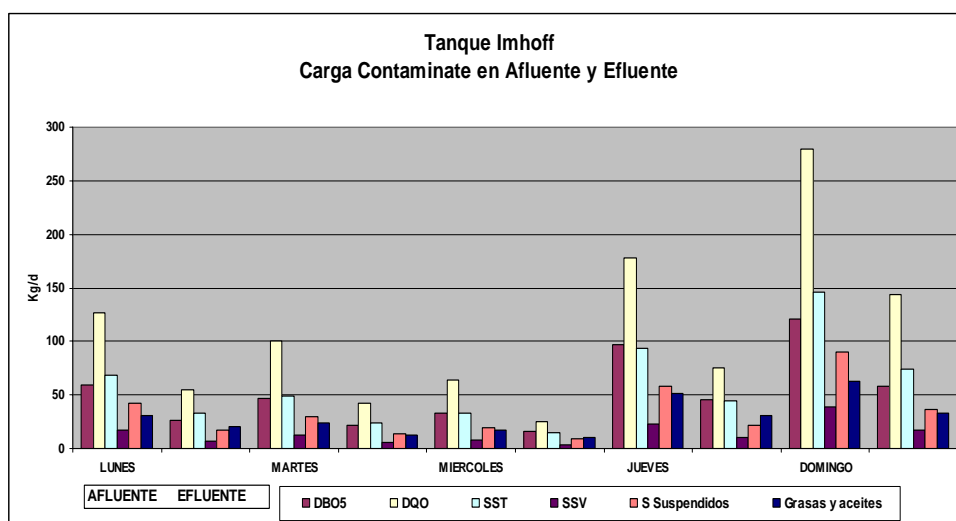
De acuerdo a los valores de la Tabla No. 15, la carga contaminante con que ingresa a la planta de tratamiento oscila entre 33.45 Kg/d y 121.05 Kg/d de DBO₅, los sólidos suspendidos totales entre 32.73 Kg/d y 146.49 Kg/m³, los sólidos sedimentables 1.54 y 5.95 m³/d, también se observa que ingresa una cantidad considerable de grasas y aceite 17.17 Kg/d como valor mínimo en tanto que el valor máximo es de 62.76 Kg/d.

Una vez que el agua residual ha atravesado el Tanque Imhoff, los valores de la carga contaminante sufren una disminución en el efluente. Así, la DBO₅ oscila entre 16.32 Kg/d y 57.88 Kg/d, los valores de sólidos suspendidos totales oscila entre 14.64 Kg/d y 74.65 Kg/d, los sólidos sedimentables varía entre 0.23 m³/d y 0.83 m³/d, en tanto que los valores de grasa y aceites varían desde 10.15 Kg/d y 33.36 Kg/d.

De todos los valores mencionados se observa que la planta de tratamiento de aguas residuales no logra la remoción completa de los distintos parámetros contaminantes en estudio.

En forma gráfica se presenta a continuación para su mejor visualización.

Figura No. 8: Carga Contaminante en la Semana de Muestreo



Como se observa en la Figura 8, el parámetro que se encuentra en mayor cantidad es la Demanda Química del Oxígeno, pero se observa la disminución de las mismas en cada día, lo que indica que el tanque Imhoff está reteniendo valores considerables de cada componente.

3.3.4 Porcentaje de Remoción de Carga Contaminante

Para determinar la cantidad de carga contaminante removido por la planta de tratamiento se ha obtenido la siguiente la tabla.

De acuerdo a los valores de la Tabla No. 16, el porcentaje de remoción de los parámetros varía para DBO₅ desde 51.21 % hasta 55.78 %, Sólidos suspendidos totales entre 49.04 % y 55.27 %, Sólidos sedimentables oscila entre 78.36 % - 86.05 %. En tanto que las grasas y aceites varía su remoción de 32.8 % y 48.17%.

Tabla No. 16: Porcentaje de Remoción de la Carga Contaminante

PARÁMETRO	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	DOMINGO
DBO ₅	55.78	54.06	51.21	53.48	52.19
DQO	56.52	57.61	60.93	57.94	48.79
SST	50.46	50.78	55.27	53.02	49.04
SSV	61.48	57.97	60.71	57.2	55.05
S Suspendidos	60.17	53.09	56.1	62.68	58.75
S Sedimentables	78.36	85.28	85.06	86.27	86.05
N amoniacal	67.65	58.14	66.39	58.52	53.03
Grasas y aceites	32.8	48.17	40.89	40.91	46.85

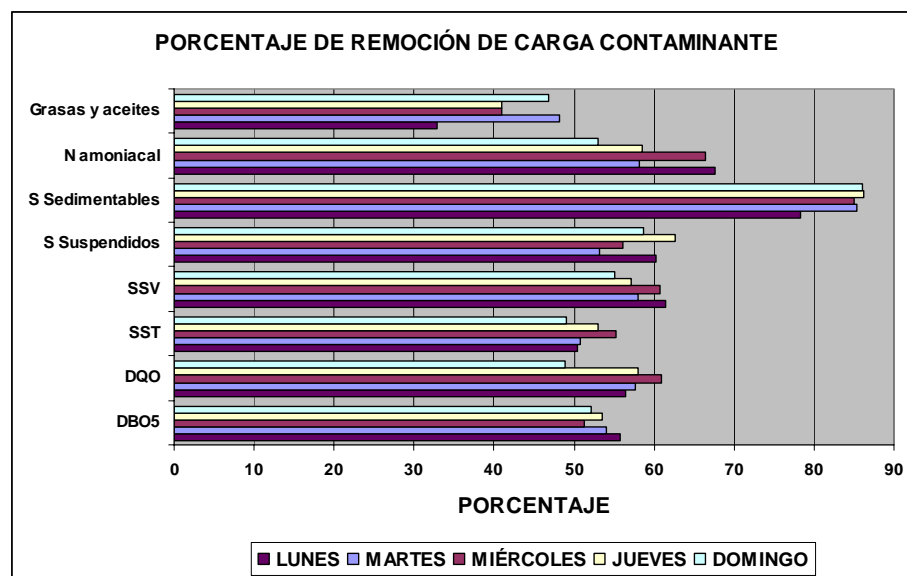
Con relación a los parámetros estándares de diseño bibliográfico, la eficiencia máxima de remoción que alcanza el tanque Imhoff es del 50 % en Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO₅), mientras que la DQO se remueve en un rango de 45 a 70 %;

Los datos de la Tabla No 16 nos revela que la Demanda Bioquímica del Oxígeno a 5 días y la Demanda Química del Oxígeno se encuentran dentro de los parámetros estándares mencionados anteriormente.

Cabe mencionar que los diseñadores de la Planta (Ingecon), esperaban una remoción de carga contaminantes en 90 %, esto es, obtener la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 60 mg/L a partir de 600 mg/L.

En forma grafica, la variación de la carga se presenta a continuación:

Figura No. 9: Porcentaje de Remoción de la Carga Contaminante



La cantidad total de carga contaminante que se retiene en la semana se resume en la Tabla No. 17.

De acuerdo con esta Tabla en el tanque Imhoff se retiene 191.13 Kg/sem. de DBO₅, la DQO se retiene 408.6 Kg/sem., sólidos suspendidos totales está en 198.69 Kg/sem.; los sólidos sedimentables en 13.5 Kg/sem. Este último valor contribuye a la colmatación rápida de la cámara de digestión.

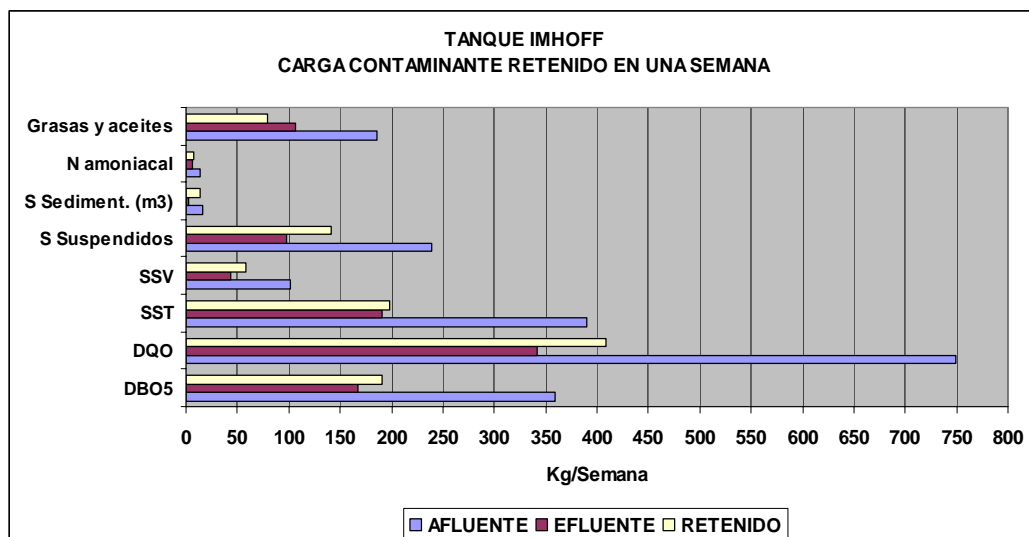
Tabla No. 17: Cantidad de Carga Contaminante Retenido en el Tanque Imhoff en una Semana.

PARÁMETRO	SEMANA (Kg/sem.)		RETENIDO (Kg)
	AFLUENTE	EFLUENTE	
DBO ₅	358.65	167.52	191.13
DQO	749.78	341.18	408.6
SST	389.69	191	198.69
SSV	101.31	43.06	58.25
S Suspendidos	238.96	97.85	141.11
S Sediment. (m ³)	15.95	2.45	13.5
N amoniacal	13.68	5.66	8.02
Grasas y aceites	186.2	107.11	79.09

De acuerdo a los valores de la Tabla No. 17, se retiene cantidad elevada de las cargas contaminantes y aún así no se ha logrado la remoción de éstos parámetros en su totalidad, lo cual nos indica que el tratamiento que se aplica en las instalaciones actuales no es suficiente.

Para una mejor apreciación se presenta en forma gráfica.

Figura No. 10: Cantidad de Carga Contaminante Retenido Semanalmente



3.3.5 Tiempo de Colmatación de la Cámara de Digestión

Con todos los datos analizados se observa que existe una cantidad considerable de sólidos sedimentables que ingresa a la planta de tratamiento de aguas residuales por lo que la colmatación es más rápida.

Se realiza los cálculos del tiempo de colmatación, considerando que se mantiene un promedio de agua residual con las características analizadas y el volumen en estudio para la semana.

La cantidad de sólido sedimentable retenido en el Tanque Imhoff es:

$$S.Sedim.(Retenido) = S.Sedim.(Afluente) - S.Sedim.(Efluente) \quad (4)$$

Con los datos de la Tabla No. 17 y aplicando la ec. 4 se tiene:

$$S.Sedim.(Retenido) = (15.95 - 2.45) m^3/semana$$

$$S.Sedim.(Retenido) = 13.5 m^3/semana.$$

El lodo que se genera por la disminución de Sólidos en suspensión del agua residual se calcula aplicando la siguiente ecuación:

$$Q_L = \frac{K * C * Q}{10000 * C_1} \quad (5)$$

Donde:

Q_L : Caudal medio del lodo producido, (m³/h)

Q : Caudal promedio del afluente (m³/h)

K : Coeficiente de reducción de Sólidos en Suspensión

C : Concentración de Sólidos en Suspensión en el afluente, (mg/L)

C₁ : Concentración de lodos en la salida del decantador, (%)

Según Metcalf & Eddy la concentración de un lodo crudo es de 5 %, por lo que se emplea este valor para determinar el volumen total de lodo por sólidos en suspensión, aplicando la ec. 5 se tiene:

$$Q_L = \frac{0.846 * 410 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \left(\frac{110.74 \text{ m}^3}{8 \text{ h}} \right)}{10000 * 5}$$

$$Q_L = 0.096 \text{ m}^3/\text{h}$$

Esto indica que la cantidad de lodo generado por hora de funcionamiento es de 0.096 m³, realizando los cálculos para los 8 horas de funcionamiento de la planta de tratamiento se obtiene 0.768 m³ de lodo al día, para los cálculos se han considerado los valores promedios de la semana para obtener valores reales de la generación de lodos en el agua residual.

Considerando los 5 días de funcionamiento de la semana en estudio se tiene que se han generado 3.84 m³/semana de lodos por sólidos suspendidos.

La generación total de lodos en la semana se obtiene:

$$\text{Lodo total} = \text{Lodo}_{(\text{sedimentación})} + \text{Lodo}_{(\text{SS})} \quad (6)$$

$$\text{Lodo total} = (13.5 + 3.84) \text{ m}^3/\text{semana} = 17.34 \text{ m}^3/\text{semana}$$

Por tanto, el tiempo de saturación en la cámara de digestión al operar los dos tanques Imhoff en forma alternada, es:

$$t_s = \frac{V_{c.\text{digestión}}}{S.\text{Sedim. retenido}} = \frac{220.8 \text{ m}^3}{17.34 \text{ m}^3/\text{semana}} = 12.7 \text{ semanas} \quad (7)$$

Este valor nos indica que al transcurrir 12.7 semanas (87 días calendario), las dos cámaras de digestión en los tanques Imhoff están llenos a su máxima capacidad de almacenamiento, por lo que su limpieza se debería hacer antes de este tiempo límite.

Como se observa en los valores calculados, la cantidad de residuo que se deposita en mayor cantidad se debe a sólidos sedimentables. Si estos sólidos fueran retenidos antes del ingreso a la planta de tratamiento, el tiempo de colmatación aumenta por lo que la limpieza del tanque Imhoff se acerca al tiempo cercano a la propuesta de diseño original, esto es, en 12 meses.

3.3.6 Verificación de la Hipótesis

Una vez con la información disponible se realizan los cálculos para realizar la verificación de la Hipótesis planteada.

Por la poca disponibilidad de datos de los análisis de aguas residuales, se emplea el test t-student para una población.

Ho: La planta de tratamiento logra la remoción de la DBO₅ hasta 60 mg/L

Ha: La planta de tratamiento no logra la remoción de la DBO₅ hasta 60 mg/L

$$H_0 : \bar{X} = \mu_o \quad (8)$$

$$H_a : \bar{X} > \mu_o \quad (9)$$

$$t = \frac{(\bar{X} - \mu_o)\sqrt{n}}{s} \quad (10)$$

$$t = \frac{(302.2 - 60)\sqrt{5}}{39.981}$$

$$t = 13.54$$

$$t^*_{(n,4)} = 1.645$$

Se acepta H_0 si: $t < t^*$

> 1.645 (rechazado H_0)

Por tanto se acepta la hipótesis alterna, el cual indica que la planta de tratamiento no logra la remoción de la DBO_5 hasta 60 mg/L

3.3.7 Análisis de Control en la Planta de tratamiento

Al transcurrir 3 meses desde los análisis realizados se volvió a realizar el muestreo en la planta de tratamiento, cabe mencionar que la planta estaba colmatada de sólidos hasta la zona de ventilación de gases, sin embargo se hizo la medición del caudal y toma de muestra combinada para determinar sus características, obteniéndose que la cantidad de agua residual generado en el día es de 89.73 m³ calculados a partir del hidrograma (Ver Anexo 3).

Los valores obtenidos de la caracterización físico-químico y microbiológico de las aguas residuales se presentan a continuación.

Como se observa en la Tabla No. 18, los valores de los parámetros contaminantes son más elevados que los de la Tabla No. 14, esto se justifica por el hecho de que la recolección de sólidos en la planta no se realiza óptimamente, en el efluente también se presentan valores elevados de los parámetros analizados.

Tabla No. 18: Análisis Físico-Químico y Microbiológico en la Planta de Tratamiento – Control

PARÁMETRO	UNIDAD	LUNES	
		AFLUENTE	EFLUENTE
pH		6.8	6.7
Turbidez	UNT	484	442
DBO_5	mg/L	3065	2870

Continúa...			
PARÁMETRO	UNIDAD	LUNES	
		AFLUENTE	EFLUENTE
DQO	mg/L	3367	3045
SST	mg/L	1565	1457
SSV	mg/L	918	814
S Suspendidos	mg/L	1067	876
S Sediment. (mL/L)	mL/L	68	51
N amoniacal	mg/L	31.6	6.3
Grasas y aceites	mg/L	306	295
C. Totales	NMP/100 mL	208000	206000
C. Fecales	NMP/100 mL	3800	3657

3.4 PROPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

Una vez que se ha realizado la evaluación y análisis de la Planta de Tratamiento de aguas residuales mediante el tanque Imhoff, se han encontrado una serie de contradicciones y lo que se pretende en esta propuesta es aprovechar al máximo las instalaciones existentes e incluir algunas mejoras con miras a disminuir mucho más la carga contaminante del efluente.

3.4.1 Limpeza del Tanque Imhoff en Condiciones Actuales de Operación

Como ya se ha mencionado anteriormente el sistema de limpieza no se realiza adecuadamente, ya que la planta está colapsada, requiere hacer una limpieza completa de la misma. Para la extracción de los residuos se empleará maquinaria como la pala mecánica, volquetas y personal de limpieza evitando al máximo dañar la estructura del tanque. Cuando la profundidad no permita realizar la limpieza mecánica se lo realizará en forma manual.

Los residuos sólidos extraídos se llevarán al mismo lugar en donde se disponen el estiércol y el rúmen que se recolecta en la planta de faenamiento.

3.4.2 Implementación de Trampa de Grasas

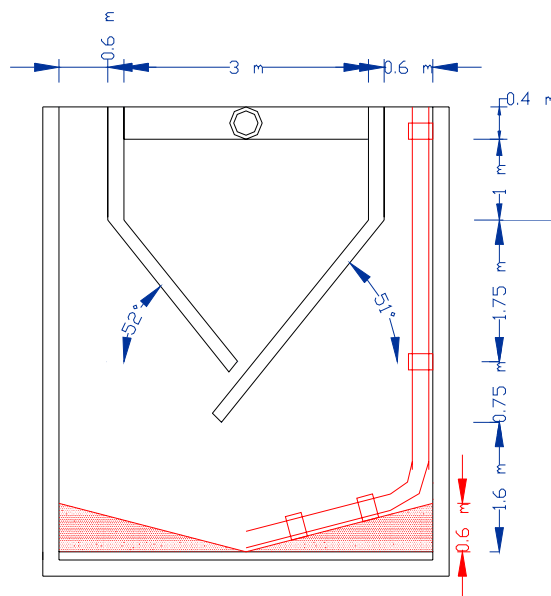
La cantidad de grasas que se elimina al efluente es elevada y en vista de que la planta no dispone de un sistema de retención de este parámetro, se propone la instalación de un deflector al final de los tanques

Imhoff que cumpla la función de retener estas grasas las mismas que serán retiradas en forma manual. Esto garantizará la eliminación de grasas en el efluente para su posterior tratamiento.

3.4.3 Modificación de las Cámaras de Digestión

Ya que la forma geométrica rectangular que presenta la Cámara de Digestión no da la facilidad para la acumulación de los lodos de digestión para su posterior remoción, se propone realizar la modificación de ésta a una base triangular mediante el relleno empleando hormigón. El fondo tendrá una inclinación de 15° respecto a la horizontal.

Figura No. 11: Tanque Imhoff modificado la Cámara de Digestión y Sistema de Limpieza



Con ésta implementación, cada tanque tendrá un volumen de 88.7 m^3 para la acumulación de lodos.

Además se propone la implementación de un sistema de tubería de 6" de diámetro que servirá para la remoción de lodos conectado a una bomba de succión instalada en la parte externa de la planta.

3.4.3.1 Dimensionamiento de la Bomba para Remoción de Lodos en Tanque 1

Dado que la capacidad de la cámara de digestión es de 88.7 m^3 , se evitará que los lodos lleguen a esta capacidad. Según cálculos realizados, el tiempo de llenado en la cámara es de 87 días calendario, por lo que la remoción de lodos se realizará cada mes de operación y el 50 % de la generación.

Esto implica que la bomba debe tener la capacidad de remover 15 m^3 de lodo mensual desde el tanque Imhoff 1.

Según Romero J., el diámetro de la tubería para lodos debe ser mínimo de 150 mm.

Así los parámetros del dimensionamiento son:

Caudal del lodo: $1.4 \text{ L/s} = 0.0014 \text{ m}^3/\text{s}$

Diámetro de tubería: 152.4 mm

Longitud de la Tubería : 45.5 m

Según Metcalf & Eddy, para determinar las pérdidas de carga en un flujo se recomienda hallarla multiplicando la pérdida de carga con agua por un factor k. Este factor k depende del contenido de humedad y tipo de lodo. Por lo tanto, se considera el factor de 4.

La ecuación que se utiliza es de Darcy.

$$h_f = k * f * \frac{L_{\text{total}} * V^2}{D * 2g} \quad (11)$$

Altura dinámica total:

$$h_{dt} = h_g + h_f \quad (12)$$

$$hg = (Z_s + Z_d) + \frac{V_d^2}{2g} + \frac{P_s}{\delta * g} \quad (13)$$

$$h_{dt} = (6 + 8 + 3 * 10^{-4} + 6) \text{ m} + 4 * 0.004 \text{ m}$$

$$h_{dt} = 20 \text{ m}$$

Potencia de la Bomba:

Según Metcalf & Eddy, la densidad relativa de un líquido con alta calidad de lodos ó sólidos suspendidos es de 1.070

$$P = \frac{Q * \delta * h_{dt}}{n * 76} \quad (14)$$

$$P = \frac{(0.0014 \text{ m}^3/\text{s})(1070 \text{ Kg}/\text{m}^3)(20 \text{ m})}{0.6 * 76}$$

$$P = 0.65 \text{ HP}$$

Por tanto se requiere una potencia comercial mínima de 3/4 HP

3.4.3.2 Disposición Final de los Lodos

Una vez que la cantidad de lodo generado en el tanque Imhoff es retirado por bombeo a un silo de almacenamiento cilíndrico con base cónica cuya capacidad será de 8 m³ y posteriormente ser transportado para su disposición final al igual que los residuos de rúmen y estiércol.

3.4.4 Funcionamiento de los Tanques Imhoff en Serie

De acuerdo a los valores obtenidos del porcentaje de remoción de DBO₅, sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables (Tabla No. 16), el tanque Imhoff operando en forma unitaria remueve la carga

contaminante dentro de los parámetros estándares de diseño (Tabla No. 5 al 7), lo cual indica que no hace falta que operen en paralelo, sin embargo se elimina solamente el 50 % de la Demanda Bioquímica de Oxígeno del afluente de la planta de faenamiento. Por lo mencionado, se propone el funcionamiento de los tanques Imhoff en serie de tal manera que permita disminuir aún más la carga contaminante de los parámetros analizados. En la tabla siguiente se toma como base de cálculo el día de máxima carga y el % de remoción promedio del efluente del Tanque Imhoff 2.

Tabla No. 19: Parámetros Físico-Químico y Microbiológico estimativo para el efluente del segundo tanque Imhoff operando en serie

PARÁMETRO	UNIDAD	EFLUENTE TANQUE 1	REMOCIÓN PROMEDIO (%)	EFLUENTE TANQUE 2
Turbidez	UNT	57	83.1	9.63
DBO ₅	mg/L	366	53.3	171
DQO	mg/L	868	45.4	474
S.S.T.	mg/L	452	51.7	218
S.S.V.	mg/L	107	58.5	44.4
S.Suspendidos	mg/L	224	58.2	93.6
S.Sedimentables	m ³ /L	5	84.2	0.79
N. Amoniacal	mg/L	15	60.7	5.9
C. Totales	NMP/100 mL	2526	49	1288
C. Fecales	NMP/100 mL	201	52.4	95.7

Esta consideración se realiza por cuanto las dimensiones de los tanques Imhoff son las mismas.

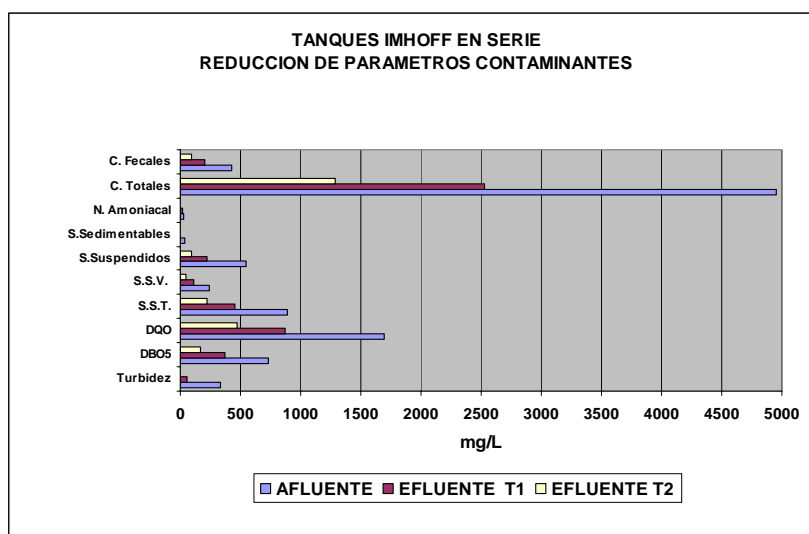
Por lo expuesto, para una mejor apreciación se realiza una Tabla de datos en la cual indica los parámetros físico-químico y microbiológico desde cuando el agua residual proveniente de la planta de faenamiento llega a la planta de tratamiento, atraviesa el Tanque Imhoff 1 y el Tanque Imhoff 2.

Tabla No. 20: Parámetros Físico - Químico y Microbiológico para Tanques Imhoff en Serie

PARÁMETRO	UNIDAD	AFLUENTE	EFLUENTE TANQUE 1	EFLUENTE TANQUE 2
Turbidez	UNT	330	57	9.63
DBO ₅	mg/L	733	366	171
DQO	mg/L	1695	868	474
S.S.T.	mg/L	887	452	218
S.S.V.	mg/L	238	107	44.4
S.Suspendidos	mg/L	543	224	93.6
S.Sedimentables	mg/L	36	5	0.79
N. Amoniacal	mg/L	32	15	5.9
C. Totales	NMP/100 mL	4956	2526	1288
C. Fecales	NMP/100 mL	422	201	95.7

En la Tabla No. 20, se observa la cantidad de los parámetros contaminantes que son eliminados al funcionar los dos Tanques Imhoff en serie, así el efluente de la planta de faenamiento es de 733 mg/L en la DBO₅ y llegando al efluente del Tanque Imhoff 2 a 171 mg/L, la disminución con los demás parámetros ocurre de la misma forma. El parámetro que se logra eliminar casi por completo corresponde a Sólidos sedimentables que disminuiría a 0.79 mL/L.

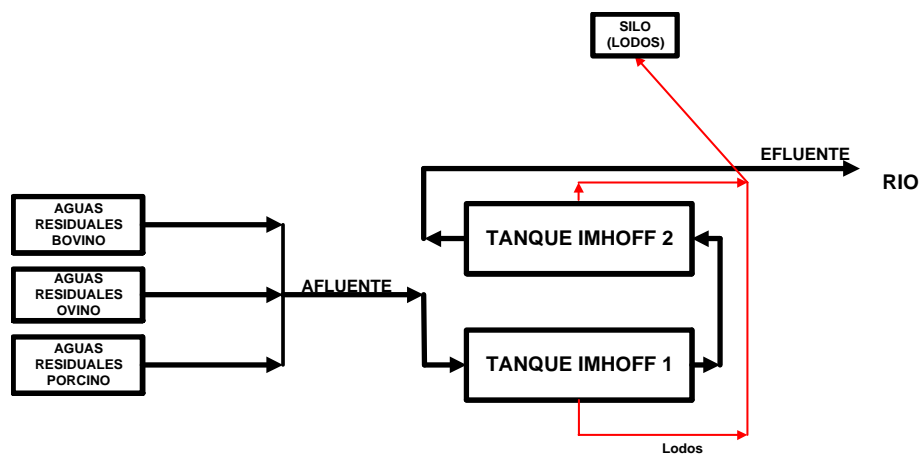
Figura No. 12: Reducción de Parámetros Contaminantes al funcionar los Tanques Imhoff en Serie



Como se aprecia en la Figura No. 12, se conseguirá una reducción drástica de los parámetros contaminantes.

Con los cambios realizados, la planta de tratamiento presentará el siguiente diagrama.

Figura No. 13: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales propuesto con tanques Imhoff en serie.



3.4.4.1 Cantidad de Lodos Generados con las Modificaciones en cada Tanque Imhoff

De acuerdo a las alteraciones en la cámara de digestión de los dos tanques, sufre una disminución del volumen útil, así como también el funcionamiento propuesto hace que se modifique el tiempo de almacenamiento de lodos en cada uno de los tanques, aplicando la ec. 6 se tiene:

$$\text{Lodo total} = \text{Lodo}_{(\text{sedimentación})} + \text{Lodo}_{(\text{SS})}$$

$$\text{Lodo total} = (13.5 + 3.84) \text{ m}^3/\text{semana} = 17.34 \text{ m}^3/\text{semana}$$

Aplicando la ec. 7 se tendrá el tiempo en la cual sufre la colmatación la cámara de digestión del Tanque 1:

$$t_s = \frac{V_{c.\text{digestión}}}{S.\text{Sedim. retenido}} = \frac{88.7 \text{ m}^3}{17.34 \text{ m}^3/\text{semana}} = 5.1 \text{ semanas}$$

Esto implica que el tanque llega a su capacidad de almacenamiento máximo en 5.1 semanas, lo cual conlleva a la remoción de lodos en un tiempo menor del calculado.

De la misma manera para el caso del Tanque 2, se tiene lo siguiente:

$$\text{Lodo total} = \text{Lodo}_{(\text{sedimentación})} + \text{Lodo}_{(\text{SS})}$$

$$\text{Lodo total} = (3.95 + 0.416) \text{ m}^3/\text{semana} = 4.366 \text{ m}^3/\text{semana}$$

$$t_s = \frac{V_{c.\text{digestión}}}{S.\text{Sedim. retenido}} = \frac{88.7 \text{ m}^3}{4.366 \text{ m}^3/\text{semana}} = 20.3 \text{ semanas}$$

Este valor indica que la cantidad lodos llega a la capacidad máxima en la cámara de digestión en 20.3 semanas (141 días calendario), por lo que la remoción de lodos se debe realizar en tiempo inferior al valor calculado.

Como se observa el Tanque 1 requiere una remoción de lodos más frecuente con respecto al Tanque Imhoff 2.

3.4.4.2 Dimensionamiento del Bombeo de Lodos para Tanque Imhoff 2

Dado que la capacidad de la cámara de digestión es de 88.7 m^3 , se evitará que los lodos lleguen a éste valor. Se determinó que el tiempo de llenado en la cámara de digestión del tanque Imhoff 2 es de 141 días calendario, por lo que la remoción de lodos se realizará cada mes de operación y el 50 % de la generación.

Bajo estas condiciones, la bomba debe tener la capacidad de remover 9 m^3 de lodo mensual desde el tanque Imhoff 2.

Utilizando las mismas consideraciones anteriores se tiene:

Caudal del lodo: $0.83 \text{ L/s} = 0.0083 \text{ m}^3/\text{s}$

Velocidad de Bombeo : 0.046 m/s

Diámetro de tubería: 152.4 mm

Altura dinámica total : $h_g + h_{dt}$

Longitud de la Tubería : 34.51 m

Empleando el factor $k = 4$.

Aplicando las ec. 11, 12 y 13 se tienen los siguientes resultados:

$$h_f = k * f * \frac{L_{\text{total}} * V^2}{D * 2g}$$

Altura dinámica total:

$$h_{dt} = h_g + h_f$$

$$h_g = (Z_s + Z_d) + \frac{V_d^2}{2g} + \frac{P_s}{\delta * g}$$

$$h_{dt} = (6 + 8 + 1.07 * 10^{-4} + 6) \text{ m} + 4 * 0.001 \text{ m}$$

$$h_{dt} = 20 \text{ m}$$

Potencia de la Bomba:

Según Metcalf & Eddy, la densidad relativa de un líquido con alta calidad de lodos ó sólidos suspendidos es de 1.070, (ec. 14).

$$P = \frac{Q \cdot \delta \cdot h_{dt}}{n \cdot 76}$$

$$P = \frac{(0.00083 \text{ m}^3/\text{s})(1070 \text{ Kg}/\text{m}^3)(20 \text{ m})}{0.6 \cdot 76}$$

$$P = 0.39 \text{ HP}$$

Por tanto se requiere una potencia comercial mínima de 1/2 HP

3.5 PROPUESTA PARA DISMINUIR MUCHO MÁS LA CARGA CONTAMINANTE

A pesar de todas las correcciones que se han discutido, los valores la Demanda Bioquímica de Oxígeno en el efluente están en 71 % por encima de los límites estipulados en la Normativa Ambiental (Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria - LIBRO VI), por lo que, para llegar a obtener estos parámetros es necesario realizar la ampliación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Tomando en cuenta el espacio con que cuenta las instalaciones del Camal Frigorífico Municipal, así como también el asentamiento poblacional existente alrededor de la misma limita el incremento de las instalaciones del sistema de tratamientos convencionales.

Por lo expuesto, se propone aumentar a la instalación existente, filtros anaerobios de flujo ascendente que receptorá el efluente del tanque Imhoff 2 y una vez tratado el efluente tomará su curso para su descarga final.

3.5.1 Diseño Experimental

De acuerdo a la metodología planteada se procede a obtener los parámetros necesarios para un área superficial óptima en cada uno de los Filtros Anaeróbicos, en los mismos que se han tomado en cuenta las variables que afectan en forma directa el funcionamiento de la misma.

La Hipótesis Nula que se desea verificar o rectificar es que al variar los valores de cada una de las variables involucrados a números mayores, no afecta el resultado final de la Superficie óptima del Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente.

Las variables y valores aplicados en el diseño experimental se muestran en la Tabla No 21.

Tabla No. 21: Valores empleados en el Diseño Experimental 2³

Variable	Símbolo	Unidad	Valor I	Valor II
Caudal	Q	(m ³ /d)	30	52.71
Tiempo de Retención	t _R	d	0.4	0.5
Altura	H	m	1.5	2.15

Los valores de los factores de la Tabla No 21, han sido sometidos al plan de muestreo indicado en la parte experimental, posteriormente se han sometido al análisis estadístico empleando el método de Varianza y verificar mediante las pruebas de significación el efecto que presentan cada uno de los factores a la superficie del filtro.

El resumen del Análisis estadístico en mención, se detalla en la Tabla No 22.

Tabla No. 22: Superficie Óptima en m² para el Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente

Parámetro	I (m ²)	II (m ²)	Totales (m ²)	Medias (m ²)
L	12.800	12.602	25.402	12.701
Q	22.490	22.541	45.031	22.515
t _R	16.000	16.000	32.000	16.000
Qt _R	28.112	28.112	56.224	28.112
H	8.930	8.930	17.860	8.930
QH	15.690	15.690	31.381	15.690
t _R H	11.163	11.163	22.326	11.163
Qt _R H	19.613	19.613	39.226	19.613
Totales	134.798	134.651	269.449	16.841

Aplicando los métodos estadísticos se ha obtenido la siguiente tabla de Varianza.

El valor F* ha sido obtenido con 1 y 7 grados de libertad y a 95 % del nivel de Confianza.

Tabla No. 23: Resultado de Análisis de Varianza del Diseño Factorial 2³

Variación	Grados Libertad	Suma m.c.	Varianzas	F	F*	Decisión
Total	15	561.852				
Tratamientos						
Q	1	344.793	344.793	114826.514	5.591	Rechaza Ho
t _R	1	56.633	56.633	18860.602	5.591	Rechaza Ho
H	1	143.184	143.184	47684.671	5.591	Rechaza Ho
Qt _R	1	3.975	3.975	1323.654	5.591	Rechaza Ho
QH	1	11.277	11.277	3755.449	5.591	Rechaza Ho
t _R H	1	1.878	1.878	625.274	5.591	Rechaza Ho
Qt _R H	1	0.092	0.092	30.717	5.591	Rechaza Ho
Replicación	1	0.001	0.001	0.449	5.591	Acepta Ho
Error Experim.	7	0.021	0.003			

De acuerdo a los resultados del Análisis de Varianza y la prueba de significación se rechaza la Hipótesis Nula, aceptándose la Hipótesis Alternativa, el mismo indica, que los resultados de la superficie

óptima obtenidos con valores más altos que difieren significativamente, por lo que es recomendable aplicar estas condiciones para el diseño de los Filtros Anaeróbicos de Flujo Ascendente.

3.5.2 Diseño de Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA)

Tomando en cuenta el caudal máximo de 158.13 m³/d a tratar, se diseñan 3 Filtros anaeróbicos de Flujo Ascendente que operen en paralelo e instalados a continuación del Tanque Imhoff 2.

Los parámetros de Diseño que se aplican son los resultados obtenidos en el Diseño Experimental y se detallan en la Tabla No. 24.

Tabla No. 24: Parámetros de diseño del Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente Unitario

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Caudal de diseño	m ³ /d	52.71
Tiempo de retención hidráulica	d	0.5
Profundidad útil mínimo	m	2.15

La ecuación empleada para calcular el volumen útil del filtro es la siguiente:

$$V_{\text{util}} = 1.60 * Q * t_{\text{RH}} \quad (15)$$

Donde:

V_{util} : Volumen útil del filtro

Q : Caudal a ser tratado

T_{RH} : Tiempo de retención hidráulica

Aplicando los valores de los parámetros se obtiene:

$$V_{\text{util}} = 1.60 * 52.71 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * 0.5 \text{ d}$$

$$V_{\text{util}} = 42.168 \text{m}^3$$

Para calcular la Sección Horizontal, (S) del filtro se emplea la fórmula:

$$S = \frac{V_{\text{util}}}{h} \quad (16)$$

donde:

S : Sección horizontal

H : Profundidad útil del filtro

$$S = \frac{42.168 \text{ m}^3}{2.15} = 19.61 \text{ m}^2$$

El dimensionamiento físico del Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente tendrá los siguientes valores.

Tabla No. 25: Dimensiones del Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente

PARÁMETRO	UNIDAD	VALOR
Ancho	m	3.07
Largo	m	6.4
Profundidad	m	2.15
Altura del medio filtrante	m	1.20
Altura del Falso fondo	m	0.60
Área Superficial	m ²	19.648

Con las dimensiones propuestas se requieren 59 m² de área total, sin considerar espacios que se necesitan para realizar el diseño estructural.

La eficiencia del filtro aplicando las Normas ABNT, se tiene:

$$E = 100 (1 - 0.87 \times t_{RH}^{-0.50}) \quad (17)$$

$$E = 100 * (1 - 0.87 * 12^{-0.5})$$

$$E = 74.9 \%$$

3.5.2.1 Dispositivos de Control y Limpieza del Sistema

En todo tratamiento biológico la producción de «lodos» es inevitable. En los sistemas de tratamiento anaerobio la cantidad que se genera es mínima, por lo que es necesario disponer de dispositivos que permitan su evacuación en el momento que se considere apropiado y garantizar el buen funcionamiento del sistema.

Para tal efecto, el Filtro Anaeróbico debe contar con dispositivos que permitirán cumplir convenientemente con estos requerimientos. Por tanto cada filtro contará con canaletas que permite la recolección de lodos y estarán dotadas con tuberías de descarga conectadas al fondo de cada una de las secciones del sistema, lo cual permitirá obtener la mayor carga hidrostática disponible para el empuje del lodo; el lodo purgado por cada filtro será recolectado en un pozo común para ser evacuado mediante un sistema de bombeo hasta su lugar de almacenamiento y su posterior disposición final. Por esta razón se diseña las canaletas con el espacio suficiente para la manipulación de estos instrumentos.

También contará con dispositivos que permiten realizar muestreos del agua residual que se está tratando.

3.5.2.2 Caja de Distribución de Flujo

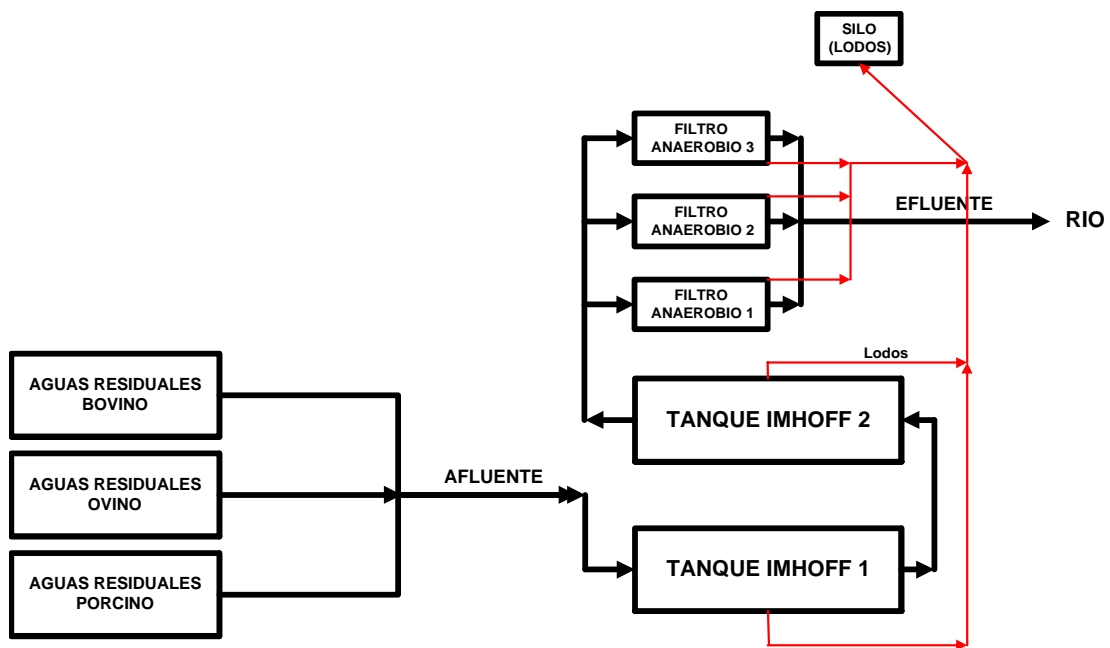
A la entrada del sistema de Filtro Anaerobio será diseñada una caja de distribución, el cual garantiza una repartición equitativa del flujo a lo largo y ancho del sistema.

Además se colocará una línea de derivación dotada de una compuerta tipo gaveta, que sirve para desviar las aguas en caso de emergencia; ya sea por presencia de sustancias no deseadas o por motivos de reparación.

La purga de lodo excedente se realizará cada 5 o 6 meses para evitar la salida con el agua tratada.

El diagrama esquemático de la planta de tratamiento con ésta implementación se presenta a continuación:

Figura No. 14: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales propuesto con tanques Imhoff en serie y los Filtros Anaerobios



3.5.2.3 Remoción de Lodos en el Filtro Anaerobio

Los puntos de muestreo ubicados a diferentes profundidades, nos darán suficiente información de la concentración de lodos dentro del Filtro Anaerobio. Cuando la concentración de lodos en la zona de agua clara es igual al valor hallado en el lecho filtrante es un indicador para realizar la purga, o limpieza.

De acuerdo a la información disponible, la remoción de lodos no deberá ser mayor al 5% del volumen útil del Filtro y dado que el volumen útil de cada filtro es de 42.168 m^3 , la cantidad de lodo a remover es:

$$\text{Lodo a remover} = V_{\text{útil}} * (\% \text{ remoción}) \quad (18)$$

$$\text{Lodo a remover} = 42.168 \text{ m}^3 * 0.05 = 2.11 \text{ m}^3/\text{Filtro}$$

Por tanto se removerá 2.11 m³ por cada filtro, esto implica una remoción de 6.33 m³ de lodos provenientes de los tres filtros anaeróbicos.

Una vez recolectado el lodo en un reservorio único para los tres filtros, será bombeado hasta el silo de almacenamiento para su disposición final para lo cual se utilizará el mismo sistema de tubería instalada para transportar lodos de los Tanques Imhoff.

Por lo general la remoción de lodos se realiza entre 5 a 6 meses de operación.

3.5.3 Estimación de los Parámetros Contaminantes en el Efluente

Al realizar la implementación de los filtro se espera que la Demanda Bioquímica de Oxígeno disminuya de 171 mg/L a 42.92 mg/L, valor que se obtiene a partir de la eficiencia del filtro, en tanto que la Demanda Química de Oxígeno sufre una disminución a 119 mg/L a partir de 474 mg/L.

$$DBO_{\text{efluente}} = DBO_{\text{afluente}} - (\% \text{ eficiencia} * DBO_{\text{afluente}}) \quad (19)$$

$$DBO_{\text{efluente}} = 171 - (0.749 * 171)$$

$$DBO_{\text{efluente}} = 42.92 \text{ mg} / \text{L}$$

De la misma manera se aplica este criterio para la DQO teniendo lo siguiente:

$$DQO_{\text{efluente}} = DQO_{\text{afluente}} - (\% \text{ eficiencia} * DQO_{\text{afluente}}) \quad (20)$$

$$DQO_{\text{efluente}} = 474 - (0.749 * 474)$$

$$DQO_{\text{efluente}} = 119 \text{mg} / \text{L}$$

3.6 PRECAUCIONES PARA EL MANEJO DE LAS INSTALACIONES

Es importante recordar, que no se trata de limpiar completamente los lodos presentes en cada uno de las etapas del sistema de tratamiento.

Tanto los Tanques Imhoff como los Filtros Anaerobios, no se deben lavar ni desinfectar después de haber extraído los lodos. La adición de desinfectantes u otras sustancias químicas perjudica su funcionamiento, lo cual no debe emplearse.

Al abrir la tapa de registro del sistema para hacer la inspección o la limpieza, se debe tener cuidado que el Filtro Anaeróbico se haya ventilado adecuadamente, pues los gases que se acumulan en él pueden causar explosiones o asfixia. Nunca deben usar cerillos, chisperos o antorchas para inspeccionar, esto podría ocasionarles severos daños.

El sistema de tratamiento está diseñado para recibir y degradar aguas residuales del área de matanza, las cuales poseen características particulares que permiten su degradación en las condiciones geométricas que posee el sistema. Por lo tanto, es conveniente no introducir sólidos ajenos al área en cuestión. Así mismo, deberá evitarse lanzar al sistema, sólidos de tamaño regular y de difícil degradación, (por ejemplo astillas de huesos u otras partes del desecho de la matanza como estiércol, que por sus características provocarían problemas de sobrecarga al sistema). El volumen útil del sistema de tratamiento está en correspondencia con el caudal de volumen de líquido estimado a utilizar durante la matanza de un día. Cualquier sobrecarga, por vertidos líquidos que no haya sido considerado en el diseño inicial, provocará daños en el sistema. No deberán verterse, en el sistema de tratamiento, las aguas pluviales que drenen en las inmediaciones del matadero. Los microorganismos responsables del proceso de degradación, requieren de condiciones ambientales mínimas para poder

vivir y reproducirse. La descarga al sistema de tratamiento de aguas con temperaturas por encima de 40°C provocará daños en el Tanque Imhoff y en el peor de los casos al Filtro Anaerobio.

3.7 PRESUPUESTO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

El presupuesto que se requiere para la implementación de las correcciones técnicas mencionadas en los ítems anteriores se detalla en la Tabla 26. Esta inversión permitirá mejorar la imagen visual del Camal a todos los usuarios, manteniendo una armonía con el medio ambiente.

Tabla No. 26: Presupuesto para Optimizar la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

ITEM	RUBROS	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Limpieza y Reforma				
	Limpieza de los tanques Imhoff	m ³	329.18	23,99	7900,00
	Excavación, desalojo, etc.				
	Reforma de la base en la cámara de digestión del tanque	m ³	112.00	18,90	2116,80
	Hormigón	m ²	162.00	2,30	372,60
	Aditivo, pegante de hormigón	m ²	291.60	1,20	350,00
	Subtotal				10739,40
3	Optimización de la Planta				
	Tanques Imhoff en serie	m	19.00	7,00	133,00
	Tubería				
	Cajas de revisión		60.00	2,00	120,00
	Subtotal				253,00
4	Construcción Filtros				
	Materiales Filtros	23.40 m ³	3.00	12,00	842,40
	Tanques	9.84 m ³	3.00	112,00	3.306,24
	Tapas de revisión		3.00	490,70	1.472,00
	Excavación para los tanques	m ³	190.00	3,64	692,64
	Subtotal				6.313,28
5	Bombas para lodos				
	Tuberías	6 m	6	1200,00	7200,00
	Accesorios		130.00	34,95	4543,28
	Construcción de caseta e instalaciones eléctricas para las bombas		600.00		600,00
		Subtotal		1500.00	
	Subtotal				13843,28
	Total				31.148,96

3.7.1 Factibilidad Económica

Para determinar la Factibilidad en la implementación de las instalaciones y la expansión de la Planta de tratamiento de aguas residuales, se ha considerado como valor de ingreso el aumento de costos de faenamiento de los ganados bovino, porcino y ovino que se realiza cada año, por cuanto de acuerdo a la Administración del Camal, existe un porcentaje de la tasa por concepto de tratamiento de aguas residuales. Así también se ha considerado el costo involucrado en la explotación de la planta de tratamiento y finalmente el Flujo de Caja, el mismo que se detalla en las siguientes tablas.

Tabla No. 27: Costos por Ventas de Faenamiento Anual para el Tratamiento de Aguas Residuales.

Ganado	Tarifa, USD	# ejemplares/año	% por Tratamiento	Total, (USD)
Bovino	10,5	38800	20	7760
Porcino	7,4	1100	20	220
Ovino	1,5	7000	20	1400
TOTAL, (USD)	19,4	46900	60	9380

Tabla No. 28 : Costo de Explotación y de Administración de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Costo de Explotación:	Parámetro
Obrero	2
Horas operación,(h/mes)	20
Sueldo Mensual, (USD)	150
Sueldo por Operación, (USD/mes)	37,5
Energía Eléctrica, (USD/KWH)	0,075
Funcionam. Bombas, (h/unid)	2
# Bombas	6
Consumo Bomba, (WKH/unid)	100
Costo Operación Bombas, (USD/mes)	90
Combustible, Gasolina, (gal/mes)	24
Costo Combustible, (USD/mes)	35,52
Chofer Volqueta, (USD/mes)	25
Análisis F-Q-Mic, (USD/mes)	50
Imprevistos	100
TOTAL, (USD)	338,02

Continúa...

Costo de Administración:	
Sueldo Administrador/mes	300
Dedicación Administrador, (h/mes)	20
Sueldo Administrador, (USD/mes)	37,5
Imprevistos	50
TOTAL (USD)	87,5

Una vez tomado en cuenta los Costos de Faenamiento y Costos de explotación y Administración de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales se define el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y Costo-Beneficio. El Valor Actual Neto (VAN) representa el valor actual de los beneficios netos por encima de los costos de oportunidad del dinero. Por consiguiente el VAN es un instrumento para la toma de decisiones sobre invertir o no en el proyecto, el criterio para la toma de decisiones es el siguiente:

- Si el Van > 0 El proyecto es atractivo y debe ser aceptado
- Si el Van = 0 Es indiferente entre realizar el proyecto o escoger otras alternativas
- Si el Van < 0 El proyecto no es atractivo y no vale invertir

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es aquella que iguala la suma de los flujos descontados a la inversión inicial, o, sea iguala el valor presente de los ingresos con el valor presente de los egresos. De la misma manera la relación Beneficio/Costo (R B/C) puede tener los siguientes valores:

- R B/C -> 1 Significa que el Van de los ingresos es superior al de los egresos y es atractivo
- R B/C = 1 Significa que el proyecto es indiferente
- R B/C < 1 Significa que el proyecto sería negativo y por lo tanto no es atractivo

Lo que genera la siguiente Tabla para el Flujo de Caja.

Tabla No. 29: Flujo de Caja para la Optimización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Camal Frigorífico Municipal Ambato

PARÁMETROS	AÑOS DE VIDA ÚTIL DEL PROYECTO										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión en Maquinarias y/o equipos	13843,28										
Inversión Terreno y Obra Física	17305,68										
Inversión Inicial	31148,96										
IMPUESTO SOBRE BENEFICIO	12,0%										
INGRESOS											
Venta de Productos	18901,5	19279,53	19665,1206	20058,42	20459,6	20868,78	21286,2	21711,9	22146,12	22589,042	
EGRESOS											
Costos de Producción	4056,24	4137,3648	4137,3648	4137,365	4137,36	4137,365	4137,36	4137,36	4137,365	4137,3648	
Costos de Administración	1050	1071	1071	1071	1071	1071	1071	1071	1071	1071	
Costos de Ventas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Costos Financieros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Depreciación	1245,9	1245,9	1245,9	1245,9	1245,9	1245,9	1245,9	1245,9	1245,9	1245,9	
Total	6352,14	6352,14	6352,14	6352,14	6352,14	6352,14	6352,14	6352,14	6352,14	6352,14	
Beneficio Antes de Reparto	12549,36	12549,36	12549,36	12549,36	12549,4	12549,36	12549,4	12549,4	12549,36	12549,36	
Impuestos	1505,9232	1505,9232	1505,9232	1505,923	1505,92	1505,923	1505,92	1505,92	1505,923	1505,9232	
Depreciación	1245,9	1245,9	1245,9	1245,9	1245,9	1245,9	1245,9	1245,9	1245,9	1245,9	
Amortización de Activos Nominal	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Beneficio Neto	12289,3368	12289,3368	12289,3368	12289,34	12289,3	12289,34	12289,3	12289,3	12289,34	12289,337	
	-31148,96	12289,3368	12289,3368	12289,3368	12289,34	12289,3	12289,34	12289,3	12289,3	12289,34	12289,337
VAN IN	10.972,6	9.797,0	8.747,3	7.810,1	6.973,3	6.226,2	5.559,1	4.963,5	4.431,7	3.956,8	
VAN EG	5.671,6	5.063,9	4.521,3	4.036,9	3.604,4	3.218,2	2.873,4	2.565,5	2.290,6	2.045,2	

El resumen de la tabla se obtuvo a través de las siguientes ecuaciones:

$$VAN = \frac{BNt}{(1+i)^t} - lo \quad (21)$$

En donde: BNt = Beneficio neto hasta el año t
 Bt = Beneficio bruto hasta el año t
 Ct = Costos totales hasta el año t
 t = Intervalo de tiempo (1,2,3,...n)
 n = Último año de vida útil del proyecto
 lo = Inversión del año cero

$$TIR(\text{int erpolada}) = tm + (tM - tm) \left(\frac{VANtm}{VANtm - VANtM} \right) \quad (22)$$

En donde: tm = tasa menor
 tM = tasa mayor
 VAN = Valor Actual Neto

$$RB/C = \frac{\sum_{i=0}^n \frac{BNt}{(1+i)^n}}{\sum_{i=0}^n \frac{Ct}{(1+i)^n} + lo} = \frac{VAN_{Ingresos}}{VAN_{Egresos}} \quad (23)$$

En donde: BNt = Beneficio neto hasta el año t
 Ct = Costos totales hasta el año t
 t = Intervalo de tiempo (1,2,3,...n)
 n = Último año de vida útil del proyecto
 lo = Inversión del año cero

De acuerdo a los parámetros económicos, la ejecución de la presente expansión es factible realizarlo, con un Valor Actual Neto (VAN) de 38.288,53, una Tasa Interna de Retorno equivalente al 37,86 %, y la relación Beneficio/Costo de 1,036 con un periodo de retorno del capital igual a 2.5 años.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES

Una vez finalizada la presente investigación se ha llegado a las siguientes conclusiones.

En los parámetros de diseño utilizados por la empresa Ingecon para el dimensionamiento de los tanques Imhoff existe un sobredimensionamiento de 2.4 veces, según el presente estudio la generación de agua residual diario llega a 165.15 m³/d. La instalación física no cumple con los parámetros estándares de diseño en cuanto a la forma de la cámara de digestión y no cuenta con un sistema de remoción de lodos (Ver tablas 5, 6 y 7).

En el afluente, la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días es superior en 21.2 % con respecto a los parámetros de diseño de la empresa Ingecon. El tanque Imhoff logra una remoción promedio de 53.34 % de DBO₅, 56.36 % de DQO, 51.7 % de S.S.T., 58.5 % de S.S.V., 58.2 % de Sólidos suspendidos, el 84.20 % de Sólidos sedimentables, así como también el 60.7 % de Nitrógeno amoniacal, 49 % de coliformes fecales y 52.4 % de coliformes fecales. En lo referente al efluente, la Demanda Bioquímica de Oxígeno a cinco días es superior en 6.1 veces a lo esperado por Ingecon y 3.6 veces mayor en comparación a la Normativa Ambiental (Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria - LIBRO VI).

No se cumple la hipótesis planteada por cuanto las instalaciones no logran la remoción de la DBO₅ hasta que el efluente llegue a 60 mg/L.

Es necesario realizar las adecuaciones estructurales para facilitar la remoción de lodos cambiando la base de la cámara de digestión a forma triangular e implementar un sistema para retirar el lodo hasta un silo, así como también colocar los deflectores de grasa. A continuación se debe instalar Filtros Anaerobios para conseguir la remoción de parámetros contaminantes con respecto al afluente de la planta de faenamiento en 94 % en DBO₅, y en 77 % de DQO, llegando a los valores propuestos en el diseño original de los Tanques Imhoff y la Normativa Ambiental (Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria - LIBRO VI).

Una vez realizado el estudio de Factibilidad Económica, se concluye que los parámetros económicos para la ejecución de expansión de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales es posible hacerlo teniendo un VAN de 38.288,53 lo que significa que está por encima de los costos de oportunidad del dinero, esto quiere decir que el proyecto es atractivo y por lo tanto debe ser aceptado. De la misma manera el valor del TIR está en un equivalente al 37,86 %, es decir igual a suma de los flujos descontados con la inversión inicial. Con la Relación Beneficio/Costo de 1,036 es atractivo ya que supera al VAN de los ingresos, es decir que de cada dólar invertido se estará ganando 0,036 dólares teniendo así una recuperación de la inversión realizada en un periodo no menor de 2.5 años.

Con las mejoras e implementaciones que se han propuesto para la planta de tratamiento de aguas residuales industriales se logrará que el efluente del Camal Frigorífico Municipal sea menos contaminado, de esta manera está contribuyendo a la conservación del medio ambiente.

RECOMENDACIONES

A medida que se realizó la investigación, durante el desarrollo se observó que hay parámetros que están fuera del alcance del proyecto por lo que se realiza las siguientes recomendaciones:

Se recomienda que la retención de sólidos tales como rúmen y estiércol se lleve a cabo al 100 %, de ésta manera la planta de tratamiento se vuelve más eficiente y el tiempo de remoción de lodos se alarga.

En la actualidad la sangre que se genera en el faenamiento forma parte del agua residual, por lo que se recomienda que se desarrollen proyectos con miras a aprovechar este subproducto, por cuanto éste presenta un valor agregado que se elimina.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. AID. Manual para el Diseño, Operación y Mantenimiento de Tanques Sépticos. México. 1972.
2. APHA, AWWA, WPCF, Estándar Methods for the Examination of Water and Wastewater 19ª. Edición USA. 1995.
3. AREVALO, L.G. Compostaje de Grasas y Lodos Generados en PTAR. Universidad Nacional de Colombia. 1998.
4. BALLADARES, M. Evaluación del Sistema de Aguas Residuales del Matadero Municipal de Boaco. Inifon/Nic/95/017. 170 p.
5. BALLADARES, M. “Rellenos sanitarios y tratamiento de residuos líquidos de mataderos municipales”.<http://www.cepis.ops-ms.org/eswww/fulltext/resisoli/rellenos/rellenos.html>. Actualizado el 02/25/2002.
6. BENEFIELD, L. D., y RANDALL, C. Diseño de Procesos Biológicos para Tratamientos de Aguas Residuales. Editorial Prentice Hall. Englewood Cliffs, NJ. 1980.
7. BIGESDA. Instalaciones Sanitarias – Alcantarillado Sanitario, Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales. Bolivia. Diciembre 2001. (Norma Boliviana NB 688). Publicidad Génesis. Impreso en la Paz. 106 p.
8. CALDAS, A. Planificación Financiera. Editorial AFEFCE. Quito – Ecuador. 2001. pp. 173 - 178
9. CARUZO, M. Industrias Cárnicas, Residuos, su Tratamiento y Prevención de la Contaminación. Editorial Acribia. Zaragoza España. 1999. pp. 12-50.

10. CEPIS. Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial". www.cepis.org.pe Actualizado el 02/19/2002
11. CISNEROS, J. Manual de Bombas. Primera edición. Imprenta Juvenil. Editorial Blume. Barcelona. 1977. pp. 189-192.
12. Código de Buenas Prácticas Ambientales. Editorial Limusa. México. 1995. pp. 47-67, 89-112.
13. CRITES, R y TCHOBANOGLIOUS, G. Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones. Editorial McGraw Hill. Colombia. 2000. pp. 241-342.
14. DE ZEEUW, W. Diseño, Arranque y Operación de los Procesos Anaerobios. Universidad de los Andes. Colombia. 1996.
15. Documentación Técnico Normativa del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS). Sección 2 título E. Resolución No. 1096. Noviembre 2000. Santa Fé de Bogotá. Publicado por Min-Desarrollo.
16. DOMINGUEZ, P. Apuntes del Curso Impactos Ambientales. 2001. pp. 1-10.
17. DROSTE, R.L. Teoría y Práctica del Agua y Tratamiento de Aguas Residuales. Editorial Wiley. 1997. pp. 34-78, 100-145.
18. FAIR, G. Abastecimiento de Agua y Remoción de Aguas Residuales. Tomo I. Editorial Limusa. México. 1980. pp. 4, 29-40.
19. FERNANDEZ-ESCARTIN, E. Microbiología Sanitaria. Agua y Alimentos. Universidad de Guadalajara. México. 1981. pp. 173-349.
20. FERNANDEZ, G. FREY, G. Taller sobre Minimización de Residuos y Producción mas Limpia en América Latina y el Caribe. Mexico. D.F. 1995. pp. 80-90, 120-140.

21. FORREST, J.C; et al. Microbiología. Fundamentos de Ciencia de la Carne. Alteración y Contaminación de la Carne. Editorial Acribia. Barcelona. 1979. pp. 197-220.
22. FUNDACIÓN NATURA. Potencial Impacto Ambiental de las Industrias del Ecuador, Exploración Preliminar y Soluciones. Quito. 1991.
23. Guía para el Control y Prevención de la Contaminación Industrial. Santiago. 1998.
24. GRUPO ASISTE. "Contaminación de Agua". <http://asiste.itgo.com/1.htm> 2002.
25. HAMMER, M. y MacKICHAN, K. Recursos, Hidrología y Calidad del Agua. Editorial Wiley. 1981.
26. HERNANDEZ, A. Depuración de Aguas Residuales. 4^{ta} Edición. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. España. 1998.
27. HERNANDEZ, A. Manual de Depuración Uralita. Sistemas para Depuración de Aguas Residuales en Núcleos de hasta 20.000 habitantes. Editorial Paraninfo. Uralita Productos y Servicios. 1995. pp. 14-25, 36-58.
28. HIGGINS, I. J., y BURNS, R. La Química y Microbiología de la Contaminación. Editorial Academic. Londres. 1980. pp. 32-59.
29. HORWITZ, W. Official Methods of Analysis of the Asociation of Official Analytical Chemist. 13^{va}. Edición. USA. 1980.
30. INGECON. Ingenieros Consultores. Camal Municipal de Ambato. Estudio de Factibilidad y Diseño Definitivo. Memorias. 1994. pp. 1-38, 40-56.
31. JARAMILLO, J. Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales. OPS-OMS. Serie técnica 28. Septiembre 1991.

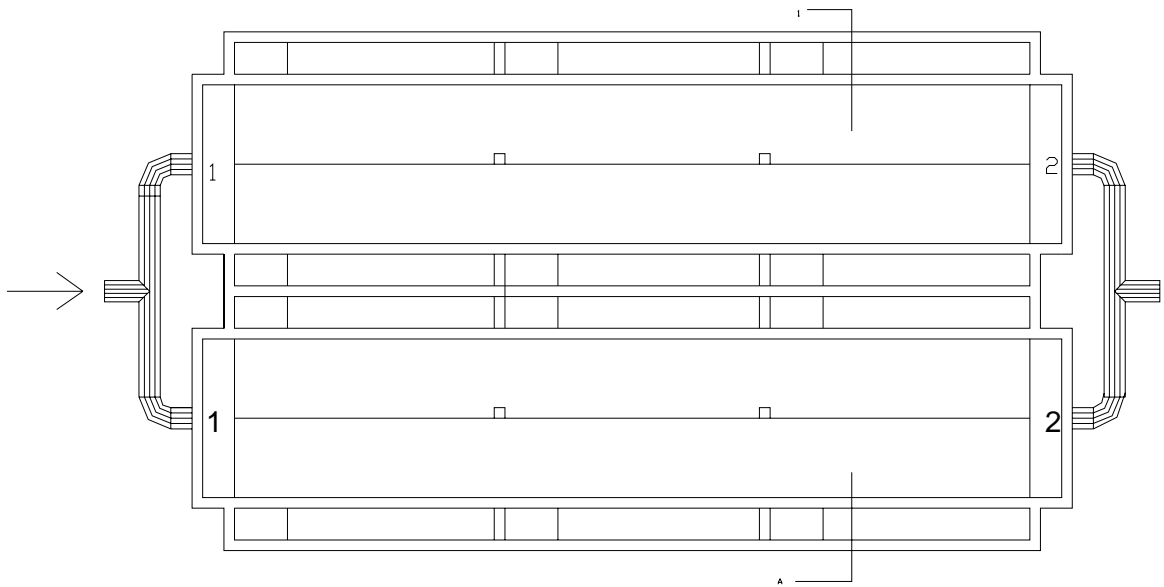
32. KARASSIK, I; KRUTZCCH, W; FRASER, W. Manual de Bombas, Diseño, Aplicación, Especificaciones, Operación y Mantenimiento. Editorial McGraw Hill. México. 1983. pp. 6.84-6.86, 6.101-6.109,6.169-6.181.
33. LACAYO, D; BALLADARES, M. Sistema De Tratamiento de Aguas Residuales del Matadero Municipal de Rivas. Memoria de cálculo y Manual Básico de Operación. Inifon/Nic/95/017. 180 p.
34. LEON, G. Implementación del Sistema de Gestión Ambiental para Residuos Líquidos en Camal Frigorífico Municipal Riobamba. Tesis de Maestría en Protección Ambiental. 2003.
35. LETTINGA, G. y HULSHOFF POL, L.W. UASB. Procesos de Diseño para varios tipos de Aguas Residuales. Volumen 24. No. 8. 1991. pp. 1-24.
36. LOPEZ, N. Sistema De Tratamiento de Aguas Residuales del Matadero Municipal de Matagalpa. Memoria de Cálculo y Manual Básico de Operación. Nic/94/032. 120 p.
37. McCARTY, P. Fundamentos del Tratamiento Anaeróbico de Desechos. Editorial Public Works. Vol. 95. 1975. pp. 8-12.
38. Maestría en Protección Ambiental. Módulo Impactos Ambientales. Trabajo investigativo en el Camal Municipal de Riobamba. 2001.
39. Manual para Inspectores Sanitarios de Mataderos y Plantas Procesadoras de Carnes. Centro Panamericano de Zoonosis. OPS. 1980. pp. 13, 23-34
40. METCALF & EDDY, INC. Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Tercera Edición. Volumen I y II. McGraw-Hill. España. 1995.
41. NARVAEZ, C. Fundamentos de Calidad del Agua. Cuaderno Técnico. EPN. 2000. pp.10-22

42. OIKOS, Corporación. Emisiones, Efluentes y Residuos Sólidos Industriales. Quito. 1999. pp. 13-24.
43. OROZCO, A; GIRARDO, E. Tratamiento Anaerobio de las Aguas Residuales. Editorial Prentice Hall. Bogotá. Colombia. 1986. pp. 21-45.
44. PORTERO, S. y MONTENEGRO, W. Desarrollo del Sistema de Gestión Ambiental al Camal Frigorífico Municipal Riobamba. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental UNACH. 2000.
45. RICH, L.G. Procesos Unitarios de Ingeniería Sanitaria. Editorial Wiley. 1974.
46. ROMERO, J. A. Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de diseño. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. Colombia. 2002.
47. ROMO, L. Métodos de Experimentación Científica. Editorial Universitaria. Quito-Ecuador. 1973. pp. 95 – 303.
48. SALAZAR D., Guía para el Manejo de Excretas y Aguas Residuales Municipales. PROARCA/SIGMA. pp. 43, 54-56, 80.
49. SALTOS, H.A., Diseño Experimental. Editorial Pio XII. Ambato - Ecuador. pp. 116.
50. SECTIMA – CPRH. Manual Técnico No. 1. Norma Técnica Brasileña. Dimensionamiento de Tanques E Unidades básicas complementares.. Editorial CLÃ comunicação. Segunda Edición . o 2004. 51p
51. SOUZA, M. Criterios para la utilización, diseño y operación de los reactores UASB. Ciencia y Tecnología del Agua. Vol. 18, No. 12, 1997, pp. 55-69.
52. SPEECE, R. Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewater Treatment. Environmental Science and Technology. Vol. 17. No. 9. 1983.

53. Trabajo de Investigación. Muestreo de Ríos, Lagos y Efluentes Industriales. Maestría en Protección Ambiental. Riobamba. 2000.
54. YAULEMA, F. Química del Agua. Cuaderno técnico. ESPOCH. 2000. pp. 27-31, 89-104.
55. YOUNG, JC. Y McCARTY P.L. Los Filtros Anaeróbicos para el Tratamiento de Desechos. Editorial WPCF. Vol. 41 No. 5. 1971.

ANEXOS

ANEXO 1: Puntos de Muestreo para la Caracterización del Agua Residual en el tanque Imhoff



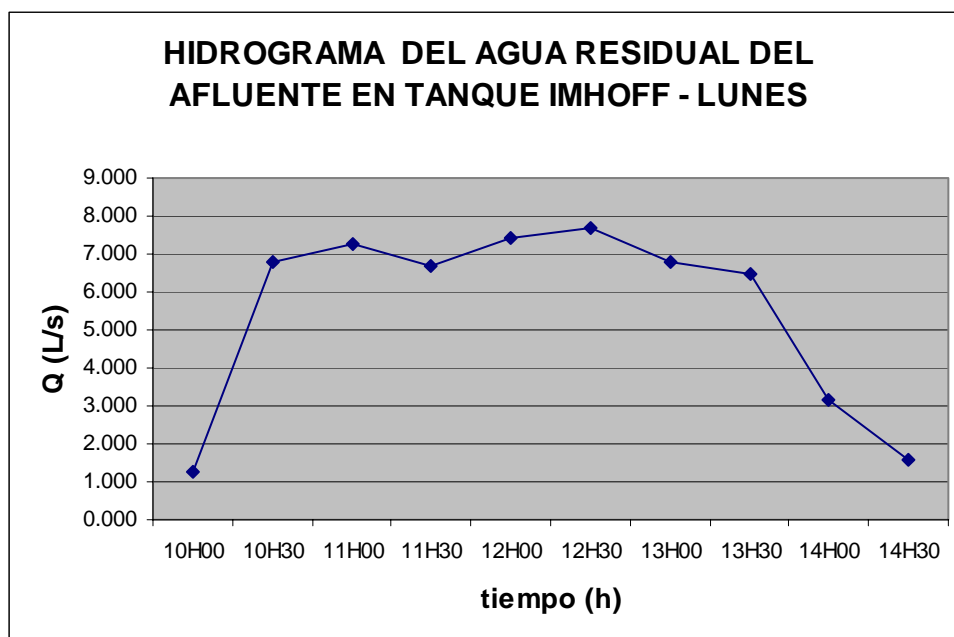
1: Afluente

2: Efluente

Anexo 2: Hidrogramas del Caudal de Aguas Residuales en la Semana de Muestreo

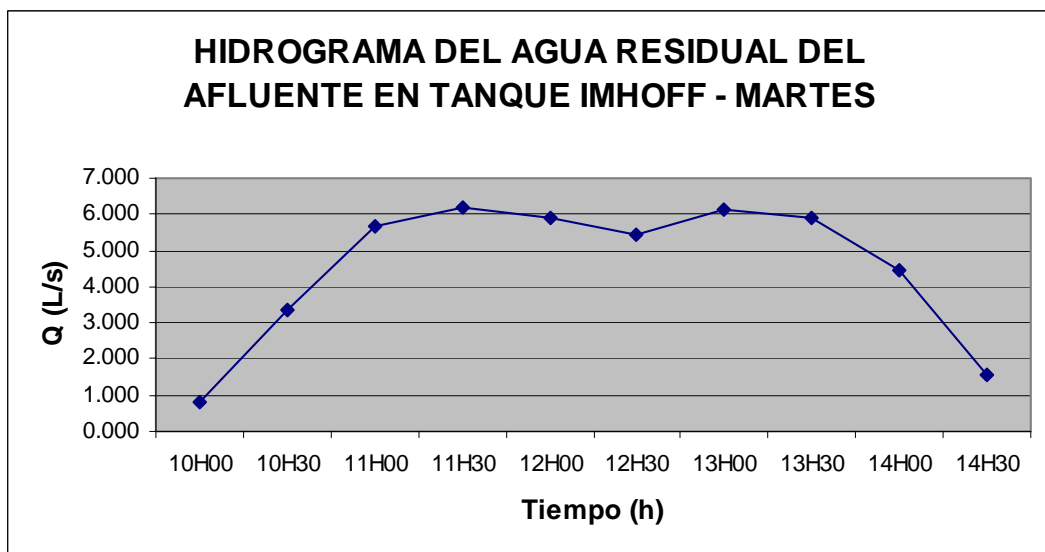
Anexo 2-a: Hidrograma de las Aguas Residuales del Afluente en el Tanque Imhoff - Lunes

Hora	Q (L/s)
10H00	1.270
10H30	6.795
11H00	7.249
11H30	6.703
12H00	7.409
12H30	7.697
13H00	6.774
13H30	6.492
14H00	3.175
14H30	1.568
Máximo	7.697
Promedio	5.513
Mínimo	1.270



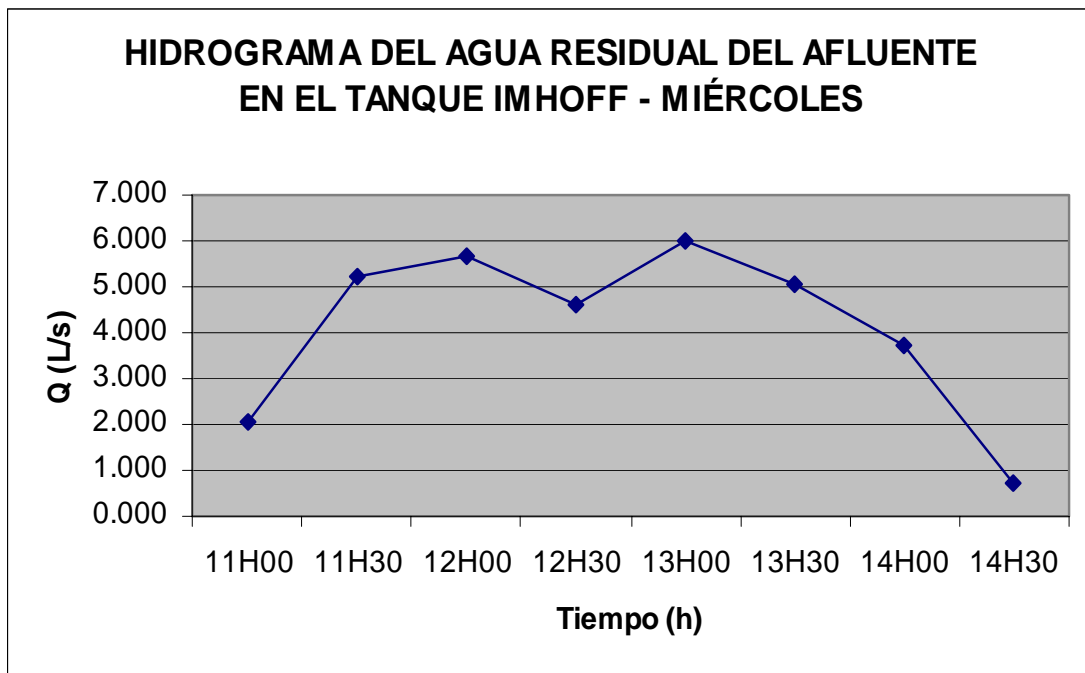
Anexo 2-b: Hidrograma de las Aguas Residuales del Afluyente en el Tanque Imhoff – Martes

Hora	Q (L/s)
10H00	0.806
10H30	3.352
11H00	5.645
11H30	6.209
12H00	5.880
12H30	5.443
13H00	6.115
13H30	5.927
14H00	4.456
14H30	1.552
Máximo	6.209
Promedio	4.539
Mínimo	0.806



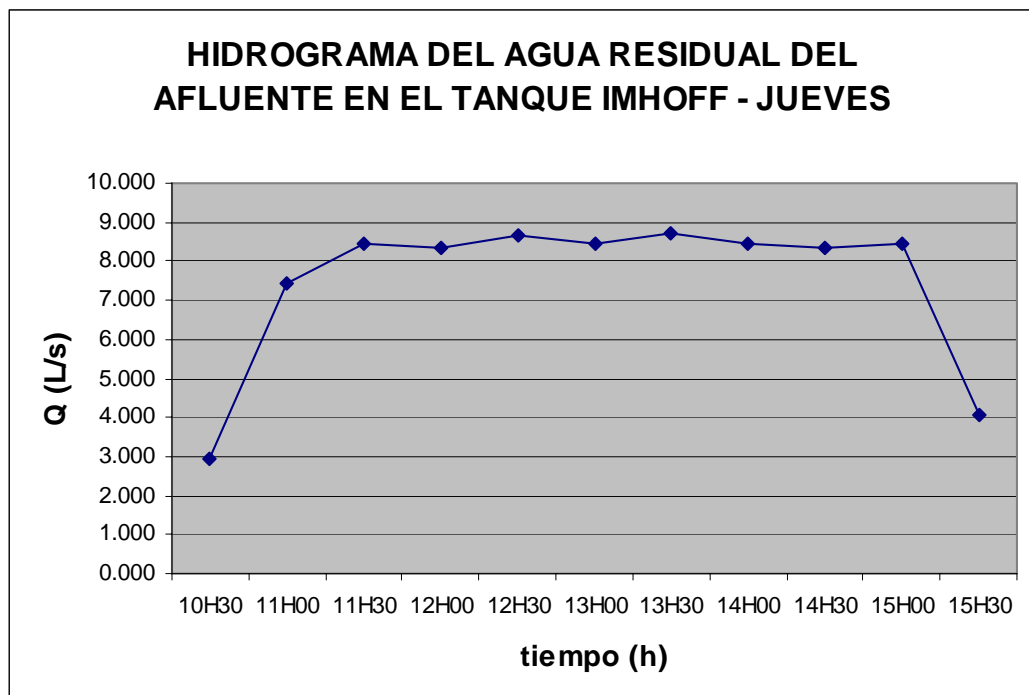
Anexo 2-c: Hidrograma de las Aguas Residuales del Afluyente en el Tanque Imhoff – Miércoles

Hora	Q (l/s)
11H00	2.038
11H30	5.242
12H00	5.645
12H30	4.618
13H00	5.998
13H30	5.051
14H00	3.714
14H30	0.706
Máximo	5.998
Promedio	4.126
Mínimo	0.706



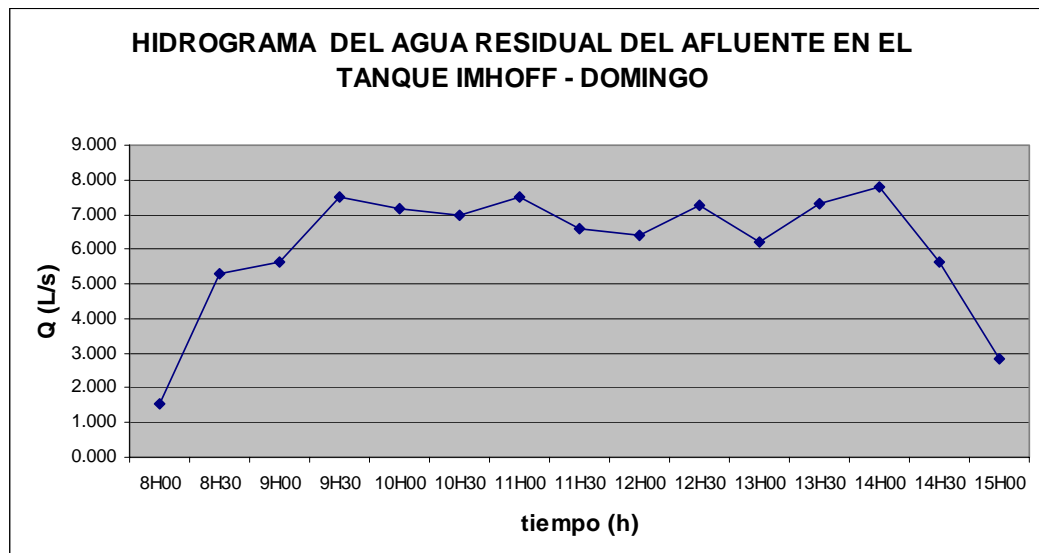
Anexo 2-d: Hidrograma de las Aguas Residuales del Afluente en el Tanque Imhoff – Jueves

Hora	Q (l/s)
10H30	2.940
11H00	7.409
11H30	8.467
12H00	8.319
12H30	8.655
13H00	8.467
13H30	8.702
14H00	8.467
14H30	8.319
15H00	8.467
15H30	4.077
Máximo	8.702
Promedio	7.821
Mínimo	2.940



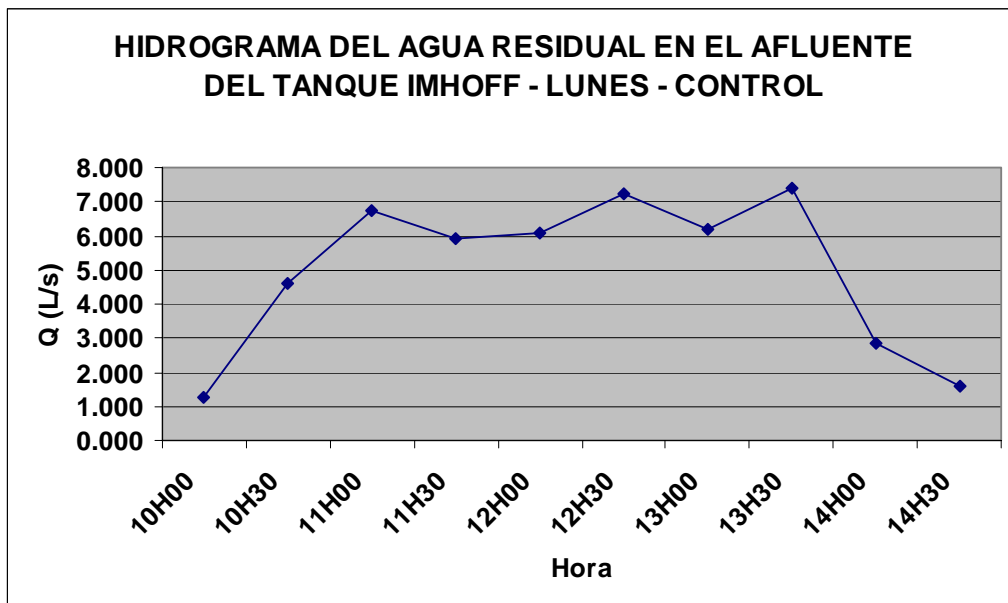
Anexo 2-e: Hidrograma de las Aguas Residuales del Afluyente en el Tanque Imhoff - Domingo

Hora	Q (l/s)
8H00	1.529
8H30	5.292
9H00	5.645
9H30	7.526
10H00	7.150
10H30	6.989
11H00	7.526
11H30	6.586
12H00	6.415
12H30	7.284
13H00	6.209
13H30	7.338
14H00	7.795
14H30	5.645
15H00	2.822
Máximo	7.795
Promedio	6.461
Mínimo	2.822



Anexo 3: Hidrograma de las Aguas Residuales del Afluyente en el Tanque Imhoff – Día de Control

Hora	Q (L/s)
10H00	1.270
10H30	4.586
11H00	6.766
11H30	5.942
12H00	6.076
12H30	7.216
13H00	6.174
13H30	7.392
14H00	2.861
14H30	1.568
Máximo	7.392
Promedio	4.985
Mínimo	1.270



Anexo 4: Normativa Ambiental (Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria - LIBRO VI: Anexo 1)

4.2.3 Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor: Agua dulce y agua marina

4.2.3.1 Los puertos deberán contar con un sistema de recolección y manejo para los residuos sólidos y líquidos provenientes de embarcaciones, buques, naves y otros medios de transporte, aprobados por la Dirección General de la Marina Mercante y la Entidad Ambiental de Control. Dichos sistemas deberán ajustarse a lo establecido en la presente Norma, sin embargo los municipios podrán establecer regulaciones más restrictivas de existir las justificaciones técnicas.

4.2.3.2 Se prohíbe todo tipo de descarga en:

Las cabeceras de las fuentes de agua.

Aguas arriba de la captación para agua potable de empresas o juntas administradoras, en la extensión que determinará el CNRH, Consejo Provincial o Municipio Local y,

Todos aquellos cuerpos de agua que el Municipio Local, Ministerio del Ambiente, CNRH o Consejo Provincial declaren total o parcialmente protegidos.

4.2.3.3 Los regulados que exploren, exploten, refinan, transformen, procesen, transporten o almacenen hidrocarburos o sustancias peligrosas susceptibles de contaminar cuerpos de agua deberán contar y aplicar un plan de contingencia para la prevención y control de derrames, el cual deberá ser aprobado y verificado por la Entidad Ambiental de Control.

4.2.3.4 Las normas locales para descargas serán fijadas considerando los criterios de calidad establecidos para el uso o los usos asignados a las aguas. Las normas guardarán siempre concordancia con la norma técnica nacional vigente, pudiendo ser únicamente igual o más restrictiva y deberán contar con los estudios técnicos y económicos que lo justifiquen.

En los tramos del cuerpo de agua en donde se asignen usos múltiples, las normas para descargas se establecerán considerando los valores más restrictivos de cada uno de los parámetros fijados para cada uno.

4.2.3.5 Para el caso de industrias que capten y descarguen en el mismo cuerpo receptor, la descarga se hará aguas arriba de la captación.

4.2.3.6 Para efectos del control de la contaminación del agua por la aplicación de agroquímicos, se establece lo siguiente:

Se prohíbe la aplicación manual de agroquímicos dentro de una franja de cincuenta (50) metros, y la aplicación aérea de los mismos, dentro de una franja de cien (100) metros, medidas en ambos casos desde las orillas de todo cuerpo de agua,

La aplicación de agroquímicos en cultivos que requieran áreas anegadas artificialmente, requerirá el informe y autorización previa del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Además de las disposiciones contenidas en la presente Norma, se deberá cumplir las demás de carácter legal y reglamentario sobre el tema, así como los listados referenciales de la Organización para la Agricultura y Alimentos de Naciones Unidas (FAO).

4.2.3.7 Toda descarga a un cuerpo de agua dulce, deberá cumplir con los valores establecidos a continuación (ver tabla 12).

TABLA 12. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	NO DETECTABLE
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	Nmp/100 ml		¹ Remoción > al 99,9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos	Fenol	mg/l	0,2

¹ Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
fenólicos			
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0

Continua...

TABLA 12. LÍMITES DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

* La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida.