

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química

Diseño de una planta de tratamiento de aguas
residuales de un rastro en Guatemala

Trabajo de graduación presentado por María Elena Urizar
Valdez para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Química

Guatemala
2006

Diseño de una planta de tratamiento de aguas
residuales de un rastro en Guatemala

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química

Diseño de una planta de tratamiento de aguas
residuales de un rastro en Guatemala

Trabajo de graduación presentado por María Elena Urizar
Valdez para optar al grado académico de Licenciado en
Ingeniería Química

Guatemala
2006

Vo.Bo.:

(f) _____
Ingeniero Jaime Rosales Solórzano

Tribunal:

(f) _____
Ingeniero José Eduardo Calderón

(f) _____
Ingeniero Jaime Rosales Solórzano

(f) _____
Ingeniero Jorge Luis Muñoz

Fecha de aprobación: 4 de enero del 2007

Agradezco a:

Dios

Mis padres y hermanos

Todos los que me han apoyado

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es desarrollar el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales de un matadero para eliminar los desechos animales después del sacrificio y reducir los contaminantes que se arrojan a ríos, lagos y lagunas.

Se dimensionó los equipos necesarios para pretratamiento (debaste, tanque de homogenización), tratamiento primario (flotación por aire disuelto) y tratamiento secundario (reactor RAFA), con lo que se logró remoción de grasas y aceites del 90 %, de DBO y DQO de 93.5 % y de sólidos suspendidos 87.5 %. La planta de tratamiento presenta un bajo costo de operación, baja producción de lodos y genera biogás (26.31 E 6 kJ / día), que puede ser reutilizado o comercializado.

Se realizó un análisis económico de la planta que presenta una inversión de costos de construcción, instalación y puesta en marcha de Q 4,066,278.93. La Tasa Interna de Retorno (TIR) es 46 % y el Valor Actual Neto (VAN) Q 10,171,506.83. El Tiempo de Recuperación de la inversión es dos años y 26 días.

Se concluyó que la flotación presenta ventajas ante la coagulación y la sedimentación, además que el tratamiento anaerobio presenta ventajas económicas ante el tratamiento aerobio, ya que requiere menos espacio y tiene bajos costos de operación.

ABSTRACT

The objective of this work is to develop the design of a wastewater treatment plant of a slaughter house to eliminate the residues remaining after the sacrifice and to reduce the polluting agents that are thrown to rivers, lakes and lagoons.

The determination of required dimensions and equipment was made for preliminary treatment (sieves, grids and equalization tank), primary treatment (dissolved air flotation) and secondary treatment (UASB reactor), with which was obtained removal of fats and oils of 90 %, of BOD and COD of 93.4 % and of suspended solids 87.50 % The treatment plant presents a low cost of operation, low sludge production and generates biogas (26.31 E 6 kJ / day), that can be reused or commercialized.

An economic analysis of the plant was made presenting an investment (construction, installation) of Q 4,066,278.93. The Internal Rate of Return (IRR) is 46 % and the Net Present Value (NPV) Q10,171,506.83. The time of recovery of the investment is two years and 26 days.

One concluded that the flotation presents advantages against the coagulation and the sedimentation, in addition that anaerobic treatment presents economic advantages against the aerobic treatment, since it requires less space and it has low costs of operation.

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE CUADROS.....	x
LISTA DE ILUSTRACIONES	xiii
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES	2
A. Impacto de regulaciones en la ingeniería de las aguas residuales.....	2
B. Características de las aguas residuales	2
C. Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica.....	3
D. Necesidades de infraestructura	3
E. Opciones de tratamiento.....	4
F. Contaminación por residuos y emisiones en Guatemala	5
G. Aguas residuales en Guatemala	5
H. Métodos de tratamiento.....	6
I. Procesos de tratamiento (generalidades).....	7
J. Fases y sistemas de tratamiento	7
K. Sistemas de tratamiento primario (físico).....	8
L. Tratamiento primario (fisicoquímico)	10
M. Sistemas de tratamiento secundario (biológico).....	13
N. Legislación.....	14

1.	Legislación y reglamentación ambiental	14
2.	Evacuación de efluentes y aguas residuales	15
3.	Disposiciones legales (Artículo 4o.).....	15
4.	Disposiciones legales (Art. Del criterio a utilizarse para la autorización y el control sanitario del funcionamiento (Artículo 5o.)	15
Ñ.	Características del agua residual de la planta.....	16
O.	Descripción de la planta.....	17
1.	Pretratamiento o tratamiento preliminar	17
a.	Debaste (rejillas o tamices).....	18
b.	Tanque de regulación.....	20
2.	Tratamiento primario	21
a.	Tanque de flotación (digestor aerobio)	21
3.	Tratamiento secundario.....	24
a.	Tratamientos anaeróbicos.....	24
III.	JUSTIFICACIÓN.....	31
IV.	OBJETIVOS.....	32
A.	Objetivo general.....	32
B.	Objetivos específicos.....	32
V.	PROBLEMA A RESOLVER	33
VI.	METODOLOGÍA.....	34
VII.	RESULTADOS.....	35
A.	Diagrama de flujo de la planta	35
B.	Balances.....	36
1.	General	36
2.	Debaste.....	36

	3. Tanque de homogenización	37
	4. Tanque de flotación	37
	5. Reactor RAFA	38
C.	Equipo	40
	1. Debaste	40
	2. Tanque de homogenización	42
	3. Tanque de flotación	44
	4. Reactor RAFA	47
D.	Datos económicos	50
E.	Distribución de la planta	51
VIII.	DISCUSIÓN	52
IX.	CONCLUSIONES	59
X.	RECOMENDACIONES	60
XI.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
XII.	APÉNDICE	63
	A. Parámetros de efluentes de mataderos	63
	B. Análisis económico	67
	C. Cálculos realizados	70
XIII.	GLOSARIO	81

LISTA DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Agua generada y parámetros requeridos.....	17
2. Características de rejillas de barras.....	18
3. Valores de A/S para diferentes presiones de operación a 20 ° C.....	24
4. Balance para el debaste.....	36
5. Balance para la igualación.....	37
6. Balance para la flotación.....	37
7. Balance para el reactor RAFA.....	39
8. Distribución de concentraciones teóricas de DQO.....	39
9. Características del sistema de aireación.....	40
10. Características técnicas para el kit de electrobombas sumergibles.....	41
11. Ecuilización y homogenización.....	42
12. Características del sistema de aireación.....	43
13. Datos del tanque de flotación.....	44
14. Características técnicas de la unidad de flotación.....	46

Cuadro	Página
15. Reactor RAFA	47
16. Cuadro de control y maniobra	49
17. Resultados económicos.....	50
18. Carga contaminante de residuos de matadero.....	64
19. Características del efluente de mataderos.....	64
20. Composición típica de residuos líquidos en mataderos y plantas de procesamiento de carnes	65
21. Concentraciones de contaminantes en residuos líquidos de mataderos	66
22. Diámetro de tuberías	66
23. Fecha máxima de cumplimiento para alcanzar los parámetros establecidos por la ley de aguas.....	66
24. Costos de construcción e instalación.....	67
25. Montaje... ..	67
26. Planilla	68
27. Porcentajes utilizados para el cálculo de salarios y prestaciones	68
28. Flujo de caja del proyecto	69
29. Valor Actual Neto	69

Cuadro	Página
30. Carga de DQO para reactores UASB	73
31. Flujo de caja.....	77

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración	Página
1. Cisterna de sedimentación de corriente horizontal.....	10
2. Cisterna de sedimentación de corriente vertical.....	11
3. Esquema del sistema de pre-tratamiento -sistema de rejillas inclinadas	19
4. Rejas de limpieza manual.....	19
5. Esquema del tratamiento secundario -filtro anaerobio de flujo ascendente-.....	25
6. Etapas bioquímicas de cualquier proceso anaeróbico -reactores anaeróbicos o biodigestores.....	26
7. Diagrama esquemático de un reactor anaeróbico de flujo ascendente	27
8. Paso del afluente en el reactor RAFA	28
9. Diagrama de flujo de la planta.....	35
10. Balance general	36
11. Reactor RAFA	38
12. Tamiz de tornillo T.T.400/3	41

Ilustración	Página
13. Tanque de homogenización	42
14. Ecuador con mecanismo de agitación	42
15. Soplador de aire	44
16. Instalación del soplador	44
17. Esquema del FAD.....	45
18. Reactor UASB	50
19. Distribución de la planta	51
20. Tratamiento de las aguas residuales en industrias cárnicas	63
21. Gráfica del tiempo de recuperación	80

I. INTRODUCCIÓN

En el ámbito mundial existe el grave problema de la disposición de las aguas residuales generadas en centros urbanos e industriales, por lo cual se han estudiado métodos para conservar los recursos naturales, cuidarlos y recuperarlos ya que son de suma importancia para el ser humano.

En el caso de los mataderos, el uso liberal del agua origina grandes cantidades de aguas servidas. La descarga directa de éstas sin tratar sobre el agua superficial o sobre el sistema de alcantarillado público causa malos olores, pobreza de oxígeno en el agua y problemas sanitarios y medioambientales.

Para ser desechadas las aguas residuales necesitan ser tratadas previamente, de manera tal que puedan ser adecuadas para su ubicación en las respectivas redes de vertido, o sistemas naturales tales como lagos, ríos, etc.

Este trabajo proporcionará el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro en Guatemala, diseñada para remover los niveles contaminantes de parámetros tales como: aceites y grasas, sólidos suspendidos, microorganismos patógenos, entre otros.

El diseño se obtendrá partiendo de las características de las aguas residuales del matadero, determinadas con base a tablas. A partir de los parámetros de las aguas residuales a tratar, se diseña un sistema de tratamiento que incluya un pretratamiento (rejas y trampas de grasas), un tratamiento primario (físico o físico-químico) y un tratamiento secundario (biológico).

En el inicio del trabajo se presenta una introducción al tema de tratamiento de aguas residuales. Luego se expone un marco teórico, en la sección de antecedentes, donde se pone al lector en contacto con temas como: características de las aguas residuales, tratamiento de las mismas en Latinoamérica y Guatemala, opciones de tratamiento, sistemas de tratamiento primario y secundario y por último la parte legal que se maneja en Guatemala.

Seguido de esto se justifica la necesidad y ventajas que implica el diseño de la planta en cuestión y a continuación se establecen los objetivos que se pretenden cumplir. De igual manera se describe la metodología a seguir durante el proceso de ejecución del trabajo. Posteriormente se presentan los resultados obtenidos durante la etapa de diseño del equipo y el análisis económico. Sobre los resultados se discuten los aspectos más relevantes encontrados y finalmente se concluyen y se dan ciertas recomendaciones al respecto. Por último, se encuentra un apéndice, en el cual se presentan datos para validar los cálculos realizados, resultados intermedios obtenidos, así como los principales cálculos realizados.

II. ANTECEDENTES

A. Impacto de regulaciones en la ingeniería de las aguas residuales

A partir de los 1900 hasta principios de los 70's, los objetivos del tratamiento de aguas, fueron referidos sobre todo a la remoción de material coloidal, suspendido y material flotante; al tratamiento de orgánicos biodegradables; a la eliminación de organismos patógenos. La implementación de las enmiendas federales del control de la contaminación del agua de 1972 (derecho público 92-500), en Estados Unidos, impulsó a cambiar el tratamiento de aguas residuales para obtener agua de mejor calidad, desafortunadamente estos objetivos no fueron resueltos.

A partir de principios de los 70's hasta los 80's, los objetivos del tratamiento de aguas residuales se basaron sobre todo en preocupaciones estéticas y ambientales. Los objetivos iniciales, implican la reducción de la demanda biológica del oxígeno (DBO), total de sólidos suspendidos (TSS), y los organismos patógenos. El retiro de nutrientes, tales como nitrógeno y fósforo, también comenzó a ser tratado, particularmente en algunas de las corrientes (lagos, estuarios y bahías)

Varios programas fueron emprendidos por el estado y las agencias federales para alcanzar un tratamiento más eficaz y más extenso de las aguas residuales para mejorar la calidad de las aguas superficiales. Estos programas se basaron en parte en la comprensión de los efectos ambientales causados por descargas de las aguas residuales y el desarrollo de la preocupación nacional por la protección del ambiente. Como resultado de estos programas, se lograron mejoras significativas en la calidad de las aguas superficiales. Desde los 80's, los objetivos de la mejora de la calidad acuática de los años 70 han continuado, pero se ha echo énfasis en el retiro de los componentes que pueden contaminar produciendo efectos contraproducentes de salud y consecuencias no deseables para el medio ambiente (Metcalf & Eddy, 2003, p 3)

B. Características de las aguas residuales

Cerca de 1940, la mayoría de las aguas residuales municipales fueron generadas de fuentes domésticas. Después de 1940, con el creciente desarrollo industrial en los Estados Unidos, aumentó la cantidad de aguas residuales industriales, siendo éstas descargadas a los sistemas municipales. Las cantidades de metales pesados y de compuestos orgánicos sintetizados generados por actividades industriales aumentaron, y unos 10.000 compuestos orgánicos se agregaron cada año.

Como los cambios tecnológicos implican cambios de fabricación, también cambian los compuestos descargados y las características de las aguas residuales que resultan de ellos. Los numerosos compuestos generados de proceso industrial son difíciles y costosos de tratar utilizando un proceso convencional de tratamiento de aguas residuales; por lo tanto, el pre-tratamiento industrial se convierte en una parte esencial de un programa de calidad del agua.

La aplicación de un programa industrial de pre-tratamiento no es suficiente, ya que algunos de los agentes contaminantes regulados todavía se escapan al sistema municipal de las aguas residuales y deben ser tratados.

En el futuro con el objetivo de la prevención de la contaminación, cada esfuerzo se debe hacer por controlar las descargas industriales y tener en cuenta las consecuencias que implica para el medio ambiente el desechar cualquier compuesto nuevo que pueda entrar en la corriente de las aguas residuales; por lo anterior si un compuesto no se puede tratar con eficacia haciendo uso de la tecnología existente, entonces no debe ser utilizado (Metcalf & Eddy, 2003, p 5)

C. Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica

En Latinoamérica muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos e industriales. La contaminación del suelo ocurre tanto en áreas urbanas como rurales. Conteniendo 40 % de las especies tropicales de plantas y animales del mundo, y 36 % de las especies cultivadas de alimentos y productos industriales, la región presenta intenso interés en la preservación y protección del medio ambiente, sin mencionar una preocupación por la salud humana.

Aunque, como promedio, 80 % de la población urbana de Latinoamérica tiene acceso a servicios de recolección de aguas de alcantarillado, existe una gran variación entre los países. La mayor parte de las aguas negras no han recibido tratamiento. Aun las grandes ciudades como la Ciudad de México y São Paulo-Santos se encuentran a menudo altamente contaminadas y carecen de infraestructura de saneamiento para tratar los residuos peligrosos (Reynolds, 2002)

D. Necesidades de infraestructura

Para mejorar las condiciones de salud y saneamiento en las regiones en vías de desarrollo, se necesitan plantas de tratamiento eficientes para el manejo de agua potable y aguas residuales. Sin embargo, dichos esfuerzos requieren inversiones sustanciales de capital.

Solamente en México, se estima una inversión de US\$ 2,900 millones para proporcionar agua limpia y servicios de saneamiento a los habitantes urbanos. Se necesitan miles de millones de dólares para servir a la región latinoamericana.

En 1995, el Banco Mundial estimó que se requeriría una inversión de US\$ 12,000 millones anuales durante 10 años para elevar los estándares de abastecimiento de agua y de aguas residuales a niveles razonables; serían aproximadamente US\$ 7,000 millones (Reynolds, 2002)

E. Opciones de tratamiento

Como promedio, solamente 10 % de las aguas de alcantarillado recolectadas en Latinoamérica son sujetas a cualquier tipo de tratamiento. Además, continúan las dudas acerca del modo apropiado de operar las plantas de tratamiento existentes. Una evaluación de las plantas de tratamiento de aguas de alcantarillado en México calcula que solamente 5 % de las plantas existentes están siendo operadas de manera satisfactoria.

El tratamiento de aguas residuales es necesario para la prevención de la contaminación ambiental y del agua, al igual que para la protección de la salud pública. Mientras que cada región tiene sus propias necesidades correspondientes a métodos de tratamiento particulares, cierto número de opciones tradicionales y modernas de tratamiento se encuentran disponibles al diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales. Es necesario hacer una evaluación del nivel óptimo de tratamiento requerido, al igual que una evaluación práctica de cuáles métodos de tratamiento están dentro del presupuesto.

La meta del tratamiento de aguas residuales nunca ha sido producir un producto estéril, sin especies microbianas, sino reducir el nivel de microorganismos dañinos a niveles más seguros de exposición, donde el agua es comúnmente reciclada para el riego o usos industriales. Al escoger la tecnología apropiada de tratamiento, deben considerarse cierto número de factores, incluyendo la cantidad y composición de la corriente de residuos, los estándares del efluente, opciones indicadas de uso y desecho, opciones de pretratamiento industrial; y, factibilidad de funcionamiento (es decir, inquietudes económicas y técnicas) (Reynolds, 2002)

F. Contaminación por residuos y emisiones en Guatemala

La cobertura de servicios de saneamiento, para el año 1994, es del 60 % a nivel nacional. La cobertura mencionada es menor si se incluyen aspectos de calidad del servicio. El déficit del servicio de saneamiento en el área rural es alta (48 %).

La generación de contaminación, por desechos líquidos domésticos alcanza 105,864 toneladas / año de demanda biológica de oxígeno (DBO), (60 % en el área rural y 40 % en el área urbana). El 83 % de aguas residuales se genera en las áreas urbanas y el 17 % en las áreas rurales.

Existen pocas poblaciones que tratan sus descargas; en su mayoría, las aguas residuales se vierten a las corrientes. Prácticamente no existe tratamiento de aguas residuales en Guatemala (sólo se trata un 4 % de las aguas residuales).

Las actividades industriales y agroindustriales normalmente están ubicadas en áreas de influencia urbana municipal y vierten sus aguas residuales, sin tratamiento alguno, a los colectores sanitarios, pluviales o combinados. Cuando no hay acceso a un sistema de alcantarillado, los efluentes son lanzados sin tratamiento a los cuerpos de agua receptores.

Las enfermedades relacionadas con la calidad del agua y saneamiento muestran que son la principal causa de morbilidad y mortalidad. En 1993, las tasas de morbilidad por enfermedades diarreicas eran 1,144 por cada 100,000 habitantes, en el cólera era de 306 por 100,000 habitantes y la hepatitis infecciosa era 12 por cada 100,000 habitantes; 15 % a 20 % de todas las causas de muerte en el país y 30 % de la mortalidad infantil provienen de enfermedades infecciosas intestinales (Del Busto, 1995)

G. Aguas residuales en Guatemala

En el contexto económico y social, el agua es un recurso determinante del desarrollo en Guatemala. Actualmente, los distintos subsectores de usos presentan una problemática específica en cuanto a aprovechamiento y conservación. Los déficit importantes que presentan los servicios de agua potable y saneamiento básico indican la necesidad de un esfuerzo gubernamental, especialmente en el medio rural, aún cuando se avance en las políticas de promoción de la inversión privada.

Una gran cantidad de servicios se califican como inadecuados, lo cual es reflejo de la problemática institucional que enfrenta el sector agua y saneamiento y que necesita ser retroalimentada por esquemas tarifarios que reflejen el costo real de los servicios y el valor económico del recurso hídrico.

En cuanto a calidad del agua y deterioro del medio ambiente, puede afirmarse que los patrones de contaminación se asocian, por un lado, al crecimiento urbano y, por otro a determinadas actividades agrícolas. Consecuentemente la mayor contaminación se presenta localmente en los cuerpos receptores de agua con vertidos municipales y en los que reciben los retornos agrícolas con altos contenidos de agroquímicos. En las áreas donde se asientan los principales centros urbanos e industriales del país presentan ya síntomas de contaminación de los acuíferos. La capacidad instalada para el tratamiento de las aguas residuales es incipiente y presenta problemas para su operación y mantenimiento (Centro panamericano de Ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente, 2001)

H. Métodos de tratamiento

Los métodos de tratamiento en los cuales el uso de fuerzas físicas predominan, se conocen como operaciones unitarias. Los métodos de tratamiento en los cuales el retiro de contaminantes es causado por reacciones químicas o biológicas se conocen como procesos unitarios. Actualmente las operaciones y los procesos unitarios se agrupan para proporcionar varios niveles de tratamiento conocidos como: tratamiento preeliminar, tratamiento primario, tratamiento primario avanzado, tratamiento secundario, y tratamiento avanzado (o terciario). En el tratamiento preliminar, los sólidos gruesos tales como objetos grandes, se quitan ya que puede dañar el equipo. En el tratamiento primario, una operación física, generalmente sedimentación, se utiliza para remover los materiales flotantes encontrados en aguas residuales. Para el tratamiento primario avanzado, se agregan productos químicos para realzar el retiro de sólidos suspendidos y, en un grado inferior, de sólidos disueltos. En el tratamiento secundario, el proceso biológico y químico se utiliza para quitar la mayoría de la materia orgánica. En el tratamiento avanzado, las combinaciones adicionales de las operaciones y del proceso de la unidad se utilizan para quitar los sólidos suspendidos residuales y otros componentes que no son eliminados perceptiblemente por el tratamiento secundario convencional (Metcalf & Eddy, 2003, p 16)

I. Procesos de tratamiento (Generalidades)

Los procesos funcionan por medio de mecanismos:

Físicos

- Sedimentación
- Filtración
- Adsorción
- Aireación / Intercambio de gases

Químicos

- Precipitación
- Floculación
- Intercambio iónico
- Oxidación / Desinfección

Biológicos

- Anaeróbicos
- Aeróbicos (Castro, 2002, p25)

J. Fases y sistemas de tratamiento

Tras la separación inicial de las diversas categorías de aguas residuales, el grado y el método tecnológico de tratamiento varía considerablemente debido en parte a la falta de uniformidad de la producción, la tecnología de elaboración, el equipo de tratamiento de las aguas residuales y su emplazamiento.

Siempre que es posible, las aguas residuales deben dirigirse a un sistema de alcantarillado público, aunque este procedimiento requerirá cierto grado de tratamiento primario o pre-tratamiento como requisito mínimo. Las exigencias de los países en desarrollo difieren en la medida en que no existen sistemas de alcantarillado principales salvo, quizá, en el centro de la capital o de las ciudades principales y en esos países, por consiguiente, se debe dar por supuesto que las aguas residuales se descargan en las aguas de superficie (ríos, lagos o tuberías de desagüe en alta mar) y en esas situaciones se producen invariablemente diversos grados de tratamiento que pueden contribuir a la viabilidad económica de la empresa de elaboración de manera aún más significativa que en los países industrializados. Los procedimientos de tratamiento que se pueden emplear se clasifican en tres categorías distintas, a saber: primario, es decir, tratamientos físicos y químicos; secundario, es decir, tratamientos biológicos anaeróbicos o aeróbicos y, por último, una combinación de los dos tratamientos secundarios. Todos los tratamientos indicados

garantizan cierto grado de control, si no un control total, de los patógenos y de los niveles de contaminación.

En la mayor parte de los sistemas, una vez extraída la grasa y los elementos sólidos gruesos de las aguas de desecho, por lo general se deja que las corrientes separadas se mezclen y, si es posible descargar las aguas de desecho en un alcantarillado público local, quizá no se requiera ningún otro tratamiento en el matadero. Cuando resulta posible, la descarga en un alcantarillado público local es obviamente el mejor método de eliminación. Pero en los países en desarrollo apenas se dispone de alcantarillas y las instalaciones de tratamiento no tienen la capacidad para ocuparse de los desechos comerciales, por lo que en esas situaciones es factible tratar las aguas de desecho directamente por medio del tratamiento primario arriba indicado.

Uniformización de las corrientes de agua residuales:

La utilización de depósitos equilibradores e igualizadores de las corrientes evitan la necesidad de que las plantas especializadas de tratamiento tengan una dimensión excesiva para ocuparse de las corrientes máximas. Constituido simplemente por un depósito de acero o de hormigón fabricado localmente (o de una laguna cuando se dispone de tierras) el depósito equilibrador ofrece la ventaja de que la descarga del matadero se efectúe en un sistema municipal de alcantarillado y de tratar a sus propias aguas residuales. En el primer caso, se puede necesitar una cisterna para evitar que se supere el límite de la corriente impuesto por las autoridades locales en los momentos de máxima producción. En el otro caso, un depósito equilibrador, al regular las diversas corrientes diurnas, permite que el procedimiento de tratamiento en la planta se conciba para corrientes medias y no máximas. El control de los contaminantes y de las cargas de choque puede también dar origen a una utilización más eficiente de las instalaciones de tratamiento posterior. El ritmo efectivo debe poder ajustarse insertando en la cadena de descarga una junta en T, haciéndose retroceder a la corriente controlable hacia el depósito de igualización. El nivel no debe descender por debajo del 30 por ciento del volumen total para que se disponga de líquido que permita la igualización de las corrientes de entrada de aguas residuales (Veall, 1997)

K. Sistemas de tratamiento primario (físico)

Los procedimientos de tratamiento físico comúnmente utilizados son los siguientes: procedimientos de ordenación y de limpieza propiamente dicha seguidos del tamizado para la eliminación de los sólidos pesados y sedimentables, tubos en U para grasas y depósitos de despumación para la eliminación de los sólidos finos y las grasas y aceites.

En el pretratamiento de las aguas residuales de la industria de la carne se utiliza invariablemente el paso por una rejilla para excluir la carne, los huesos, las descarnaduras de pieles y cueros y otros sólidos gruesos de las aguas de desecho. Su función es sumamente importante y produce la eliminación de condiciones perjudiciales (bloqueos de la bomba o de las tuberías), corriente abajo, así como el mejoramiento de la eficiencia de los procedimientos de pretratamiento. Ese método tiene escasos efectos en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno, las grasas y los aceites o los sólidos en suspensión. Aunque en general no se consideran muy favorablemente las rejillas de barrotes, por obstruirse fácilmente y requerir una constante atención para evitar bloqueos, esta desventaja se puede pasar por alto cuando existe abundancia de mano de obra barata. Una serie de rejillas fabricadas localmente podría también resultar adecuada, cuando se utilicen dos o tres rejillas de barras con aperturas compuestas entre los 5 cm y los 0.5 cm.

Esas rejillas pueden necesitar ser limpiadas a mano con regularidad. Más eficientes, pero que no dejan de necesitar limpieza, son los tamices del tipo Baur Hydrasieve construidos con patente con alambre en forma de cuña. Los datos relativos al rendimiento son los siguientes: un tamiz con una superficie de 1m (espaciamiento de 1mm) = 6 a 18 m³ de corriente /hora.

Las altas concentraciones de grasas que se dan en las aguas residuales de la industria de la carne se pueden reducir si los canales de desagüe del suelo y el equipo de los departamentos competentes se dota de tubos en U antes de pasar por la criba para evitar el bloqueo de las tuberías, los desagües y otro equipo. Las grasas pueden causar problemas en las cámaras de sedimentación que cuentan con separadores de espumas insuficientes cuya acumulación puede bloquear el filtro y provocar un posterior estancamiento y problemas de olor, en el cieno activado a causa de la acumulación y en los digestores al formar una capa en la superficie que no se degradará. La eliminación de hasta el 90 por ciento de las grasas que flotan libremente mediante la utilización de tubos en U para grasas es posible, pero de tratarse de desechos de carne, particularmente cuando se transportan trozos de carne, es más eficiente la flotación por aire disuelto.

La flotación por aire disuelto es el procedimiento de flotación más común y se utiliza principalmente para el tratamiento primario de las aguas residuales de los mataderos. El aire se disuelve en el agua residual bajo presión (3 – 4 m³/hora por m³ de depósito) y posteriormente se transforma en micro burbujas (de 50 mm a 200 mm de diámetro) a presión atmosférica. La flotación por aire disuelto facilita la recuperación de sebos, aceites y grasas, sólidos suspendidos y la demanda bioquímica de oxígeno, por un total de un 30 por ciento a un 60 por ciento de sólidos suspendidos y de un 50 por ciento a un 80 por ciento de sebos, aceites y grasas (Veall, 1997)

L. Tratamiento primario (físicoquímico)

Una tecnología relativamente sencilla permite extraer hasta el 95 por ciento de los sólidos en suspensión y posiblemente el 70 por ciento de la demanda bioquímica de oxígeno por medio del tratamiento físicoquímico.

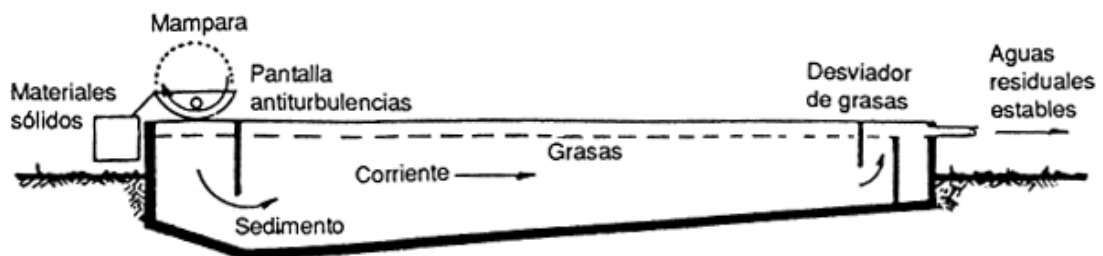
En lo esencial, el procedimiento físicoquímico consiste en lo siguiente:

Condicionamiento o pretratamiento de las aguas residuales mediante la incorporación de coagulantes y agentes de floculación para facilitar la sedimentación de los sólidos en suspensión. Esta fase va seguida de la clarificación: paso a través del depósito de sedimentación que separa el sedimento pesado del flotante, que es un líquido claro casi desprovisto de sólidos en suspensión y con unos niveles muy reducidos de demanda bioquímica de oxígeno.

Cuando las aguas residuales se tratan íntegramente en el lugar del matadero, es esencial facilitar la sedimentación primaria, que es probablemente necesaria si los desechos van a pasar posteriormente por filtros. Se utilizan dos tipos de depósitos de sedimentación y las dimensiones varían considerablemente.

Los depósitos de sedimentación de corriente horizontal (Ilustración 1) son necesarios para las cargas pesadas y sus dimensiones deben permitir un período de retención de seis horas. Esos depósitos requieren, sin embargo, la eliminación regular del cieno, por lo que es necesario disponer de un depósito de reserva. La eliminación del cieno puede efectuarse por gravedad o con una bomba de cieno después de haber bombeado las materias flotantes al depósito de reserva. Para corrientes de más de $1000 \text{ m}^3/\text{día}$ pueden resultar rentables raspadores mecánicos.

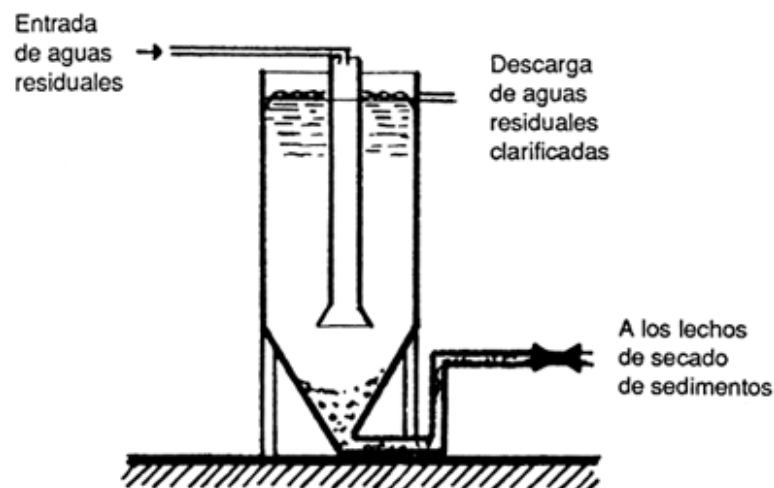
Ilustración 1: Cisterna de sedimentación de corriente horizontal (Veall, 1997)



Los depósitos cilíndricos de sedimentación vertical de fabricación local parecen ser sedimentadores primarios más eficientes y eficaces en función de los costos para los mataderos de tamaño mediano (Ilustración 2). Se pueden fabricar de acero con revestimiento epoxídico, con fibras de vidrio o contruidos en forma rectangular empleando hormigón armado, si se dispone de este material.

Al ser los ángulos de 60° , el cieno de las paredes se quita solo. El requisito fundamental es en este caso que se produzca cierto grado de turbulencia en la entrada para lograr la mezcla e impulsar la floculación. Las turbulencias deben evitarse en los demás lugares. Con el empleo de la gravedad, los sólidos se asientan y se concentran en la base, desde la que pueden extraerse a través de la válvula. Las aguas residuales clarificadas se extraen suavemente de la parte superior. El ritmo de la corriente ascendente debe oscilar entre $1,0 \text{ m}^3$ y $1,5 \text{ m}^3/\text{hora}$.

Ilustración 2: Cisterna de sedimentación de corriente vertical (Veall, 1997)



Manejo y eliminación del cieno:

El cieno resultante de los sistemas de sedimentación descritos debe estar libre de sustancias tóxicas y resultaría aceptable en muchas regiones como fertilizante agrícola. El cieno resultante contendrá de un 3 por ciento a un 5 por ciento de sólidos y podrá pasar por gravedad o por bombeo al área de eliminación; de lo contrario se necesitarán lechos para el secado.

Lechos para el secado o bandejas de evaporación:

Se recomiendan para mataderos de tamaño pequeño o mediano, aunque sólo si están situados en la periferia de las ciudades. Para países con amplios recursos de tierras, la disponibilidad de cieno en las zonas de engorde del ganado puede mejorar la viabilidad económica y proporcionar empleo. Estas tareas requieren mucha mano de obra y el vaciado se debe efectuar a mano cuando la concentración de sólidos alcanza aproximadamente 1m^3 por 40 kg de cieno.

Construcción de los lechos o bandejas:

Normalmente se construyen con capas de materiales de filtración provistas de tuberías en la base que conducen a las tierras agrícolas para recoger los materiales de desecho líquidos que deben volver a reciclarse en el depósito de igualización para proceder a un nuevo tratamiento. Los tanques de evaporación se recomiendan para países con altas tasas de transpiración y escasas precipitaciones y se construyen de manera análoga con revestimiento interior de butilo para contener el cieno y con tubos de desbordamiento y terraplenes para retener las aguas residuales en períodos de aguaceros o de las lluvias cortas de los monzones.

Por cada metro cúbico de lechado de cieno producido al día hace falta 1m^2 de superficie de lecho al día. Por ejemplo, si un lecho tuviera $14\text{ m} \times 5\text{ m}$ de superficie para secar a 35 m^3 de lechado de cieno, período de secado podría variar de 2 a 4 semanas según las condiciones locales y el grado de acondicionamiento de cualquier producto químico recibido. Si la semana es de seis días de trabajo, se necesitarían de 10 a 12 lechos de secado con las dimensiones más arriba indicadas (superficie total requerida de 700 m^2 a 1400 m^2).

Contaminación de las aguas subterráneas:

Durante la instalación y utilización de lechos, bandejas, cuencas o estanques se debe prestar la debida consideración a las condiciones geológicas locales. Si no se dispone de datos en cuanto a la permeabilidad de los subsuelos puede resultar apropiado revestir todos esos elementos con láminas de butilo o con hormigón pintado con betún natural, para evitar la contaminación de las aguas subterráneas por lixiviación de la planta de tratamiento.

Otros sistemas de eliminación del agua del cieno:

Los espesores del cieno (coagulantes) anteriormente indicados pueden emplearse para intensificar la condensación del cieno hasta que se transforme en sólidos al 10 por ciento en un día. Sin embargo, incluso cuando están así condensados, siguen siendo difíciles de manipular y necesitan otro tratamiento (por ejemplo, los lechos de secado).

Si la clarificación (eliminación de los sólidos en suspensión) es eficiente en los procedimientos de tamizado y fisicoquímicos, las aguas residuales finales procedentes de ese tratamiento deben tener una turbiedad y un color mínimos y estar prácticamente libres de tóxicos, por lo que su descarga sería aceptable en casi todas las circunstancias. Ese tratamiento requiere bastante poco capital y la tecnología ha de resultar comprensible y corresponder a la esfera de competencia del personal de mantenimiento del matadero. Solo en las situaciones urbanas debe resultar necesario pasar a procedimientos de mayor densidad de capital y resultaría difícil controlar las etapas secundarias del tratamiento de las aguas residuales (tratamiento biológico) para suprimir los niveles reducidos de contaminación restantes (Veall, 1997)

M. Sistemas de tratamiento secundario (biológico)

Se necesitarán procedimientos adicionales principalmente cerca de zonas urbanas donde las descargas de desechos tratados pueden ir a parar a capas freáticas o cerca de éstas. Se requieren normas superiores a las aceptables para los sistemas de tratamiento en regiones remotas, entre las cuales las siguientes:

1. Aeróbicos
2. Procedimiento de cieno activado (convencional)
3. Procedimiento de cieno activado (foso de oxidación)
4. Tratamiento biológico anaeróbico (formación de estanques).

El diseño y utilización de estos sistemas incumbirán, debido a las normas y salvaguardias que se han de respetar, a las autoridades locales competentes y no al explotador del matadero quien tendrá, no obstante, que pagar una carga por esos servicios. Sólo los grandes mataderos que descargan en las redes de alcantarillado municipales pueden considerar que la imposición de otro tratamiento secundario resultará económicamente justificable para producir posteriormente una reducción de sus descargas de aguas residuales.

La elección del sistema más adecuado depende de los costos, del nivel de demanda bioquímica de oxígeno requerido, de la superficie de tierras disponibles, del nivel de olores y de los requisitos municipales, en la forma en que proceda. Estos sistemas secundarios, deben ser selectivos y requieren un gran capital. Un tratamiento secundario de ese tipo para una planta de tamaño intermedio estaría justificado únicamente si se comparte con otros usuarios industriales o si se incluye una carga doméstica de la ciudad de que se trate para sacar partido de las economías de escala necesarias. En todos los sistemas mencionados, se da por supuesto que es necesario un tratamiento preliminar en el matadero, particularmente en la sedimentación, cuando las aguas residuales pasan por filtros como en los sistemas aeróbicos (Veall, 1997)

N. Legislación

1. Legislación y reglamentación ambiental. Existe el Reglamento para la Descarga de Aguas Servidas vigente desde febrero de 1989 que establece el control y monitoreo exclusivamente con base a tres parámetros (sólidos sedimentables, DQO y DBO 5). Sin embargo nadie parece cumplirlo dentro de los límites de los parámetros establecidos.

La entidad que regula todo lo relacionado con el agua está a cargo del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN). Existe otra entidad gubernamental, COGUANOR (Comisión Guatemalteca de Normas) quien cuenta con dos normas para las aguas servidas, una es la demanda química de oxígeno y otra es la demanda bioquímica. Las industrias, en general, no acatan estas disposiciones y la comisión no tiene fuerza para lograr su cumplimiento.

Existe una propuesta de modificación para el “*Reglamento de requisitos mínimos y sus límites máximos permisibles de contaminación para la descarga de aguas servidas*” con fecha de octubre de 1996. Esto lo está haciendo la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca y lago de Amatitlán (AMSA), debido a la alta contaminación de este lago por la cantidad de industrias del Área Metropolitana de Guatemala (AMG) que descargan sus desechos en él.

La Comisión de Medio Ambiente de la Cámara de Industria (COMACIG), la cual tiene como objetivo la defensa gremial ante las entidades gubernamentales ambientales, está tratando de asegurar que los intereses empresariales sean tomados en cuenta al momento de emitir regulaciones.

Otros de los problemas para el cumplimiento de cualquier regulación es la falta de recursos financieros y humanos capacitados para controlar y supervisar su acatamiento. El control de los

contaminantes es una actividad muy costosa en cuanto a instrumental y equipo de laboratorio y reactivos (Pérez, 1997)

El 5 de mayo del 2006, en la República de Guatemala, el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, acuerda emitir el reglamento de las descargas y reuso de aguas residuales y de la disposición de lodos con el acuerdo gubernativo número 236-2006 (*Acuerdo 236-2006 Reglamento de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores, 2006*)

2. Evacuación de efluentes y aguas residuales. Los establecimientos deben disponer de un sistema eficaz de evacuación de efluentes y aguas residuales, que deberán mantenerse en buen estado y funcionamiento.

Todos los conductos de evacuación (incluidos los sistemas de alcantarillado y trampas de sólidos y grasas) deben ser suficientemente grandes para soportar cargas máximas y deben construirse de manera que se evite la contaminación del abastecimiento de agua potable y de las instalaciones en general, ya sea por rebalses, reflujos, salpicaduras, residuos de grasa u otros medios.

3. Disposiciones legales (Artículo 4o.). La autorización y el control del funcionamiento de las fábricas embutidoras y de productos cárnicos procesados en general, corresponden al Departamento de Regulación y Control de Alimentos, DRCA, del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, MSPAS, de conformidad con las disposiciones del Código de Salud, sus Reglamentos, incluyendo el Reglamento para la Inocuidad de los Alimentos, y la presente norma.

4. Del criterio a utilizarse para la autorización y el control sanitario del funcionamiento (Artículo 5o.). Para la autorización o renovación de licencia sanitaria y el control sanitario, la fábrica embutidora o de productos cárnicos deberá tener un punteo mínimo de 81 puntos conforme ficha de inspección, debiendo tener 40 puntos provenientes de los siguientes apartados: 2. Establecimiento: Requisitos de Higiene y 4. Establecimiento: Higiene en Elaboración.

En el caso de un punteo menor de los 60 puntos, se iniciará procedimiento administrativo sancionatorio considerando el cierre del establecimiento.

Para las fábricas que aún no están funcionando y soliciten su licencia, se les practicará una inspección en la ficha correspondiente, debiendo cumplir con el punteo mínimo de 81 puntos (Director General de la Dirección General de Regulación, Vigilancia y Control de la Salud del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2003)

Ñ. Características del agua residual de la planta

Para realizar los procesos de trabajo de un matadero y mantener las condiciones higiénicas es necesario un consumo elevado de agua, el cual puede establecerse en aproximadamente unos 5 L de agua por kilo de peso del animal. En este caso se maneja un matadero mixto de vacuno y porcino, que sacrifica cada día aproximadamente 350 reses y 200 cerdos generando y tratando un caudal de aguas residuales de 667 m³ diarios.

En general, los efluentes de los mataderos tienen altas temperaturas y contienen patógenos, además de altas concentraciones de compuestos orgánicos y nitrógeno.

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

1. 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
2. Área de sangría
3. Operaciones de remoción de cueros, pelos y otras partes no comestibles
4. Procesamiento de la carne, incluyendo procesamiento de vísceras e intestinos generan aguas que se van llenando de desperdicios con estas operaciones. Estas aguas pueden contener sangre, grasa, fango, contenidos de los intestinos, pedazos de carne, pelos y desinfectantes.

La sangre es el principal contaminante, aportando una DQO total de 375.000 mg / L y una elevada cantidad de nitrógeno. Cuando no se recolecta la sangre y los productos residuales, la carga de contaminación, puede ser dos o tres veces mayor; por lo anterior en el diseño de esta planta se tomará como supuesto que el matadero en cuestión procesa sus propios productos y sangre residuales, es decir que existe una eficaz administración y recuperación de subproductos.

Cuadro 1: agua generada y parámetros requeridos

Componentes	Unidades	Promedio	Alcantarillado público	
			Límite máximo permisible	
			Etapa 1	etapa 2
Grasas	(mg/L)	91.5		
SST	(mg/L)	938.75		
solidos suspendidos	(mg/L)	1009.17	120	60
DBO	(mg O ₂ /L)	3160.8	200	100
DQO	(mg O ₂ /L)	7881.25	300	200
Grasas y aceites	(mg/L)	345.86	30	15
DBO ₅	(mg/L)	1986.6		
Ph	-	7.69	6 a 9	6 a 9
Temperatura	°C	-	±7 TCR	±7 TCR
materia flotante	ausencia/presencia	presente	Ausente	
solids sedimentables	ml/l	10		
Nitrógeno total	mg/l	158.33	40	40
Fósforo total	mg/l	26	20	20

Los tratamientos a los que se deben someter los efluentes tienen que garantizar la eliminación o recuperación del compuesto orgánico en el grado requerido por la legislación que regula el vertido del efluente

O. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Los efluentes líquidos de mataderos, plantas de procesamiento de carne y de recuperación de subproductos deben descargarse al alcantarillado con previo tratamiento.

A continuación se describe el diseño de un sistema de tratamiento que incluye un pretratamiento (debaste y tanque de homogenización), un tratamiento primario (físico-químico) y un tratamiento secundario (biológico).

1. Pretratamiento o tratamiento preliminar. Es la primera operación a que se someten los residuos líquidos. Consiste en retener los sólidos y grasas que arrastra el agua y que podrían, por su tamaño y características, entorpecer el normal funcionamiento de las plantas de tratamiento (Comisión nacional del medio ambiente, 1998).

a. Desbaste (rejillas o tamices) -Separador mecánico de residuos sólidos. En este subproceso el reactor empleado elimina o separa los sólidos mayores que puedan interferir con los procesos subsecuentes, por lo general el equipo comúnmente utilizado son rejillas, las cuales se encuentran colocados en el canal de entrada de la planta de tratamiento. Ese método tiene escaso efecto en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno, las grasas y los aceites o los sólidos en suspensión. Suele ser un tratamiento previo a cualquier otro.

Las rejas son dispositivo con aberturas de tamaño uniforme, donde quedan retenidas las partículas gruesas del efluente. Según la separación de barras pueden ser gruesas (con separación de 5 a 10 cm), medianas (de 2.5 a 5 cm), finas (de 1 a 2.5 cm). Los principales parámetros de diseño son: tipo de residuo a tratar, flujo de descarga, paso libre entre barras, volumen de sólidos retenidos y pérdida de carga. En cuanto a la elección del sistema de limpieza de las rejas, ésta debe efectuarse en función de la importancia de la planta de tratamiento, de la naturaleza del vertido a tratar, y por supuesto, de las disponibilidades económicas (Comisión nacional del medio ambiente, 1998).

Según su forma de limpieza las rejas pueden ser manuales y de limpieza mecánica. Las primeras se limpian con un rastrillo de igual separación que las barras, se levanta el material retenido hasta una chapa perforada donde se escurre el agua. La inclinación de la reja es de entre 45-60° (En otros casos, si el tipo de sólidos lo permite, se utilizan trituradoras, reduciendo el tamaño de sólidos y separándose posteriormente por sedimentación u otras operaciones)

Para las segundas la limpieza se hace con un rastrillo mecánico que es una cadena sin fin con un rastrillo movido por un motor y se descarga el residuo a una tolva.

Cuadro 2: Características de rejillas de barras

Característica	De limpieza manual
Ancho de barras	(1.5-3.0) cm
Profundidad de barras	(2.5-7.5) cm
Abertura o espaciamiento	(5-10) cm
Pendiente con la vertical	(45-60) °
Velocidad de acercamiento	(0.6-0.8) m/s

Ilustración 3: Esquema del sistema de pre-tratamiento -Sistema de rejillas inclinadas- (Silva, 2004)

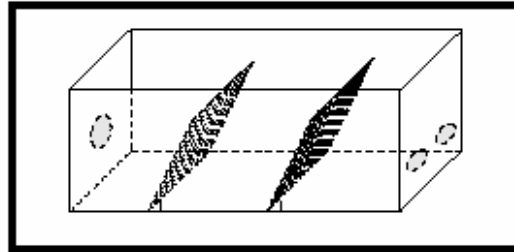
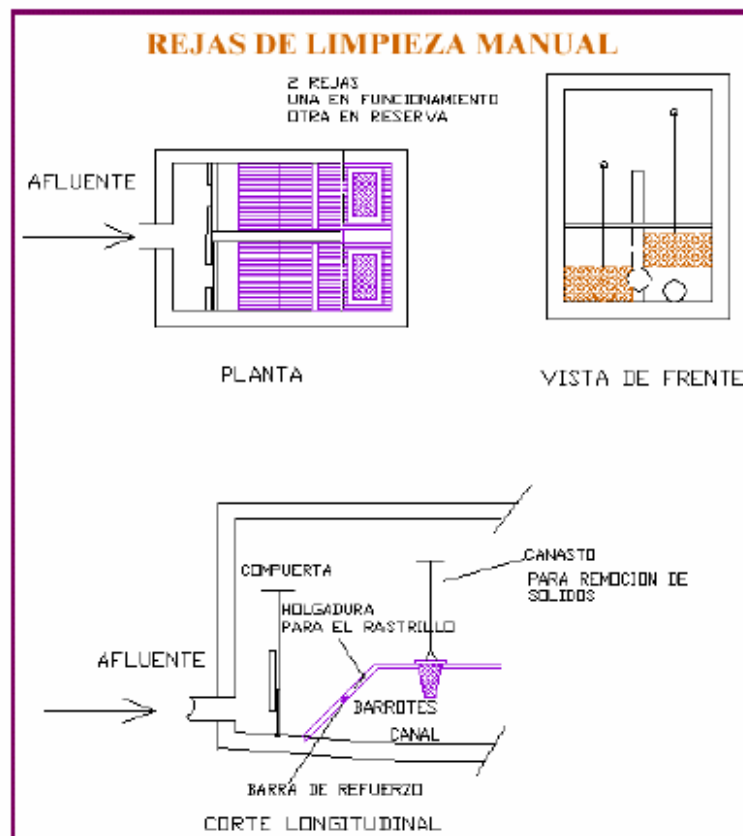


Ilustración 4: Rejas de limpieza manual (Silva, 2004)



b. Tanque de regulación ó tanque de homogenización ó depósito equilibrador. Este tanque se diseña para amortiguar las variaciones del caudal, (debido al flujo inconstante de los efluentes de las distintas etapas), entonces caudales punta vertidos, pH y temperaturas son homogeneizados o regulados, resultando un efluente de características uniformes

Estas unidades se componen de un tanque de almacenamiento y un agitador, su objetivo es conceder al fluido un tiempo de residencia, entre 2 y 24 horas, determinado por las características de operación del plantel, la biodegradabilidad del material orgánico y el tipo de tratamiento secundario o aplicación directa.

Según la Comisión Nacional del Medio Ambiente, 1998 el estanque homogenizador requiere de un estanque con aireador, que tenga una capacidad aproximada de un 60% del flujo diario (en este caso la capacidad es 400.2m^3)

Según Veall 1997, el nivel no debe descender por debajo del 30 por ciento del volumen total para que se disponga de líquido que permita la equalización de las corrientes de entrada de aguas residuales.

El tanque homogenizador puede ser de acero u hormigón, en este caso se fabrica en hormigón armado y tiene una capacidad de 500 m^3 y como se dijo anteriormente el nivel no debe descender por debajo del 30 por ciento del volumen total, que sería 150 m^3

Este tanque logra que se trabaje con corrientes medias, no máximas para ahorrar costos (entre ellos energía), iguala o regula flujo de aguas entrantes a la planta de tratamiento (regula corriente), mezcla efluentes de todas las áreas del matadero.

Tiempo de residencia se refiere al tiempo que demora una gota de líquido desde el ingreso a la unidad de tratamiento, hasta la salida de ésta. Dicho parámetro de diseño es equivalente al volumen de almacenamiento de una unidad de tratamiento para un flujo dado. En el caso de este tanque se tiene un tiempo de residencia de 18 horas.

Un tiempo de residencia muy largo, significará un tanque de mayor volumen, además puede dar lugar a crecimiento microbiano, malos olores, generación de vectores y procesos de sedimentación. Al contrario, un tiempo de residencia reducido influirá en la eficiencia de la homogenización y equalización.

La aireación puede llevarse a cabo por métodos muy diversos, se ha encontrado que se pueden utilizar aspersores por medio de los cuales el agua se fracciona en gotas muy pequeñas, hasta formar una neblina. Otro método consiste en forzar el paso de aire comprimido dentro del agua que va a entrar.

El método más simple de dispersión de gas en un líquido contenido en un tanque es introducir el gas por una tubería de extremo abierto, una tubería perforada horizontal o un plato perforado o tubería perforada en el fondo del tanque.

2. **Tratamiento primario.** Consiste en la remoción de una cantidad importante de los sólidos suspendidos, contenidos en las aguas residuales, mediante procesos físicos y/o químicos (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 1998)

a. Tanque de flotación (digestor aeróbico). La flotación es una operación física unitaria, que consiste en generar pequeñas burbujas de gas normalmente aire. Las burbujas se adhieren a las partículas, y la fuerza ascendente que experimenta el conjunto partícula-burbuja de aire hace que suban hasta la superficie del líquido. De esta forma, es posible hacer ascender a la superficie partículas cuya densidad es mayor que la del líquido. Obviamente, esta forma de eliminar materia en suspensión será adecuada en los casos en los que las partículas tengan una densidad inferior o muy parecida a la del agua, es decir, una dispersión de gotas de un líquido inmiscible, como en el caso de aceites y grasas. En este caso las burbujas de aire ayudan a “flotar” más rápidamente estas gotas, dado que generalmente la densidad de estos líquidos es menor que la del agua. Una vez las partículas se hallan en superficie, pueden recogerse mediante un rascado superficial.

Normalmente, se suelen añadir determinados compuestos químicos para facilitar el proceso de flotación. En su mayor parte, estos reactivos químicos funcionan de manera que crean una superficie o una estructura que permite absorber o atrapar fácilmente las burbujas de aire. Los reactivos químicos inorgánicos, tales como las sales de hierro o de aluminio y la sílice activada, se emplean para agregar las partículas sólidas, de manera que se cree una estructura que facilite la absorción de las burbujas de aire. También se pueden emplear diversos polímeros orgánicos para modificar la naturaleza de las interfases aire-líquido, sólido líquido, o de ambas a la vez. Por lo general, estos compuestos actúan situándose en la interfase para producir los cambios deseados.

Se fuerza la entrada de aire a presiones de entre 1.75 kg y 3.5 kg por cm^2 . El agua residual, supersaturada de aire, se descarga a continuación en un depósito abierto. En él, la ascensión de las burbujas de aire hace que los sólidos en suspensión suban a la superficie, de donde son retirados. La flotación puede eliminar más de un 75 % de los sólidos en suspensión.

La flotación como proceso de descontaminación se realiza con micro burbujas, de diámetros del orden de 15-100 micrómetros (*m) y con burbujas medianas (100-600 *m). En el primer caso, la capacidad de remoción de carga de estas burbujas es muy pequeña, sin embargo, hoy en día existen técnicas y equipos que generan burbujas de tamaño intermedio. Las burbujas se añaden, o se induce su formación, mediante uno de los siguientes métodos :

- Aireación a presión atmosférica (flotación por aireación).
- Saturación con aire a la presión atmosférica, seguido de la aplicación del vacío al líquido (flotación por vacío).
- Inyección de aire en el líquido sometido a presión y posterior liberación de la presión a que está sometido el líquido (flotación por aire disuelto FAD).

1) Flotación por aireación. En los sistemas de flotación por aireación, las burbujas de aire se introducen directamente en la fase líquida por medio de difusores o turbinas sumergidas. La aireación directa durante cortos periodos de tiempo no es especialmente efectiva a la hora de conseguir que los sólidos floten. La instalación de tanques de aireación no suele estar recomendada para conseguir la flotación de las grasas, aceites y sólidos presentes en las aguas residuales normales, pero ha resultado exitosa en el caso de algunas aguas residuales con tendencia a generar espuma.

2) Flotación por vacío. La flotación por vacío consiste en saturar de aire el agua residual directamente en el tanque de aireación, o permitiendo que el aire penetre en el conducto de aspiración de una bomba. Al aplicar un vacío parcial, el aire disuelto abandona la solución en forma de burbujas diminutas. Las burbujas y las partículas sólidas a las que se adhieren ascienden entonces a la superficie para formar una capa de espuma que se elimina mediante un mecanismo de rascado superficial. La arena y demás sólidos pesados que se depositan en el fondo, se transportan hacia un cuenco central de fangos para su extracción por bombeo. En el caso de que la instalación esté prevista para la eliminación de las arenas y si el fango ha de ser digerido, es necesario separar la arena del fango en un clasificador de arena antes del bombeo a los digestores.

3) Flotación por aire disuelto. Según (Veall, 1997) la flotación por aire disuelto es el procedimiento de flotación más común y se utiliza principalmente para el tratamiento primario de las aguas residuales de los mataderos. El aire se disuelve en el agua residual bajo presión ($3 - 4 \text{ m}^3 / \text{hora por m}^3$ de depósito) y posteriormente se transforma en micro burbujas (de 50 mm a 200 mm de diámetro) a presión atmosférica. La flotación por aire disuelto facilita la recuperación de sebos, aceites y grasas, sólidos suspendidos y la demanda bioquímica de oxígeno, por un total de un 30 por ciento a un 60 por ciento de sólidos suspendidos y de un 50 por ciento a un 80 por ciento de sebos, aceites y grasas

En los sistemas FAD (Flotación por Aire Disuelto), el aire se disuelve en el agua residual a una presión de varias atmósferas, y a continuación se libera la presión hasta alcanzar la atmosférica. En las instalaciones de pequeño tamaño, se puede presurizar a (275-483) kPa mediante una bomba la totalidad del caudal a tratar, añadiéndose el aire comprimido en la tubería de aspiración de la bomba. El caudal se mantiene bajo presión en un calderín durante algunos minutos, para dar tiempo a que el aire se disuelva. A continuación, el líquido presurizado se alimenta al tanque de flotación a través de una válvula reductora de presión, lo cual provoca que el aire deje de estar en disolución y que se formen diminutas burbujas distribuidas por todo el volumen de líquido.

En las instalaciones de mayor tamaño, se recircula parte del efluente del proceso de FAD (entre el 15 y el 20 por ciento), el cual se presuriza, y se semisatura con aire. El caudal recirculado se mezcla con la corriente principal si presurizar antes de la entrada al tanque de flotación, lo que provoca que el aire deje de estar en disolución y entre en contacto con las partículas sólidas a la entrada del tanque. Las principales aplicaciones de la flotación por aire disuelto se centran en el tratamiento de vertidos industriales y en el espesado de fangos.

La separación efectiva de los líquidos y sólidos del residuo, así como la concentración de los sólidos separados, depende de la generación suficiente de burbujas de aire por unidad de sólidos, lo cual se expresa por la relación aire a sólidos (A/S), como kg de aire liberado por kg de sólidos.

Cuadro 3: Valores de A/S para diferentes presiones de operación a 20 °C

Sólidos	Presión manométrica suministrada por el compresor, Pt							
	40	50	60	70	80	90	100	
Suspendidos								Psi
So (mg / L)	276	345	414	483	552	621	690	kPa
	2.068	2.585	3.102	3.619	4.136	4.653	5.17	mm Hg
1000	0.017	0.023	0.029	0.034	0.04	0.046	0.052	
900	0.019	0.025	0.032	0.038	0.045	0.051	0.057	
800	0.021	0.029	0.036	0.043	0.05	0.057	0.065	

(Romero, 1999)

Equipo requerido:

Bomba de presuización

Válvula de reducción de presión

Equipo de inyección de aire

Tanque de retención o saturador (para proveer contacto aire-líquido)

Unidad de flotación (donde tiene lugar la reducción brusca de la presión, por lo que el aire disuelto se libera, formando multitud de microburbujas de aire)

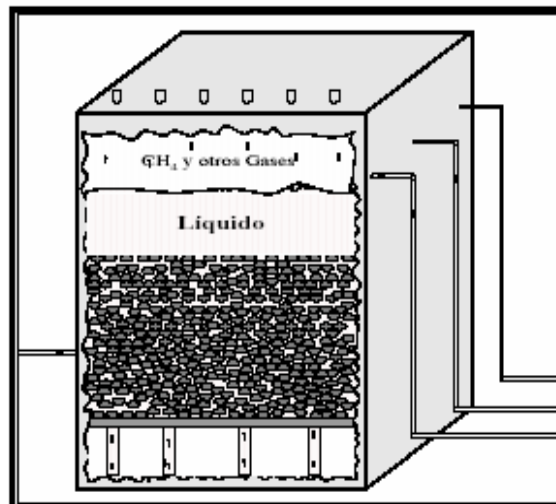
3. **Tratamiento secundario.** Una vez eliminados de un 40 a un 60% de los sólidos en suspensión y reducida de un 20 a un 40% la DBO₅ por medios físicos en el tratamiento primario, el tratamiento secundario reduce la cantidad de materia orgánica en el agua.

a. Tratamientos anaeróbicos. El tratamiento anaerobio es un proceso biológico ampliamente utilizado en el tratamiento de aguas residuales. Realmente, es un complejo proceso en el que intervienen varios grupos de bacterias, tanto anaerobias estrictas como facultativas, en el que, a través de una serie de etapas y en ausencia de oxígeno, se desemboca fundamentalmente en la formación de metano y dióxido de carbono. Cada etapa del proceso, que se describen a continuación, la llevan a cabo grupos distintos de bacterias, que han de estar en perfecto equilibrio.

El proceso de tratamiento anaerobio ha sido ampliamente conocido por su capacidad para convertir desechos en productos útiles, como metano, una excelente fuente de energía. El desarrollo del reactor anaerobio de manto de lodo de flujo ascendente UASB (por sus siglas en inglés Upflow Anaerobic Sludge Blanket) representa la principal ventaja de la digestión anaerobia como sistema de tratamiento de aguas residuales de alta carga.

1) Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA o UASB)

Ilustración 5: Esquema del Tratamiento secundario -Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente- (Silva, 2004)



En el caso de un matadero es tan grande la cantidad de sustancias presentes en el agua que el oxígeno no es suficiente y entonces deben usarse tratamientos de tipo anaeróbico, es decir, sin presencia de oxígeno.

En el proceso de digestión anaeróbica, la materia orgánica mezclada con lodos biológicos presedimentados, es convertida biológicamente, bajo condiciones anaeróbicas en una variedad de productos finales incluyendo metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). El proceso se lleva a cabo en un reactor hermético, el lodo es estabilizado y retirado del reactor reduciendo su contenido orgánico y patógeno.

La conversión biológica de la materia orgánica ocurre en tres etapas: hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis

En un reactor anaeróbico, todos los organismos anaeróbicos trabajan juntos para efectuar la conversión de lodos orgánicos y residuos

Un grupo de los organismos es responsable de la hidrolización de polímeros orgánicos y lípidos en compuestos más simples con cadenas menores, tales como monosacáridos, aminoácidos y otros compuestos

Un segundo grupo de bacterias anaeróbicas fermenta los productos de descomposición en ácidos orgánicos simples, el más común de los cuales en un digestor anaeróbico es el ácido acético. Este grupo de microorganismos descrito como no metanogénicos, consiste de bacterias anaeróbicas facultativas y anaeróbicas obligatorias. Todos estos organismos son identificados frecuentemente como acidógenos o formadores de ácidos.

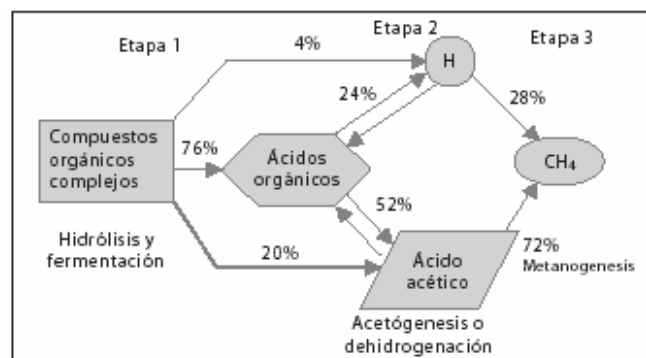
Un tercer grupo de microorganismos convierten el hidrógeno y ácido acético formado por los formadores de ácidos en gas metano y dióxido de carbono. Las bacterias responsables por esta conversión son estrictamente anaeróbicas y son llamadas metanogénicas. Las bacterias más importantes del grupo metanogénico son aquellas que utilizan el hidrógeno y ácido acético, ellas tienen tasas de crecimiento muy lentas.

La estabilización de residuos en la digestión anaeróbica es realizada cuando son producidos gas metano y dióxido de carbono. El gas metano es altamente insoluble y su salida de la capa biológica representa una verdadera estabilización de los residuos.

En un reactor anaeróbico, los dos principales caminos envueltos en la formación de metano son:

- La conversión de hidrógeno y dióxido de carbono en metano y agua
- La conversión de acetato en metano y dióxido de carbono

Ilustración 6: Etapas bioquímicas de cualquier proceso anaeróbico-reactores anaeróbicos o biodigestores- (Peralta, 2005)



El pH del medio acuoso debe extenderse entre el rango de 6.6 - 7.6 para asegurarse que el pH no bajará a 6.2 debido a que las bacterias metanogénicas no pueden funcionar bajo este punto. La temperatura óptima del proceso (20 – 30) °C

Los sistemas anaeróbicos han sido utilizados principalmente en la industrias que producen desechos muy concentrados de sustancias orgánicas, se utilizará para esta planta de tratamiento de aguas un reactor biológico anaerobio de flujo ascendente (RAFA) o PAMLA, UASB en inglés (Upflow Anaerobic Sludge Blanket); estos reactores resultan en general muy eficientes y económicos (De la Fuente, 1993:29).

Un reactor anaeróbico de flujo ascendente, consiste básicamente de un tanque en el fondo del cual se encuentra localizado un digestor y en la parte superior del mismo un sedimentador precedido de un sistema separador de gas. El agua residual a ser tratada es distribuida uniformemente en el fondo del reactor, fluye hacia arriba y pasa a través de una capa biológica de lodos, compuesta de gránulos formados biológicamente.

Ilustración 7: Diagrama esquemático de un reactor anaeróbico de flujo ascendente (Silva, 2004)

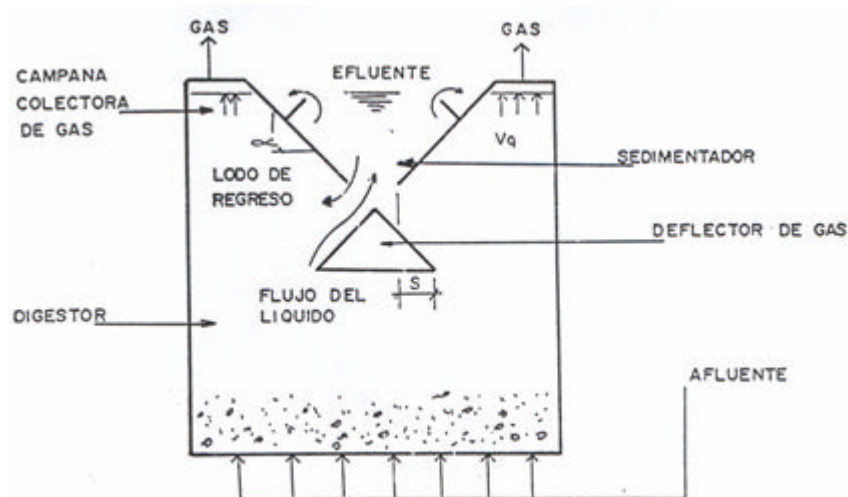
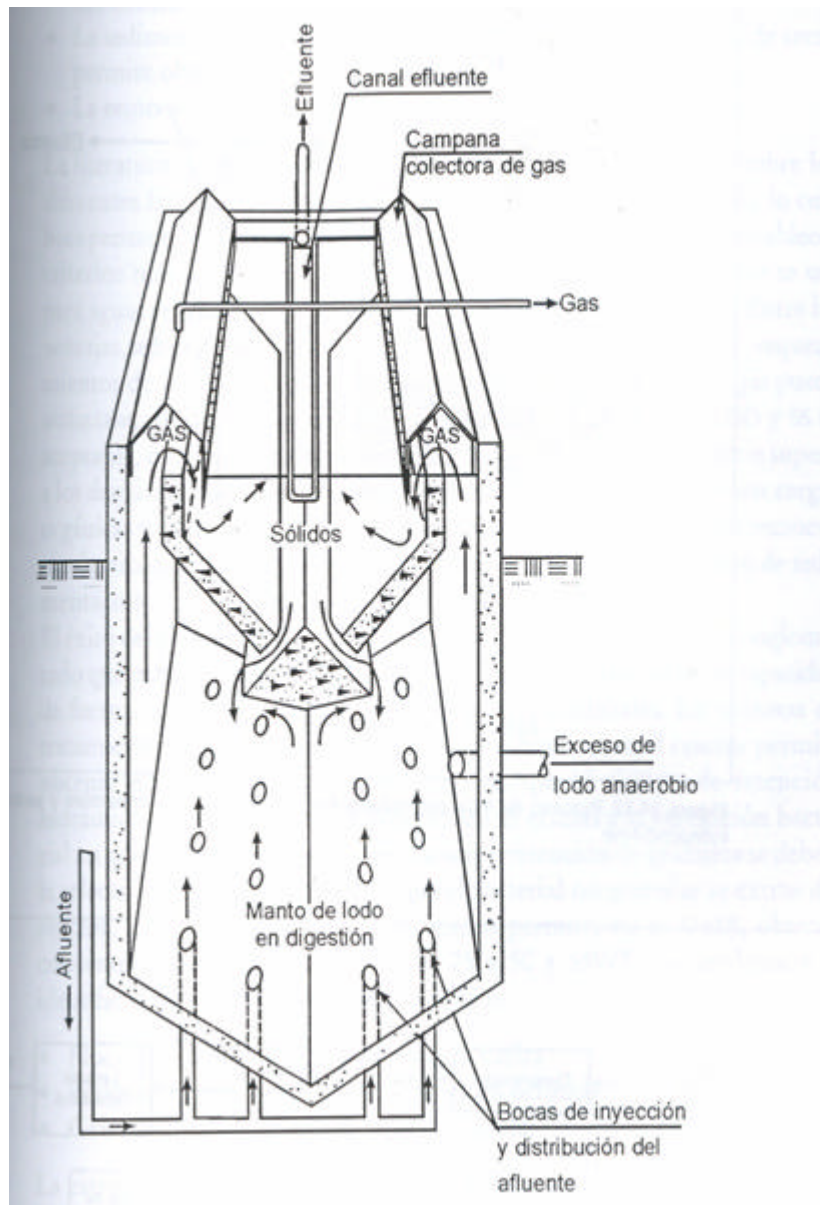


Ilustración 8: Paso del afluente en el reactor RAFA (Romero, 1999)



Estos gránulos son porosos y con una densidad poco mayor que la del líquido, con lo que se consigue un buen contacto de éste con la biomasa. Los reactores suelen tener en su parte superior un sistema de separación gas-sólido-líquido, puesto que se acumula biogás alrededor de las partículas, éstas manifiestan una tendencia a ascender separándose con estos dispositivos. Se consigue una alta concentración de biomasa dentro del reactor que conlleva una elevada velocidad de eliminación de materia orgánica con rendimientos elevados de depuración. El agua residual se introduce por la parte inferior, homogéneamente repartida y ascendiendo lentamente a través del manto de lodos (gránulos).

El tratamiento se efectúa por contacto del agua residual con el lodo granulado o floculento, en el cual se deben desarrollar bacterias con buenas características de sedimentación., bien mezcladas por el gas en recirculación. La concentración de SSV en el manto de lodos puede alcanzar hasta 100 g /L. Los gases de la digestión anaerobia se adhieren a los granos o partículas biológicas o causan circulación interna para proveer la formación de más granos. El gas libre y las partículas con gas adheridos se elevan hacia la parte superior del reactor. Las partículas que se elevan chocan con el fondo de las pantallas desgasificadotas para que el gas se libere. Los granos desgasificados caen de nuevo sobre la superficie del manto de lodos y el gas libre se captura en los domos localizados en la parte superior del reactor. La porción líquida fluye al sedimentador donde se separan los sólidos residuales del líquido. Esta recirculación interior de sólidos removidos permite edades de lodos prolongadas y hace innecesaria la recirculación externa de lodos.

En el reactor el afluente es bombeado hacia el sistema de distribución interno, entrando en contacto con la cama de lodo anaeróbico. Cada ramal tiene aperturas a través de las cuales fluye el afluente. Estos recorren todo el fondo del reactor. La reducción del DQO provoca la expansión/fluidización de la cama de lodo que es elevada por la velocidad ascendente producto de la generación de biogás (mezcla de gases entre el CO₂ de la respiración anaeróbica de las bacterias y el metano producto de la combustión y degradación del DQO) y la velocidad del líquido. Cuando el gránulo libera el biogás adherido a su superficie, el lodo vuelve a caer a la zona inferior del reactor, el biogás es colectado en las cámaras para tal fin y el agua residual tratada abandona el reactor por rebose. Esta dinámica ocurre continuamente dentro del reactor. El biogás generado da lugar a una agitación interior que interviene en la formación y mantenimiento de los gránulos, removiendo la cama de lodos y permitiendo el intercambio de estas con el agua residual. El elemento en donde se separan biogás, agua residual tratada y lodo es llamado separador trifásico. Éste consta de varias cámaras separadas por deflectores en las que el gas es recolectado.

Existen parámetros que se usan como criterios para realizar el dimensionamiento del reactor anaeróbico, en el diseño del reactor intervienen factores tanto de carga orgánica como de carga hidráulica.

Dentro de los parámetros limitantes, la altura útil prudente es de 6 m porque una altura arriba de este valor puede causar algunos problemas tales como la dificultad en la separación de sólidos y gas, formación de espuma, etc. Para aguas cuya DQO excede los 3,000 mg / L alturas de 5- 7 m son aceptables.

Los principales problemas que tiene este tipo de reactor son: puesta en marcha, ya que se ha de conseguir que se desarrollen gránulos lo más estables posibles, una cantidad de lodo granular que ocupe entre el 10 % y el 15 % del volumen total del reactor, es suficiente para garantizar el éxito de la puesta en marcha, si la biomasa está bien adaptada al sustrato.

Para la inoculación de un reactor RAFA el mejor inóculo sería un lodo ya granulado, proveniente de otros reactores RAFA, o lodos provenientes de reactores anaeróbicos. Normalmente se usa lodos de aguas residuales domésticas ya digerido, debido a la dificultad de obtención de lodo granulado.

Cuando el inóculo disponible no es de excelente calidad se debe tener mucho cuidado con la partida del reactor. En este caso, la partida debe ser dada lentamente con pequeñas cargas.

Una velocidad alta promueve mayor turbulencia y mejor contacto de la biomasa con el agua residual, pero puede poner en peligro la retención del lodo y producir lavado del reactor.

III. JUSTIFICACIÓN

En la problemática por proteger el medio ambiente de la exposición a agentes nocivos que deterioren sus cualidades naturales, la re inserción del agua en su ciclo ecológico es muy importante, porque este recurso es un elemento de estabilidad dentro del ecosistema.

En Guatemala, actualmente, los rastros tienen aguas contaminadas con residuos sólidos y líquidos (sangre, grasas, vísceras, etc de los animales sacrificados); que se descargan en los efluentes municipales.

Con el fin de garantizar la protección de la población y el equilibrio ecológico, es conveniente la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales que contribuya a proporcionar un sistema de gestión ambiental efectivo al reducir la carga de contaminantes que afectan negativamente los ecosistemas terrestres y acuáticos, mejorando de esta manera la calidad ambiental de la región.

Para los profesionales representa un desafío el diseño de procesos eficientes, así como implementar metodologías y herramientas que faciliten la determinación de alternativas de tratamientos de aguas residuales, a fin de fomentar el desarrollo industrial basado en procesos más limpios, que respalden la conservación de los recursos naturales

IV. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

1. Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales de un matadero para eliminar los desechos animales después del sacrificio y reducir los contaminantes que se arrojan a ríos, lagos y lagunas.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Establecer parámetros de las aguas residuales a tratar (temperatura, turbiedad, sólidos disueltos, olor, PH, concentración de grasas y aceites, oxígeno disuelto)
2. Determinar un sistema de tratamiento de aguas residuales a través de un tratamiento primario y secundario, que cumpla con normas de higiene vigentes, específicas para mataderos, establecidas por el sector sanitario.
3. Establecer dimensiones del equipo (tuberías, tanques, bombas, accesorios)
4. Estimar costos de inversión inicial, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas

V. PROBLEMA A RESOLVER

La prevención y contención de los desechos de la carne y de los subproductos es una necesidad económica y de higiene pública. La principal fuente de contaminación se encuentra en las aguas residuales de los mataderos que incluyen heces y orina, sangre, pelusa, lavazas y residuos de la carne y grasas de los canales, los suelos, los utensilios, alimentos no digeridos por los intestinos, las tripas de los animales sacrificados y a veces vapor condensado procedente del tratamiento de los despojos.

Evacuar las aguas residuales, a simple vista, parece sencillo, pero no es así, para lograrlo se requieren sistemas y procesos bien estructurados tales como: recolección, tratamiento y disposición final

Es necesario, pues darle tratamiento adecuado al agua residual de los mataderos, para que se pueda desechar al alcantarillado sin contaminar el medio ambiente.

VI. METODOLOGÍA

A. Análisis del agua

Determinación de parámetros de vertido del agua, estableciendo características de las aguas residuales del matadero en base a tablas

B. Estudio / Evaluación de posibles métodos de tratamiento

Con los resultados obtenidos al analizar el agua, se obtienen parámetros de cómo el agua sale del matadero (condiciones) y en base a ellas se investigan métodos diversos aplicables, tanto de tratamiento primario como de tratamiento secundario, para tratar el agua en cuestión

C. Evaluación de métodos

Se estudia cada método y su efectividad para reducir la carga de contaminantes, factibilidad de instalación, disponibilidad de equipo, etc.

D. Selección /determinación de tratamiento a aplicar

Con la previa evaluación de métodos se establece, tanto el equipo como el tratamiento a utilizar

E. Dimensionamiento

En base a los análisis de agua, el caudal de agua de desecho, se establece o dimensiona el equipo necesario para el diseño de la planta

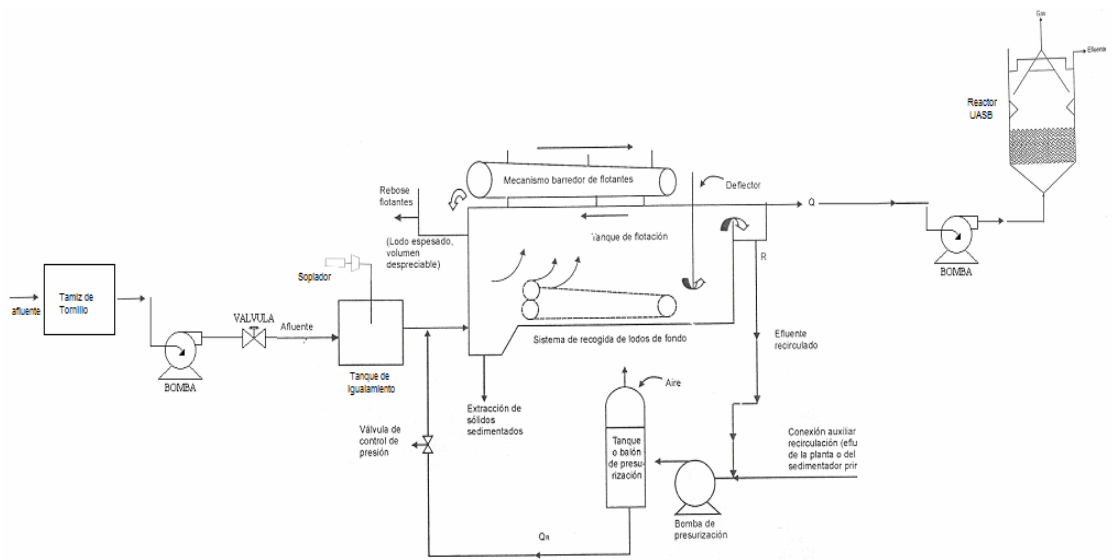
F. Costos

Estimado de costos de inversión inicial, operación de planta y mantenimiento de la misma

VII. RESULTADOS

A. Diagrama de flujo de la Planta

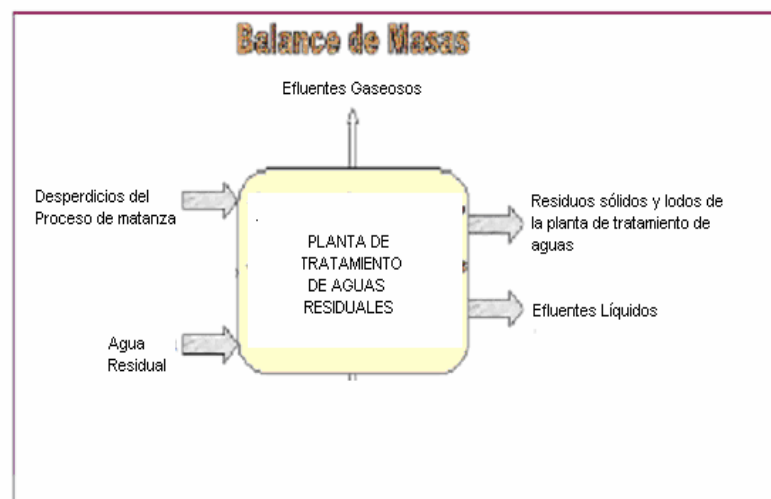
Ilustración 9: Diagrama de flujo de la planta



B. Balances

1. General

Ilustración 10: Balance general



2. **Debaste.** Esta etapa elimina pelo, carne, huesos, etc. Pero no reduce DBO, grasas, aceites ni sólidos sedimentables.

Cuadro 4: Balance para el debaste

Parámetro	ENTRADA	SALIDA	Unidad
Q	667	500.25	m ³ / día
Grasas	91.5	91.5	mg / L
SST	938.75	938.75	mg / L
S suspendidos	1009.17	1009.17	mg / L
DBO	3160.8	3160.8	mg / L
DQO	7881.25	7881.25	mg / L
Grasas y aceites	345.86	345.86	mg / L
DBO ₅	1986.6	1986.6	mg / L
pH	7.69	7.69	
S sedimentables	10	10	mL / L
N ₂	158.33	158.33	mg / L
P	26	26	mg / L

3. Tanque de homogenización. En esta etapa se regulan los caudales pico, para obtener caudales constantes.

Cuadro 5: Balance para la igualación

Parámetro	ENTRADA	SALIDA	Unidad
Q	500.25	500.25	m ³ / día
Grasas	91.5	91.5	mg / L
SST	938.75	938.75	mg / L
S suspendidos	1009.17	1009.17	mg / L
DBO	3160.8	3160.8	mg / L
DQO	7881.25	7881.25	mg / L
grasas y aceites	345.86	345.86	mg / L
DBO ₅	1986.6	1986.6	mg / L
pH	7.69	7.69	
S sedimentables	10	10	mL / L
N ₂	158.33	158.33	mg / L
P	26	26	mg / L

4. Tanque de flotación

Cuadro 6: Balance para la flotación

Parámetro	ENTRADA	SALIDA	Unidad
Q	500.25	480.24	m ³ / día
Grasas	91.5	45.75	mg / L
SST	938.75	234.69	mg / L
S suspendidos	1009.17	252.29	mg / L
DBO	3160.8	2054.52	mg / L
DQO	7881.25	5122.81	mg / L
grasas y aceites	345.86	34.586	mg / L
DBO ₅	1986.6	1291.29	mg / L
pH	7.69	7.69	
S sedimentables	10	10	mL / L
N ₂	158.33	158.33	mg / L
P	26	26	mg / L
Lodos		20.01	m ³ / día

En esta etapa se reduce 35 % de DBO y DQO, se reduce 75 % de sólidos en suspensión y 35 % de DBO₅, además de reducir 90 % de aceites y grasas (50 % grasas).

$$\text{DBO/ DQO} = 0.4$$

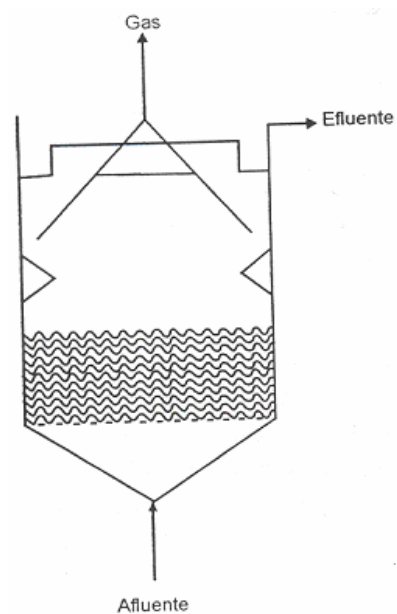
El cociente anterior ubica el agua de esta etapa en un agua accesible a un tratamiento biológico

Los resultados indican que el caudal de entrada es 500.25 m³/ día y que se reduce a 480.24 m³/ día en la salida del FAD esta disminución se debe a la extracción permanente de 20.01 m³/ día de lodo por el fondo del tanque.

Estos valores representan la diferencia entre la carga másica de entrada y salida de dicha unidad.

5. Reactor RAFA

Ilustración 11: reactor RAFA (Peralta, 2005)



Cuadro 7: Balance para el reactor RAFA

Parámetro	ENTRADA	SALIDA	Unidad
Q	480.24	201.7	m ³ / día
Grasas	45.75	45.74	mg / L
SST	234.69	117.34	mg / L
S suspendidos	252.29	126.15	mg / L
DBO	2054.52	205.45	mg / L
DQO	5122.81	512.28	mg / L
grasas y aceites	34.59	34.59	mg / L
DBO ₅	1291.29	129.129	mg / L
pH	7.7	7.0	
S sedimentables	10		mL / L
N ₂	158.33	94.52	mg / L
P	26	23.87	mg / L

En este reactor se elimina de un 85 a un 95 % de DQO, 50 % de sólidos suspendidos.

Según el proceso de digestión anaerobia que se desarrolla en el reactor RAFA, es de esperar que las formas oxidadas del nitrógeno y del fósforo, otorguen su oxígeno ligado químicamente (NO₃⁻ principalmente) al proceso de oxidación de la materia orgánica, alcanzando formas reducidas en el caso del nitrógeno y menores cantidades de fosfatos, debido a los procesos de mineralización del fósforo tanto orgánico como inorgánico, en el efluente producido.

Remoción de fósforo (mg / L) = 8.2 %

Remoción de Nitrógeno (mg / L) = 40.3 %

La Turbiedad ha sido removida hasta un valor máximo de 85 %

Cuadro 8: Distribución de concentraciones teóricas de DQO

DQO afluente	DQO lodo	DQO disuelto	DQO en CH ₄	DQO efluente
100 %	10 %	25 %	23 %	42 %

Composición de gas: Produce 65 – 80 % metano

Energía producida a partir del metano: 26.31 E 6 kJ / día

C. Equipo

1. Debaste

a. Equipo a Utilizar. Tamiz de tornillo T.T.400/3, este tamiz realiza tres funciones simultaneas: separación, elevación y compactación de los residuos sólidos arrastrados en el agua de lavado, procedentes de las industrias agro-alimentarias. Su instalación se realiza directamente sobre el canal de evacuación de las aguas residuales. Su funcionamiento es mediante sondas de nivel en el mismo canal.

Cuadro 9: Características del sistema de aireación

Construcción	acero inoxidable AISI – 304
Caudal	80 m ³ / h
Potencia instalada	1.1 kW 480 V AC 60Hz
Dimensiones estándar	Longitud total: 5,325 mm Diámetro zona del tamiz: 400 mm Diámetro zona de elevación: 200 mm
Sonda	De triple de nivel
Eje	Con núcleo de paso variable, con zona de compactación final
Sistema de lavado automático de la malla del tamiz	Mediante boquillas de limpieza acondicionadas a través de una electro válvula de 12.7 mm (½”) 24 V DC

Al utilizar el tamiz se garantiza no producir atascos en tuberías, bombas, así como también que el tamiz rotativo no se vea sobrepasado en exceso de carga (tripas, vísceras, pelos, etc.)

Ilustración 12: Tamiz de tornillo T.T.400/3 (Taesa, 2006)



La inyección de agua al reactor se realiza mediante la acción gravitacional y el agua que sale del mismo es bombeada por una *Bomba centrífuga que tiene* la función de trasladar el afluente al tanque homogeneizador en forma intermitente, el equipo para la conducción entre tamiz y unidad de homogeneización incluye un grupo de 2 unidades de electrobombas sumergibles (1 de reserva) con rodete tipo vortex de paso total para evitar bloqueos. El paquete incluye cadena de elevación y 10 m de cable eléctrico, controles de nivel mediante electrosondas en acero inoxidable, valvulería especial para aguas residuales.

Para instalación fija se coloca el pedestal, soporte y tubo guía inoxidable para izado de las bombas (Incluidos pedestales y guías, llave antirretornos y todos los accesorios)

Cuadro 10: Características técnicas para el kit de electrobombas sumergibles

Caudal en punto de trabajo	40 m ³ / h (hasta 50 – 60 m ³ / h)
Potencia	3.3 k W 480 V 60 Hz
Impulsión	76.2 mm (3") R.H.
Paso de sólidos	50 mm
conducción hasta tanque de regulación	De PVC PN10
Sistema de regulación de caudal	By-pass
Válvula	válvula de retención de bola
Cierre	Con doble juego de sellos mecánicos, lubricados en aceite

Aislamiento clase F. Protección IP-58

2. Tanque de homogenización

Cuadro 11: Ecuación y Homogenización

Característica	Medidas
Capacidad efectiva	400.2 m ³
Nivel mínimo	150 m ³
Capacidad total	500 m ³
Tiempo de residencia	18 horas

Figura 13: Tanque de homogenización

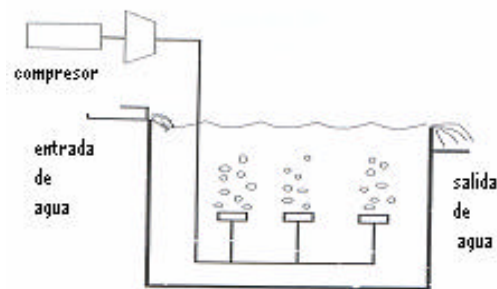


Figura 14: Ecuación con mecanismo de agitación (Agroinformacion S.L, 2004)



La salida de agua de este tanque hacia el tanque de flotación es por gravedad

a. Equipo a Utilizar. Depósito de homogenización mediante inyección de aire a través de difusores cerámicos que cuentan con un sistema de agitación y mezcla para evitar sedimentaciones y costras no deseadas en los depósitos de homogeneización y bombeo, se consigue una homogeneización del agua residual, uniformando sus características físico – químicas.

Cuadro 12: Características del sistema de aireación

Soplante	de tipo émbolos rotativos Caudal aspirado: 400 m ³ / h Presión diferencial: 35 kPa Velocidad soplante: 3,800 rpm Nivel sonoro: 67 dB A (con cabina de insonorización incluida) Potencia del motor: 11 kW 480 V 60 Hz IP-55 Se incluye filtro de aspiración silenciador, válvula de seguridad, válvula de retención, manguito elástico de impulsión, soportes antivibratorios
Difusores	de tipo EPDM “de plato” y burbuja fina de Ø 250 mm con válvula antiretorno de acropal Unidades: 80
Instalación	Bajante en AISI-304 desde la soplante hasta la entrada de la balsa 127 mm (5”) Llave de mariposa embridada manual DN125 Manómetro de glicerina control colmatación de la red Purga de condensados en 25.4 mm (1”), PVC y AISI-304 Conexión en PVC PN10 a parilla de difusores compuesta por ramales en PVC Ø 110 y portadifusores rosca 25.4 mm (1”), anclados al fondo de la balsa mediante piezas de acero inoxidable regulables en altura

El soplador de aire tipo émbolos rotativos es una máquina de émbolo rotatorio de eje interno. El rodete interior accionado (émbolo rotatorio) gira excéntricamente en el rodete cilíndrico exterior.

Los rodetes con una relación de transmisión de tres a dos giran uno frente al otro y sin contacto con la carcasa, alrededor de ejes de posición fija. A causa de la excentricidad se puede captar el volumen máximo, comprimirlo y expulsarlo, la magnitud de la compresión interna viene fijada por la posición del borde de salida. Por medio de unas aberturas de entrada y salida de gran superficie en el rodete exterior, se consigue un suministro casi continuo con tres llenados de cámara en cada revolución.

Figura 15: Soplador de aire - (Silva, 2004)

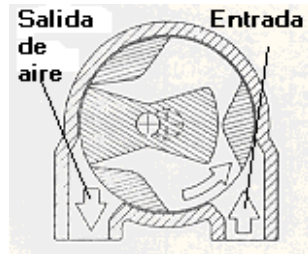
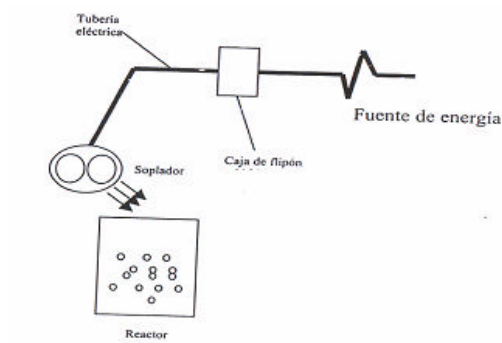


Figura 16: Instalación del soplador

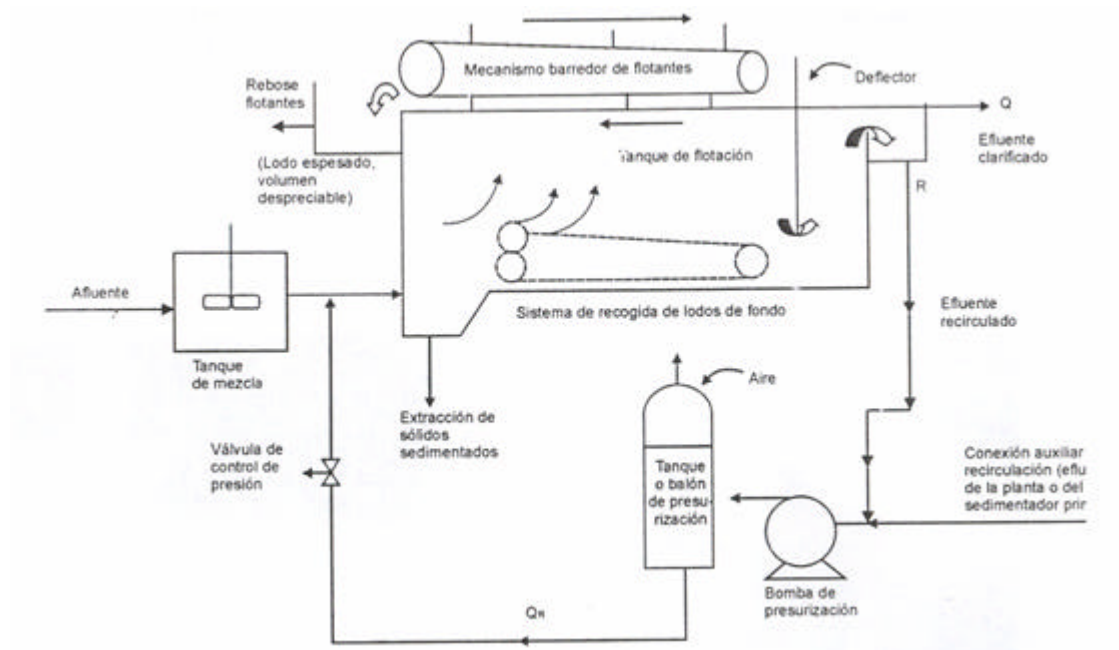


3. TANQUE DE FLOTACIÓN:

Cuadro 13: Datos del tanque de flotación

Característica	Medidas
Área superficial de flotación	50 m ²
Caudal de recirculación	596 m ³ /día

Figura 17: Esquema del FAD (Romero, 1999)



Se presuriza mediante una bomba (275-483) kPa y todo el afluente es retenido en un tanque a presión, durante varios minutos, para permitir la disolución del aire, posteriormente mediante una válvula reductora de presión, el afluente ingresa en el tanque de flotación, donde el aire se desprende de la solución, en burbujas pequeñas, en todo el volumen del tanque.

a. Equipo a utilizar. Unidad de flotación tipo DAF-30 (hasta 40 m³/ hora). El agua residual entra por bombeo en la unidad de flotación de forma uniforme consiguiendo rápidamente un régimen laminar en toda la sección transversal del tanque. Esto permite una óptima sedimentación de sólidos y una distribución homogénea de las microburbujas inyectadas.

La recirculación de la mezcla aire – agua es despresurizada en varios puntos del fondo del equipo, creando de esta forma millones de microburbujas que se adhieren a la grasa y partículas en suspensión presentes en el agua, haciéndolas flotar en superficie.

En la superficie de la unidad de flotación los fangos son barridos mediante un sistema de rasquetas accionado por un motor reductor (con variador mecánico) y conduciendo al contenedor o enviado por bombeo para su disposición final. Los sólidos sedimentables se recogen en el fondo del equipo y se evacúan de forma automática mediante válvulas temporizadas a un arenero.

Cuadro 14: Características técnicas de la unidad de flotación

Material	acero inoxidable AISI304
Dimensiones de unidad de flotación	8 m x 14 m x 2.3 m
Bomba de recirculación	Material: acero inoxidable Tipo: centrífuga de rodete abierto Potencia: 7.5 kW 480 V AC 60 Hz Presión: 784.80 kPa
Calderón de saturación	1000 L (con manómetro, sonda de nivel, válvula (timbrado) de seguridad, toma de aire comprimido con regulador, brida superior)
Tubería de recirculación para mezcla de aire-agua	de acero inoxidable y latiguillos de despresurización en material plástico de alta resistencia
Panel de control	neumático P.P. con tapa transparente de metacrilato
Sistema de rasquetas de barrido superficial	Fabricadas en material plástico de alta resistencia
Moto reductor	Con variador mecánico 0.18 Kw

Salida inferior de arenas mediante doble fondo provisto de válvula de mariposa tipo “waffer” de accionamiento neumático temporizado.

Nivel de salida de agua de altura regulable, con depósito de salida de agua y bomba centrífuga de trasvase para alimentación al reactor biológico

Incluida conducción en PVC PN10 hasta el reactor biológico y llaves neumáticas de doble efecto para manejar la alimentación al reactor.

4. REACTOR RAFA:

Cuadro 15: Reactor RAFA

Característica	Medidas
V	152.48 m ³
A transversal	28.59 m ²
H	5.3 m
pH	6.6 – 7.6
T	20 – 30 ° C

Las partes principales del reactor son: el sistema distribuidor del afluente en la parte baja del reactor y el separador de tres fases (gas, sólido, líquido) en la parte superior. El afluente es distribuido en el fondo y mezclado con la cama de lodo anaeróbico granular por el sistema de distribución del mismo. Los compuestos orgánicos son removidos del agua residual a medida que ésta asciende hasta la parte superior del reactor y son convertidos principalmente en biogás y algo de material celular. El lodo anaeróbico y el biogás son separados en el separador de tres fases (GSL). El biogás puede ser quemado o almacenado para usarlo después de ser tratado como combustible.

El reactor RAFA (Manto de Lodo Anaerobio de Flujo Ascendente) consta de tres partes esenciales: una zona de digestión, una zona de sedimentación y un separador gas - sólido- líquido (GSL)

En la zona de digestión, el afluente es homogéneamente distribuido en el fondo del reactor, y este asciende a través de un manto de lodo anaeróbico, los cuales son expandidos por la velocidad ascendente del flujo de agua. En esta parte se lleva a cabo la digestión, pues es aquí, donde los microorganismos tienen el mayor contacto con el sustrato orgánico y donde se realiza la digestión de la materia orgánica biodegradable del afluente.

La zona de sedimentación, se encuentra arriba del separador GSL. Es allí donde se retiene por sedimentación la biomasa y los sólidos que alcanzan este nivel del reactor y son regresados a la zona de digestión permitiendo darle un pulimento al efluente, y lograr retener la biomasa el mayor tiempo posible para optimizar la digestión. El efluente es evacuado por un desagüe. El biogás producido y que no se solubiliza en el agua, es recolectado en fase gaseosa en las campanas del separador GSL.

El separador gas-sólido-líquido (GSL) está localizado en la parte superior de la zona de digestión. Éste separador GSL está formado por lámparas deflectoras y campanas, sus principales funciones son: separar el biogás generado, prevenir el lavado de la biomasa actual (lodo flocculento y granular flotante), además de servir de barrera al manto de lodo debido a las altas cargas orgánicas.

En cuanto a la distribución de sólidos suspendidos totales (SST), cabe mencionar que existen tres zonas, una zona inferior de concentración alta (0 m a 1.80 m), una zona media de concentración baja (2.25 m a 3.15 m) y una zona superior (3.15 m a 4.05 m) donde la concentración de los ST incrementa notoriamente (3.60 m) para luego descender a los valores medidos en el efluente.

La zona inferior corresponde a lo que se denomina el lecho de lodos (zona de concentración de sólidos alta), la zona media correspondería al manto de lodos (zona de concentración de sólidos baja) tal como describe Sterling (1987). La zona media tiene un tope en la parte alta que corresponde a la altura donde está instalado el separador GSL, altura a partir de la cual la concentración de sólidos es más alta, entendiéndose que en esa zona existe un volumen de sedimentación (objetivo de la instalación del separador), correspondiendo la zona superior al comportamiento típico de un proceso de sedimentación propiciado por las paredes externas del separador GSL.

a. Equipo auxiliar

- Medidor del flujo de entrada, temperatura y pH (particularmente en la parte baja del reactor)
- Medidor de la producción de gas y su composición (CO_2 y H_2S)

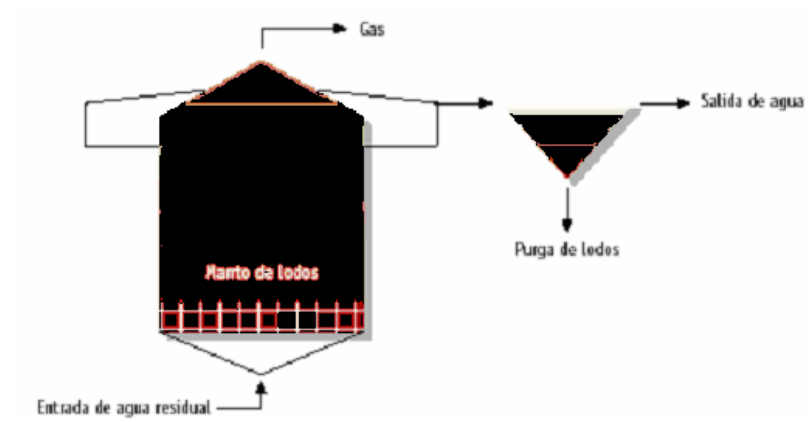
El reactor incluye inoculación de fango liofilizado. La inoculación de 30 kg de fango liofilizado, adaptado a sistemas UASB de alta carga, sirve de base para el crecimiento del sistema, acelerando el proceso de entrada en régimen del reactor.

b. Cuadro de control y maniobra para la planta biológica. Armario eléctrico realizado en poliéster, con todos los elementos de protección y maniobra necesarios para el funcionamiento manual de los equipos ofertados, con base a las siguientes especificaciones:

Cuadro 16: Cuadro de control y maniobra

Funcionamiento automático regulado mediante PLC (marca Siemens o similar) de libre programación, con OP (panel de operador) exterior para modificación de parámetros de funcionamiento desde display	<p>Furza: 480 V 60 Hz</p> <p>Maniobra y control de motores: 24 V AC</p> <p>Electroválvulas: 24 V DC</p> <p>Selectores manual o automático</p> <p>Alarma de averías visual y sonora</p> <p>Representación de estado de equipo y niveles en panel de operador</p> <p>Esquemas eléctricos CAD</p>
Características del PLC	<p>Memoria programa 8 kbytes de instrucciones</p> <p>Memoria de datos 2.2K</p> <p>256 marcas, contadores y temporizadores</p> <p>Función regular PID</p> <p>24 DI/ 16 DO integradas</p> <p>Reloj de tiempo real</p> <p>Alimentación 220 V AC / entradas 24 V DC / salidas a relé</p>
Características del panel de operador	<p>Terminal con 2 líneas de visualización</p> <p>20 caracteres (LCD retroiluminado)</p> <p>12 teclas de función</p> <p>9 teclas de servicio</p> <p>12 teclas numéricas</p> <p>Protocolo de comunicación transferible</p> <p>Multiidioma</p>

Ilustración 18: Reactor UASB (Silva, 2004)



c. Bombeo y extracción de fangos

- Bomba de fangos “vortex” 0 - 40 m³ / h
- Llaves y accesorios para instalación
- Conducción en AISI 25.4 mm (1”) hasta tanque deseado

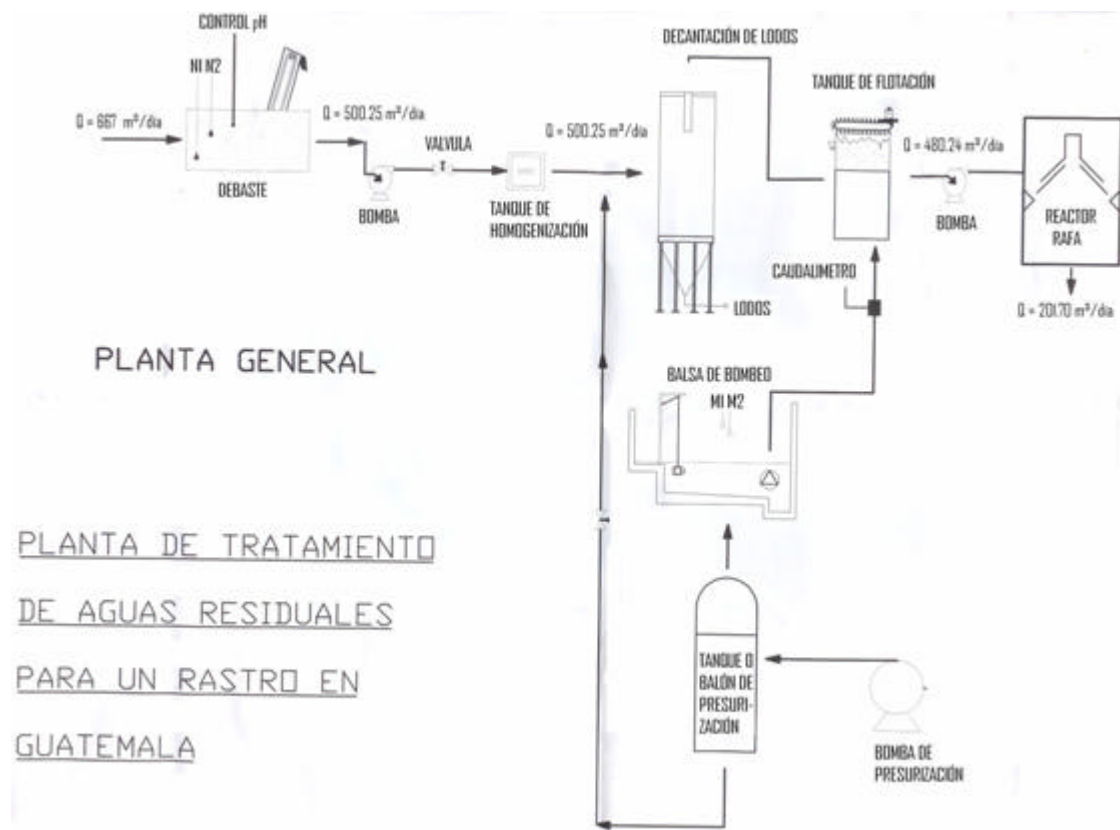
D. Datos Económicos

Cuadro 17: Resultados económicos

VAN	Q 10,204,211.88
TIR	46 %
TR	dos años y 26 días

E. Distribución de la Planta

Ilustración 19: Distribución de la planta



VIII. DISCUSIÓN

El uso de tecnologías de punta es una necesidad nacional cada vez más urgente a fin de lograr una planta productiva y competitiva, pero sobre todo eficiente, en este caso se trata de una planta con fines ecológicos, es una planta de tratamiento biológico que no precisa de productos químicos y su funcionamiento es totalmente automático.

Una planta de tratamiento para efluentes de mataderos, requiere ser diseñada para remover los niveles contaminantes de parámetros, tales como: aceites y grasas, sólidos suspendidos, DQO y microorganismos patógenos, entre otros. El propósito de establecimiento de los parámetros anteriores fue establecer niveles de contaminantes y flujos del efluente, para localizar y determinar el posible tratamiento para la reducción de los desechos.

Dentro del cuerpo del trabajo se desarrolló el diseño de la planta de tratamiento, partiendo de los parámetros del afluente para el matadero en cuestión: DBO, DQO, grasas y aceites, sólidos sedimentables, sólidos suspendidos, etc. (referirse a cuadro 1 Pág. No. 17). Los volúmenes de animales que se manejan dentro del rastro (350 reses y 200 cerdos) dan como resultado la producción de 667 m³ / día de aguas residuales, dichos efluentes son muy heterogéneos y generan emanaciones muy desagradables.

Partiendo de lo anterior se inició un proceso de investigación en el cual se logró determinar las alternativas de tratado más convenientes para tratar el agua en cuestión, de manera que ésta se pueda verter a la corriente municipal.

El tratamiento inicia con el debaste para el cual se emplea un tamiz de tornillo T.T. 400/3, para eliminar los sólidos flotantes como pelo, cuero, huesos, etc. evitando con esto la posterior obstrucción de bombas y tuberías. En esta etapa se pretende eliminar los sólidos gruesos para no dañar el equipo, es decir que se remueven constituyentes del agua residual que pueden causar problemas operacionales o de mantenimiento.

Se decidió utilizar esta clase de equipo automatizado en la planta porque según su forma de limpieza es más eficiente que un tanque con rejillas ya sea de limpieza manual o automática, además ocupa menor espacio y presenta una reducción y separación de sólidos que cumple con las necesidades de la planta.

Luego de este tanque el agua se traslada al tanque homogenizador en vista de la necesidad de amortiguar las variaciones del caudal. Se escogió para esta planta un depósito de homogenización mediante inyección de aire a través de difusores cerámicos.

El sistema de aireación está compuesto por un sistema de difusores de burbuja fina, tipo plato, con membrana de epdm de burbuja fina, ya que éstos proveen al tanque de una alta tasa de transferencia de oxígeno a un bajo costo, este difusor tipo disco presenta facilidad de instalación. Además el cuerpo del difusor es en polypropylene con membrana epdm, con conexión para ser atornillada. Y las membranas de caucho epdm, están basadas en etileno propileno dieno terpolímero, un compuesto de caucho sintético de alto rendimiento que provee características de resistencia para su uso en la planta de tratamiento.

Se decidió utilizar estos difusores para fomentar el aumento de transferencia de masa (se busca obtener burbujas pequeñas para incrementar el área interfacial), por lo que con este equipo se logra mantener controlados los límites de variación en las instalaciones de los tanques de tratamiento subsecuentes.

Para suministrar aire al sistema como fuente de oxígeno se escogió un soplador de aire tipo émbolos rotativos, en dicho soplador, la creación de la sobrepresión de carga y el paso del aire es muy rápido, la potencia necesaria para conseguir una elevada presión y un alto grado de flujo es relativamente baja, el aire se calienta muy poco por la sobrepresión, el rendimiento del compresor es muy bueno y el consumo de energía es muy bajo. Éste sistema de aireación evita la sedimentación de los sólidos y previene la emanación de olores.

El sistema de tuberías de distribución que están instaladas en el fondo del aparato, está motado sobre tubos de PVC de \varnothing 110 mm. El tanque presenta una capacidad efectiva de 400.2 m³, nivel mínimo 150 m³ y una capacidad total de 500 m³ (referirse a sección 12 para ver equipo y especificaciones)

Luego de haber determinado la parte del pretratamiento, se procedió a especificar el tratamiento primario. Se tomó para esta etapa el método de flotación, ya que en el tratamiento de aguas residuales, la flotación se emplea para la eliminación de la materia suspendida y para la concentración de los fangos biológicos. Al comparar este proceso con el de sedimentación se encontró que la principal ventaja del proceso de flotación frente al de sedimentación consiste en que la flotación permite eliminar mejor y en menos tiempo las partículas pequeñas o ligeras.

Ahora bien, al comparar el proceso de flotación y el de coagulación, se puede decir que se requieren menos coagulantes para la flotación ya que ésta no exige un floc pesado, lo que lo hace un proceso más económico en cuanto a inversión de reactivos. Normalmente el tanque de flotación es acondicionando para agregarle reactivos que aglutinen ó flocculen las materias y hacerlas flotar para poder ser arrastradas fuera de las aguas en la superficie del tanque de flotación, pero en el caso de esta planta no se utilizó ningún tipo de reactivo.

El equipo de flotación que se decidió instalar es un tanque de flotación por aire disuelto tipo DAF-30, en esta etapa se reduce 35 % de DBO y DQO, se reduce 75 % de sólidos en suspensión y 35 % de DBO₅, además de reducir 90 % de aceites y grasas (50 % grasas).

Se utiliza para disolver el aire en el agua residual (añadir las burbujas al tanque) la Flotación por Aire Disuelto de Alto Rendimiento ya que con éste método se consigue eliminar más rápida y eficazmente la materia suspendida presente en el vertido, además de un mayor espesamiento de los fangos biológicos, en este tanque se purgan 20.01 m³/ día de lodos.

En el tanque de flotación la remoción de materia suspendida es significativa ya que se contribuye a minimizar el impacto ambiental negativo a nivel general, ya que si el agua no pasara por este tanque se dejaría ir en el efluente final un alto porcentaje de sólidos y grasas (referirse a cuadro 6 Pág. No. 37 para ver el balance del tanque) que se remueven en esta unidad.

Ya que se han removido las grasas y un alto porcentaje de sólidos, corresponde eliminar la materia orgánica biodegradable presente en el agua, para lo cual se utilizó un proceso biológico que consiste en la oxidación biológica de los sólidos suspendidos remanentes y de los sólidos orgánicos disueltos.

Las aguas que se están tratando tienen una alta carga orgánica, por lo que un tratamiento anaerobio se presenta como única alternativa frente al que sería un costoso tratamiento aerobio, debido al suministro de oxígeno. El tratamiento anaerobio se caracteriza por la producción del denominado “biogás”, formado fundamentalmente por metano (60-80) % y dióxido de carbono (40-20) % susceptible de ser utilizado como combustible para la generación de energía térmica y/o eléctrica. Además, solo una pequeña parte de la DQO tratada (5-10) % se utiliza para formar nuevas bacterias, frente al (50-70) % de un proceso aerobio. Sin embargo, la lentitud del proceso anaerobio obliga a trabajar con altos tiempos de residencia, por lo que es necesario diseñar reactores o digestores con una alta concentración de microorganismos.

En esta planta se instaló un reactor RAFA, ya que dicho reactor se ha aplicado para tratar una variedad de aguas residuales industriales, destacándose por su capacidad de retener biomasa, por la formación de lodo granular con altas propiedades de sedimentación y por manejar altas cargas orgánicas, su factibilidad ha sido demostrada para aguas residuales de alta carga, como los efluentes de mataderos.

En el reactor RAFA los SST son los que mejor se remueven, se debe esperar de este reactor mejores resultados a mayores temperaturas, ya que con un pequeño aumento de la temperatura, el lecho de lodo se encuentra mejor definido y el manto de lodo se encuentra más extendido, esto también puede lograrse con el aumento de la velocidad ascensional del agua residual dentro del reactor. Cabe mencionar

además con respecto a los SST que poseen un alto porcentaje de materia orgánica no biodegradable, lo cual repercute en el proceso de formación de la biomasa activa. En estos reactores se soluciona el problema de recirculación de lodos al aumentar la concentración de biomasa en el reactor manteniéndola en su interior.

Lo anterior da una idea del impacto positivo que se obtiene con la aplicación de este tratamiento, al lograr un alto porcentaje de remoción de sólidos, permitiendo una alta clarificación del efluente.

Con respecto a la DQO es notorio que durante el tratamiento se logró alcanzar un alto porcentaje de remoción de la misma de 7881.25 mg / L en la entrada a la planta de tratamiento a 512.28 mg / L en la salida de la planta de tratamiento (referirse a cuadro 7 Pág. No. 39).

Por lo mencionado anteriormente se puede decir que la planta de tratamiento es efectiva para las aguas residuales del matadero, ya que la DQO del efluente tratado se encuentra dentro de los límites permitidos.

Es importante recordar que el análisis de la DQO representa la cantidad de materia orgánica presente en el agua ya sea biodegradable o no biodegradable y se cuantifica como mg /O₂ necesarios para su degradación y cabe recalcar que la materia orgánica en el agua procedente de aguas residuales es muy perjudicial si no se estabiliza o se remueve antes de ser vertida hacia cualquier cuerpo receptor, en este caso el vertido municipal. El vertido de esta agua sin tratar pudiera provocar problemas de eutrofización de lagos, disminución de oxígeno en ríos, cambios de temperatura, malos olores, etc., por lo que la remoción de la materia orgánica es fundamental.

Con respecto a la determinación de remoción de DBO se evalúa la cantidad de materia orgánica biodegradable que se está eliminando del efluente final de este tipo de industria, con el consiguiente beneficio que implica la disminución de materia que utilice en su remoción el oxígeno disuelto que tenga

un río u otro cuerpo receptor. Se sabe que en Guatemala ya muchos ríos se encuentran sobresaturados de este tipo de descargas con cantidades elevadas de materia orgánica que hacen que éstos sean incapaces de descargarla naturalmente, lo que provoca un impacto negativo en la ecología de dichos cuerpos de agua.

Si se hace referencia a la cuadro 7 Pág. No. 39 donde se encuentran los balances de masa se puede corroborar que en esta planta de tratamiento de aguas se ha removido un alto porcentaje de DBO.

La utilización de cualquier tratamiento que se pretenda aplicar a cualquier tipo de agua residual debe de poseer dentro de sus características el ser factibles tanto técnica como económicamente.

El costo total de este proceso debe considerarse como un costo de operación, ya que es responsabilidad de cualquier industria, organización y cualquier individuo proteger nuestros recursos naturales, situación que durante varios años no fue considerada una prioridad, haciendo caso omiso a los impactos que provoca el no tratamiento de los efluentes. Lo que desemboca en un costo mayor si tiene que recuperarse algún recurso hídrico por el mal manejo de los desechos. Es decir que con la instalación de la planta de tratamiento de aguas residuales se puede evitar un futuro estudio de impacto ambiental costoso y hasta un paro de la planta, lo que implicaría pérdidas para la misma .

En este caso se aumentó Q 14.50 al precio del producto procesado (reses y cerdos), para justificar la inversión de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se puede comprobar que el incremento en el precio del producto procesado no afecta de manera significativa al costo final (hacer referencia al cálculo 9 en el apéndice) y con ello, por un incremento marginal en el costo del producto final se permite un incremento potencial o exponencial en la mejora de la calidad del medio ambiente.

El valor de TIR en base al flujo de caja obtenido es 46 %, lo que indica que el proyecto es rentable, es decir, conviene invertir el capital en su implementación. Como método alternativo de evaluación para decidir si se acepta o rechaza el proyecto se utilizó el método del VAN obteniendo un valor de Q10,171,506.83 lo que indica que el proyecto proporciona esa cantidad de remanente sobre lo exigido. Con

esto se confirma que el proyecto al implementarse produce las utilidades deseadas, con lo que se logra tener un tiempo de recuperación de dos años y 26 días (referirse a ilustración 21 Pág. No. 80).

Para el montaje y puesta en marcha se contrata a un asesor ú oficial especializado perteneciente a la empresa que proporciona las unidades paquete de la planta de tratamiento de aguas residuales, se pretende que ésta persona asesore la instalación de los reactores y la obra civil; además de que proporcione asesoría en el modo de operación de la planta, incluyendo con esto manuales de la misma, lo anterior por un costo de Q 75,000.00 por 5 semanas.

Para el montaje (4 semanas) y puesta en marcha (1 semana) se necesita la colaboración de dos soldadores y sus ayudantes, 2 mecánicos y sus ayudantes, 1 electricista y su ayudante contratados por la cantidad de Q 28,875.00 (referirse a tabla cuadro 25 Pág. No. 67 para ver detalle).

Para la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento se tendrá a cargo a 3 técnicos y sus ayudantes por un costo total mensual de Q 17,088.78 (referirse a cuadro 26 Pág. No.68), trabajando en turnos rotativos de 8 horas, para que la planta de tratamiento de aguas sea monitoreada las 24 horas.

IX. CONCLUSIONES

- A.** El tratamiento anaerobio de efluentes residuales presenta ventajas económicas (ahorro energético) frente al tratamiento aerobio en relación al consumo necesario en los tratamientos aerobios para bombear el aire o el oxígeno.
- B.** Las ventajas económicas del tratamiento anaerobio de efluentes residuales ante el tratamiento aerobio, son consecuencia la generación de una menor cantidad de lodos más estabilizados y de más fácil tratamiento.
- C.** Los efluentes provenientes de la industria de la carne pueden ser tratados en reactores cerrados. Este tipo de tratamiento requiere poco espacio, tiene un bajo costo de operación, baja producción de lodos y genera biogás, que puede ser reutilizado o comercializado
- D.** La flotación presenta ventajas ante la coagulación y la sedimentación ya que las tasas altas de flujo, mayores cargas superficiales y períodos de retención cortos permiten la construcción de tanques más pequeños con menores requerimientos de espacio y menor costo y debido a los periodos cortos de retención y la presencia de oxígeno disuelto en el efluente, con lo que se disminuye la presencia de olores.
- E.** Con la instalación de la planta de tratamiento de aguas residuales se logra una remoción de grasas y aceites del 90 %, de DBO y DQO de 93.5 % y de sólidos suspendidos 87.50 %
- F.** El proyecto presenta una TIR de 46 % y un VAN de Q 10,171,506.83. Ambos criterios de evaluación económica indican que el proyecto es rentable.

X. RECOMENDACIONES

- A.** Desarrollo de sistemas biotecnológicos de alta tasa compactos y robustos, así como la introducción de sistemas de control y monitoreo avanzados que permitan reducir la necesidad de espacios más grandes, mejorar la calidad del afluente, disminuir el uso de químicos y abaratar los costos en energía y operación.

- B.** Para llevar un control de tratamiento se recomienda tomar muestras, tanto de la entrada como de la salida de la planta de tratamiento de aguas industriales para corroborar el buen funcionamiento de la misma (eficiencia y remoción de nutrientes así como DQO y DBO)

- C.** Se recomienda para el aprovechamiento de los lodos el compostaje y su posterior uso como abono o enmienda del suelo, siempre que se tengan en cuenta los requisitos higiénicos y de concentración de metales pesados establecidos.

- D.** Se recomienda la recuperación y el uso del metano como una alternativa mas limpia que los combustibles fósiles tradicionales.

- E.** Se recomienda la producción de energía a partir del metano recuperado al reutilizarlo como combustible para la caldera del matadero.

XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuerdo 236-2006 Reglamento de descargas de aguas residuales a cuerpos receptores* [en línea]. Diario de Centroamérica, Guatemala Jueves 11 de mayo del 2006. <http://www.marn.gob.gt/info/acuerdos/AcuerdoGuber236_06Descarga%20y%20reuso%20AguasResiduales.pdf>
- Agroinformacion S.L., [en línea]. [Copyright © 2002 - 2004] Los Barrios (Cádiz), España <<http://www.agroinformacion.com/leer-contenidos.aspx?articulo=236>>
- CASTRO, F; OLIVARES, G.C; CHAMY, R; ILLANES, A. 2002 *Evaluación de alternativas de tratamiento de aguas residuales para pequeñas comunidades*. Universidad católica de Valparaíso, Chile. Escuela de Ingeniería Bioquímica. 113 págs.
- Centro panamericano de Ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente 2001 “Avaliação dos serviços de água potável e saneamento 2000 nas Américas”. [Guatemala, en línea]. <<http://www.cepis.ops-oms.org/powwww/eva2000/guatemala/informe/inf-02.htm>>
- Comisión nacional del medio ambiente- Región metropolitana. 1998. *Guía para el control y prevención de la contaminación industrial, Industria procesadora de la carne*. [en línea]. Santiago, Chile. <http://www.sinia.cl/1292/articles-26231_pdf_carnes.pdf>
- Del Busto Brol, Bruno. 1995 *Documentos Básicos de la Comisión Nacional del Medio Ambiente de Guatemala (CONAMA) (Un proyecto conjunto del Consejo de la Tierra y CONAMA de Guatemala con financiamiento de la Fundación Ford)*. [en línea]. Guatemala. <<http://www.ecouncil.ac.cr/centroam/conama/conam.htm>>
- Director General, de la Dirección General de Regulación, Vigilancia y Control de la Salud del Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social 2003 *Norma sanitaria para la autorización y control de fábricas de embutidos y productos cárnicos procesados en general No. 003-2003* [en línea]. Guatemala. <<http://www.mspas.gob.gt/DGRVCS/DRCA/REGULACIONES/Normativas/Norma%20Carnicos.pdf>> [Consulta: 27 de mayo del 2003]
- Fondo de desarrollo e innovación, INTEC. 1998. *Documento de difusión Opciones de gestión ambiental, sector mataderos*. Proyecto: Apoyo a la gestión medioambiental de la PYME a través del fortalecimiento de la oferta. Chile. <<http://www.p2pays.org/ref/20/19338.pdf>>

GÓMEZ CADENAS, Mirna Concepción. 2002 *Evaluación del proceso coagulación-floculación en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales de una empresa manufacturera de jabones, detergentes, dentríficos y desinfectantes*. [ESTUDIO ESPECIAL, en línea]. UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, FACULTAD DE INGENIERÍA, ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y RECURSOS HIDRÁULICOS ERIS. Guatemala. <<http://www.cepis.org.pe/bvsatesis/mgomez.pdf>>

Metcalf & Eddy. 2003 *Wastewater Engineering treatment and reuse*. 4ta edición. Nueva York. McGraw-Hill. 1819 págs.

Pérez, José Manuel; Pratt, Lawrence 1997 *Análisis de Sostenibilidad de la Industria Avícola en Guatemala* [en línea]. <<http://www.incae.edu/ES/clacds/investigacion/pdf/cen723.pdf>>

Reynolds, Kelly A. 2002 *Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica Identificación del Problema* [en línea]. <<http://www.agualatinoamerica.com/docs/PDF/DeLaLaveSepOct02.pdf>>

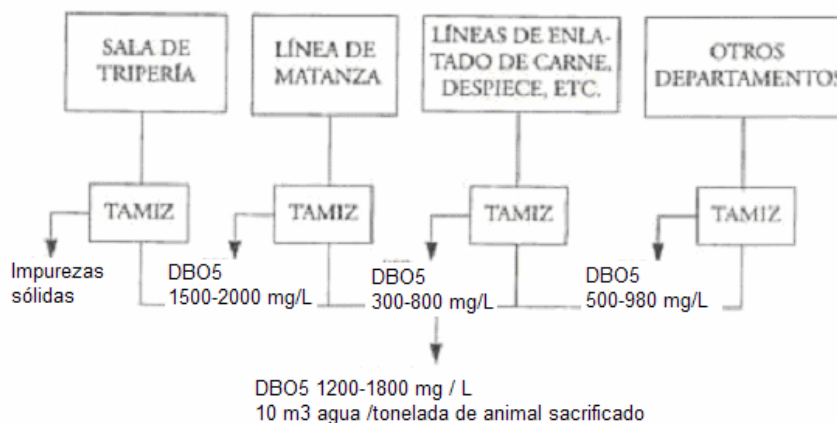
VEALL, Frederick 1997 *Estructura y funcionamiento de mataderos medianos en países en desarrollo*. (ESTUDIO FAO PRODUCCION Y SANIDAD ANIMAL) [en línea]. <<http://www.fao.org/DOCREP/004/T0566S/T0566S00.htm>>

XII. APÉNDICE

A. Parámetros de efluentes de mataderos

El flujo de las aguas residuales hasta su descarga, con indicación de la DBO₅, según su procedencia en el matadero. La mezcla total de ellas suele tener una DBO₅ de 1200-1800 mg / L. Los datos son suponiendo que antes de la descarga se hace un tamizado grueso de las aguas para eliminación de impurezas sólidas.

Ilustración 20: Tratamiento de las aguas residuales en industrias cárnicas (Veall, 1997)



Cuadro 18: Carga contaminante de residuos de matadero

	DBO mg / L	Litros agua/ tonelada de animal vivo	DBO en Kg/ tonelada
Sangre cruda animal	200.000	35	7.0
Agua de lavado de tripas y contenidos intestinales	80.000	35	2.8
Agua residual de planta de fusión	20.000	14	0.28
Agua residual de plantas de harina de subproductos	2.000	45	0.10
Agua residual de planta de deshidratación de sangre	4.000 - 6.000	26	0.15
Total del matadero	1.200 - 1.800	10.000	9.15

Es importante saber que por término medio, se suelen usar 10 m³ de agua por tonelada en vivo de animales sacrificados y que la DBO₅ referida también al peso de los animales es de 9-15 kg/1.000 kg. (Agroinformación, 2004)

Cuadro 19: Características del efluente de mataderos (Kg DQO + N total / tonelada de animal faenado)

PROCESOS	PORCINOS	VACUNOS
Matanza	10.0	14.8
Procesamiento de estómago e intestino	6.5	11.1
Descarga de sangre	17.8	29.5
Descarga de proceso de estómago e intestinos	6.5	45.1

En el cuadro 19 se muestran datos de la carga de los efluentes en mataderos en Holanda, la carga se da como cantidad de oxígeno consumida (=DQO + N total por tonelada de animal faenado). Las cifras dan una indicación de la carga orgánica total (demanda de oxígeno) de los procesos de faenamiento.

El consumo de agua en los mataderos e industria de procesamiento de carnes, tanto de lavado como de enfriamiento, varía bastante de planta a planta. A continuación se muestran datos de consumo de aguas en Holanda (datos recabados en mediciones efectuadas por INTEC- CHILE)

Mataderos de cerdos 1.5 - 10 m³ / t producto

Mataderos de vacunos 2.5 - 40 m³/t producto

Procesamiento de carnes 2.0 - 60 m³ /t producto

Cuadro 20: Composición típica de residuos líquidos en mataderos y plantas de procesamiento de carnes

COMPONENTES	UNIDADES	CONCENTRACIÓN
DQO total	mg / L	1.850
DBO5 total	mg / L	570
P total	mg / L	16
Sólidos suspendidos	mg / L	800
Grasas	mg / L	75
Ph	--	6.8 – 7.1

En el cuadro 20 se muestran composiciones típicas de efluentes de plantas que están compuestas de mataderos y procesamiento de subproductos y carnes. Estos valores se comparan con los de industrias chilenas que aparecen en el cuadro 21. Si bien estos datos corresponden a mediciones puntuales, se puede apreciar que en general los valores a nivel nacional son considerablemente más altos.

Cuadro 21: Concentraciones de contaminantes en residuos líquidos de mataderos

Componentes	unidades	Matadero 1	Matadero 3	Matadero 4
DQO	mg/l		16.400	11.950
DBO	mg/l	1.204	1.100	7.000
SST	mg/l	965	890	1.100
Grasas y aceites	mg/l	717	340	114
PH	--	10	7	7.2

Mediciones efectuadas por INTEC-CHILE (Fondo de desarrollo e innovación, 1998)

Cuadro 22: Diámetro de tuberías (Romero, 1999)

Caudal de diseño (m ³ /d)	Diámetro (in)
< 302	6
303 – 643	8
643-1098	10
1098 -1779	12
1779 – 3104	15
3104 – 4921	18
19321 – 7192	21

Cuadro 23: Fecha máxima de cumplimiento para alcanzar los parámetros establecidos por la ley de aguas (DIARIO DE CENTRO AMÉRICA, 11 MAYO DEL 2006)

Componentes	valores iniciales	Fecha máxima de cumplimiento			
		02-May-11 etapa1	02-May-15 etapa2	02-May-20 etapa3	02-May-25 etapa4
grasas	±7 TCR	±7 TCR	±7 TCR	±7 TCR	±7 TCR
sólidos suspendidos	3500	600	400	150	100
Grasas y aceites	1500	100	50	25	10
DBO5					
pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
materia flotante	Presente	Ausente	ausente	ausente	ausente
Nitrógeno total	1400	100	50	25	20
fósforo total	700	75	30	15	10

B Análisis económico

Cuadro 24: Costos de construcción e instalación

Artículo	Cantidad	Precio unitario (Q)	Total (Q)
Tamiz de tornillo T.T.400/3	1	171,327.50	171327.5
Depósito de homogenización mediante inyección de aire por difusores	1	245,125.02	245125.02
Unidad de flotación tipo DAF-30	1	1,236,262.17	1236262.17
Costo de obra civil (incluye excavación)	1	5600	5600
kit de 2 electro bombas sumergibles	1	11,835.63	11835.63
difusor burbuja fina tipo plato con membrana epdm	10	388.64	3886.40
Cables No. 12 (m)	40	1.68	67.20
Dirección de montaje y puesta en marcha	5 semanas	75,000.00	75,000.00
Montaje	5 semanas	28,875.00	28,875.00
Cuadro eléctrico de control y maniobra para planta biológica	1	204,760.95	204,760.95
Equipamiento de reactor biológico anaerobio UASB	1	2,083,539.06	2,083,539.06

TOTAL CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN(Q)	4066278.93
--	------------

Cuadro 25: Montaje

personal	cantidad	Q (día)	Q (35 días de montaje)
soldadores	2	100	7000
ayudantes	2	50	3500
mecánicos	2	100	7000
ayudantes	2	50	3500
electricista	1	150	5250
ayudantes	1	75	2625

Total montaje (Q)	28,875.00
--------------------------	-----------

Cuadro 26: Planilla

En la planta hay 3 operadores cada uno con sus ayudantes y se trabaja en turnos de 8 horas

Descripción del puesto	Salario base (Q)	Costos de cuotas patronales						
		IGGS	IRTRA	INTECAP	INDEMNIZACIÓN	BONO 14	AGUINALDO	VACACIONES
Operador	2600	277.42	26	26	216.58	216.58	216.58	108.16
Ayudante	1300	138.71	13	13	108.29	108.29	108.29	54.08
Total mensual (Q)	3900	416.13	39	39	324.87	324.87	324.87	162.24
Total anual (Q)	46800	4993.6	468	468	3898.44	3898.44	3898.44	1946.88

Cuota laboral IGSS	Bono por decreto	Total recibido Empleado	costo total patronal	Razon total prestaciones	Pago a instituciones	Provisiones Patronales	extras por despido	Total para indemnización	Costo total Patrono	Salario real empleado
120.75	250	2129.25	3545.5	41.82 %	437.5	728.75	34.71	242.96	3830.21	3270.5
86.94	251	1462.06	2552.76	41.82 %	315	524.7	24.99	174.93	2828.75	2425.76
207.69	501	3591.31	6098.26		752.5	1253.45	59.70	417.89	6658.96	5696.26
2492.28	6012	43095.72	73179.12		9030	15041.4	716.38	5014.66	79907.5	68355.12

Cuadro 27: Porcentajes utilizados para el cálculo de salarios y prestaciones

PRESTACIÓN	PORCENTAJE
IGSS	10.67 %
IRTRA	1.00 %
INTECAP	1.00 %
Aguinaldo	8.33 %
Bono 14	8.33 %
Pasivo	8.33 %
Otros	8.33 %
TOTAL	46.00 %

Cuadro 28: Flujo de caja del proyecto

Año	0 (Q)	1 (Q)	2 (Q)	3 (Q)	4 (Q)	5 (Q)	6 (Q)	7 (Q)	8 (Q)	9 (Q)	10 (Q)
Recuperación de Inversión		2.488.200,00	2.488.200,00	2.488.200,00	2.488.200,00	2.488.200,00	2.488.200,00	2.488.200,00	2.488.200,00	2.488.200,00	2.488.200,00
Egresos (CV)		408.379,31	408.379,31	408.379,31	408.379,31	408.379,31	408.379,31	408.379,31	408.379,31	408.379,31	408.379,31
Depreciación maquinaria		406.627,89	731.930,21	585.544,17	468.435,33	374.910,92	299.684,76	266.341,27	266.341,27	266.341,27	399.715,22
Utilidad Bruta		3.303.207,20	3.628.509,51	3.482.123,47	3.365.014,64	3.271.490,22	3.196.264,06	3.162.920,58	3.162.920,58	3.162.920,58	3.296.294,53
Impuesto		-165.160,36	-181.425,48	-174.106,17	-168.250,73	-163.574,51	-159.813,20	-158.146,03	-158.146,03	-158.146,03	-164.814,73
Utilidad Neta		3.138.046,84	3.447.084,04	3.308.017,30	3.196.763,91	3.107.915,71	3.036.450,86	3.004.774,55	3.004.774,55	3.004.774,55	3.131.479,80
Depreciación maquinaria		-406.627,89	-731.930,21	-585.544,17	-468.435,33	-374.910,92	-299.684,76	-266.341,27	-266.341,27	-266.341,27	-399.715,22
Inversión Inicial	4066278,93										
Flujo de caja		2.731.418,95	2.715.153,83	2.722.473,13	2.728.328,57	2.733.004,80	2.736.766,10	2.738.433,28	2.738.433,28	2.738.433,28	2.731.764,58

Cuadro 29: Valor Actual Neto

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valores presentes (Q)	-	2395981,53	2089222,71	1837591,82	1615389,54	1419437,05	1246833,82	1094380,14	959982,58	842090	736876,58

VAN (Q)	10,171,506.83
---------	---------------

C. Cálculos realizados

1. Cálculo del caudal:

$$350 \text{ reses} \times \frac{320 \text{ kg peso promedio en vivo}}{1 \text{ res}} + 200 \text{ cerdos} \times \frac{107 \text{ kg peso promedio en vivo}}{1 \text{ cerdo}} =$$

$$(112000 + 21400) \text{ kg} = 133400 \text{ kg}$$

$$133400 \text{ kg} \times \frac{5 \text{ L de consumo de agua}}{1 \text{ kg de peso en vivo}} \times \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ L}} = 667 \text{ m}^3 / \text{ día}$$

2. Tiempo de residencia en el tanque de homogenización:

$$Tr = Vb / Fp$$

Donde:

Tr = Tiempo de retención en horas

Vb = Volumen del equalizador-homogenizador, en m³

Fp = flujo de reses-cerdos en m³-hora

$$Tr = 500 \text{ m}^3 / 27.79 \text{ m}^3 \text{-hora}$$

$$Tr = 18 \text{ horas}$$

3. Tanque de Flotación (área superficial y Q_R). El sistema de FAD, con recirculación, exige el cálculo de la recirculación requerida para la presión óptima de trabajo y para la relación A/S recomendada, así como el cálculo del área de flotación.

$$\frac{A}{S} = \frac{\text{mg / L de aire liberado por la despresurización } Q_R [f (P_t - P_v) - (P_l - P_v)]}{\text{mg / L de sólidos en el afluente } S (760 - P_v)}$$

$$A/S = C_d Q_R [f (P_t - P_v) - (P_l - P_v)] / S_o Q (760 - P_v)$$

Donde,

A/S = relación adimensional aire/ sólidos

d = densidad del aire a las condiciones planteadas (mg / mL)

S_o = concentración de sólidos suspendidos del afluente

C = solubilidad de saturación del aire a 1 atm, (mL/L)

P_t = presión absoluta de operación (mm de Hg)

P_l = Presión local atmosférica (mm de Hg)

P_v = presión de vapor del agua a la temperatura de operación (mm de Hg)

f = fracción de aire disuelto, a la presión P_t, generalmente 0.5

Q_R = caudal de recirculación

Para diseñar el tanque de flotación se supone que se concentra lodo primario con 0.3 % de sólidos en un lodo de 4% de sólidos, supongo las siguientes condiciones

$$A/S = 0.01$$

$$\text{Temperatura} = 20 \text{ } ^\circ \text{C}$$

$$\text{Solubilidad del aire} = 18.7 \text{ mL/ L}$$

Presión barométrica = 760 mm Hg

Fracción de saturación = 0.5

Carga superficial = 20 m /d

Caudal de lodos = 400m³/d

Presión de vapor = 17.6 mm Hg = 2.34 kPa

Densidad del aire = 1,205 mg / mL

Presión de trabajo = 276 kPa = 40 psi

3 % sólidos en lodo

4 % sólidos

$$A/S = C_d Q_R [f (P_t - P_v) - (P_l - P_v)] / S_o Q (760 - P_v)$$

$$0.01 = 18.7 (1,205) Q_R [0.5(P_t - 17.6) - (760 - 17.6)] / 3 (400) (760 - 17.6)$$

$$P_{tm} = 40 \text{ psi} = 2.068 \text{ mm Hg}$$

$$P_t = 2.828 \text{ mm Hg abs}$$

$$0.01 = 18.7 (1,205) Q_R [0.5(2.828 - 17.6) - (760 - 17.6)] / 3 (400) (760 - 17.6)$$

$$Q_R = 596 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_R = 149 \%$$

Área superficial de flotación

$$A = (Q + Q_R) / CS$$

$$A = [(400 + 596) \text{ m}^3/\text{d}] / (20 \text{ m} / \text{d}) = 50 \text{ m}^2$$

4. Reactor UASB (carga orgánica). Por carga orgánica: en base a la descarga diaria de DQO y la carga volumétrica (kg DQO / m³ reactor día) escogida para trabajar

Datos requeridos:

CO = Carga orgánica de diseño (8-20 kg DQO / m³ día)

DQO_{af} = Demanda química de oxígeno en el afluente (mg / l)

Q = Caudal del afluente (m³ / día)

Cuadro 30: Carga de DQO para reactores UASB para remover de 85 a 95 % de DQO, para un agua residual con DQO de (6000 – 9000) mg / L de DQO

Fracción como partícula de DQO	Lodo floculante (kg de DQO / m ³ día)	Lodo granular con remoción alta de SST (kg de DQO / m ³ día)	Lodo granular con remoción baja de SST (kg de DQO/ m ³ día)
0.10 – 0.30	4 – 6	4 – 6	15 – 20
0.30 – 0.60	5 – 7	3 – 7	15 – 24
0.60 – 1.00	6 – 8	3 – 8	----

(Metcalf & Eddy, 2003:1001)

Cálculos:

$$CO = \frac{DQO_{af} (mg / L) \times Q (m^3 / día)}{V(m^3) \times 1000}$$

$$V(m^3) = \frac{DQO_{af} (mg / L) \times Q (m^3 / día)}{CO (kg / m^3 día) \times 1000}$$

$$V(m^3) = \frac{(6.305 mg / l)(480.24 m^3 / día)}{(20 kg / m^3 día) (1000)}$$

$$V = 152.48 m$$

5. Reactor UASB (carga hidráulica). Por carga hidráulica: a partir de un valor máximo de diseño de la velocidad ascendente dentro del reactor.

Datos requeridos:

VA = velocidad ascendente de diseño (0.5 -1.0 m / h)

Q = Caudal del afluente (m³ / día)

A = área transversal del reactor (m²)

h = altura del reactor (m)

Cálculos

De la relación de la velocidad ascendente con el caudal que debe manejar el reactor, se obtiene el área transversal del mismo.

$$VA \text{ (m/h)} = \frac{Q \text{ (m}^3 \text{ / día)}}{A \text{ (m}^2)}$$

$$A \text{ (m}^2) = \frac{Q \text{ (m}^3 \text{ / día)}}{VA \text{ (m / h)}}$$

$$A \text{ (m}^2) = \frac{(480.24 \text{ m}^3 \text{ / día})(1 \text{ día / 24 h})}{(0.7 \text{ m / h})}$$

$$A = 28.59 \text{ m}^2$$

Como ya se ha calculado el volumen del reactor, se puede calcular la altura del mismo de la siguiente forma:

$$V = A \text{ (m}^2\text{)} \times h \text{ (m)}$$

$$h \text{ (m)} = \frac{V \text{ (m}^3\text{)}}{A \text{ (m}^2\text{)}}$$

$$h \text{ (m)} = \frac{(152.48 \text{ m}^3)}{(28.59 \text{ m}^2)}$$

$$h = 5.30 \text{ m}$$

6. Producción de energía a partir de metano

a. DQO degradado:

$$(5,122.81 - 512.28) \text{ mg / L} = 4,610.53 \text{ mg / L} = 4,610.53 \text{ g / m}^3$$

b. DQO removido con sulfato como electrón aceptor:

0.67 g DQO removido / g SO₄ reducido (Metcalf & Eddy, 2003:1015)

$$DQO_{SR} = (0.9) (512.28 \text{ g SO}_4 / \text{m}^3) (0.67 \text{ g DQO / g SO}_4)$$

$$DQO_{SR} = 308.90 \text{ g / m}^3$$

c. COD utilizado por bacterias metanogénicas

$$DQO_{MB} = (4,610.53 - 308.90) \text{ g / m}^3 \times (481) \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$DQO_{MB} = 2,069,084.03 \text{ g / día}$$

d. producción de metano a 30 ° C

producción de metano a 35 ° C = 0.40 L de metano / g DQO

$$\text{producción de metano a } 30^\circ \text{ C} = (0.40 \text{ L / g}) \times ((273.15 + 30) / (273.15 + 35))$$

$$\text{producción de metano a } 30^\circ \text{ C} = 0.3935 \text{ L / g}$$

$$\text{metano producido / día} = (0.3935 \text{ L/g}) (2,069,084.03 \text{ g / día}) = 814,184.57 \text{ L / día} = 814.18 \text{ m}^3 / \text{día}$$

$$\text{metano con respecto al volumen total de gas producido} = (814.18 \text{ m}^3 / \text{día}) / 0.65 = 529.22 \text{ m}^3 / \text{día}$$

e. Energía producida a partir del metano:

Factor = 50.1 kJ / g de metano

Densidad del metano a 35 ° C = 0.3646 g / L (Metcalf & Eddy, 2003:1015)

Densidad del metano a 30 ° C = 0.3646 g / L x ((273.15 + 35) / (273.15 +30))

Densidad del metano a 30 ° C = 0.6451 g / L

Energía producida = (814,184.57 L / día) (0.6451 g / L) (50.1 kJ / g)

Energía producida = 26,314,046.35 kJ / día = 26.31 E 6 kJ / día

7. Cuotas patronales. Se ejemplifican los siguientes cálculos con respecto al salario base de un operador que tiene un valor de Q 2,500.00

El valor correspondiente a la cuota del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS) se calcula como se muestra a continuación

$$\text{Cuota IGSS} = \text{salario base} \times \% \text{ IGSS} = (\text{Q}2,500.00) (0.1067) = \text{Q} 266.75$$

Los valores del Instituto de Recreación de los Trabajadores de la Empresa Privada de Guatemala (IRTRA), Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP), aguinaldo, bono 14, pasivo y otros se calcularon de la misma forma con su respectivo porcentaje.

8. Depreciaciones. Para el cálculo de las depreciaciones se utilizó el método SMARC. En general se multiplica el costo inicial o base por la tasa correspondiente al año que se desea.

$$\text{Depreciación en año } n = (\text{Tasa depreciación SMARC}) (\text{Base})$$

Para el año 2 se procedió de la siguiente manera,

$$\text{Depreciación año uno} = 0.18 \times \text{Q } 4,066,278.00 = \text{Q } 731,930.21$$

Las depreciaciones para los siguientes años se calcularon de la misma forma, utilizando la tasa de depreciación correspondiente al año deseado.

9. Flujo de caja del proyecto. El flujo de caja cuenta con lo siguientes apartados:

Cuadro 31: Flujo de caja

+	Recuperación de Inversión
-	Egresos afectos a impuestos (costos variables)
-	Gastos no desembolsables (depreciación de maquinaria)
=	Utilidad antes de impuesto (bruta)
-	Impuesto (ISR)
=	Utilidad después del impuesto (neta)
+	Ajuste por gastos no desembolsables
=	Flujo de caja

La recuperación de inversión se calculó en base a la producción del rastro que procesa 200 cerdos y 350 reses diarias (550 animales procesados diariamente), trabajando 6 días a la semana, 52 semanas al año, aumentando un precio de producto procesado de Q 14.50

Se justifica el aumento de Q14.50 en base a lo siguiente,
1 res de 362.9 kg (800 Lb) en pie, 1 cerdo de 124.74kg (275 Lb) en pie de los cuales obtengo 40 % de carne, que es 145.15 kg (320 Lb) de carne de res y 49.9 kg (110 Lb) de carne de cerdo.

Ahora sobre esas cantidades de carne aumento mis Q14.50 como sigue,

Carne de res:

$$(Q\ 14.50 / 145.15\ \text{kg}) = Q\ 0.10 / \text{kg} \quad (Q\ 0.05 / \text{Lb})$$

Carne de cerdo:

$$(Q\ 14.50 / 49.9\ \text{kg}) = Q\ 0.30 / \text{kg} \quad (Q\ 0.13 / \text{Lb})$$

Los egresos afectos a impuestos corresponden a los costos variables, que incluyen al personal de la planta de tratamiento de aguas residuales y los servicios auxiliares y de mantenimiento de la planta y otros.

Para el cálculo de los impuestos se tomó en cuenta el ISR tiene el valor del 0.5 %, como ejemplo se calcula el impuesto para el año uno

$$\text{Impuesto} = (\text{Utilidades antes del impuesto}) (\text{Porcentaje impuestos})$$

$$\text{Impuesto} = (Q\ 3,303,207.20) (0.05) = Q\ 165,160.36$$

El ajuste por gastos no desembolsables se hace sumando el valor de depreciación correspondiente al año.

10. Cálculo del VAN. Para calcular el valor actual neto (VAN) se hace uso de la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{BN_t}{(1+r)^t} - I_0$$

Donde BN_t es el flujo de caja en el año t , I_0 es la inversión inicial, t el año y r la TIR para la cual el valor neto actual es igual a 0.

Si el VAN tiene un resultado igual a cero, indica que el proyecto renta justo lo que se exige; si el resultado es positivo, indica que el proyecto proporciona esa cantidad de remanente sobre lo exigido. Si el resultado es negativo, debe interpretarse como la cantidad que falta para que el proyecto rente lo exigido por el inversionista (Sapag & Sapag, 2003: 302)

Para la planta de tratamiento de aguas, el VAN durante diez años tiene un valor de Q 10,204,211.88

11. Tiempo de recuperación del proyecto. Para obtener este dato se grafican los valores descontados contra el tiempo que en este caso son 10 años, a partir de esta gráfica se traza una regresión lineal, para la cual se obtiene la siguiente ecuación

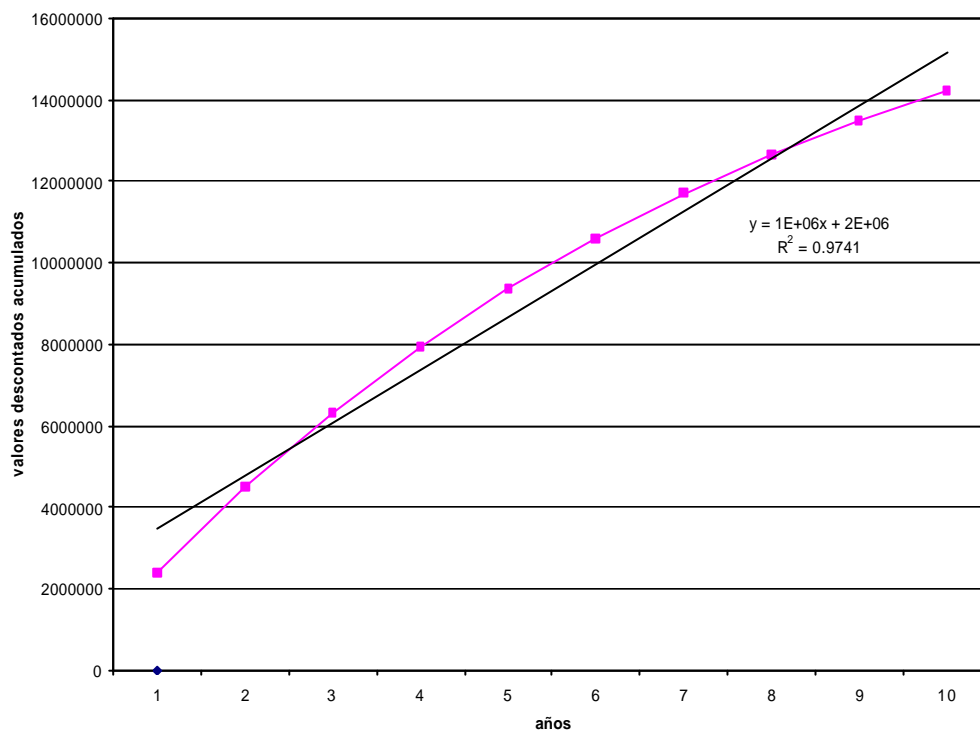
$$y = (1E+0.6x) + (2E+06)$$

Donde,

y = inversión

x = tiempo de recuperación (en años)

Se despeja la anterior ecuación para un valor de inversión de Q 4,066,278.93 y se obtiene un tiempo de recuperación de 2.07 años

Ilustración 21: Gráfica del tiempo de recuperación

XIII. GLOSARIO

Afluente Se llama así al caudal de aguas residuales que *ingresa* a la planta de tratamiento.

Aguas negras Aguas residuales cuyas características son mayoritariamente orgánicas (desechos sanitarios, cafeterías, etc.).

Agua residual Es el líquido resultante de cualquier uso, proceso y operaciones de tipo agropecuario, doméstico o industrial.

Análisis físico Pruebas físicas que miden y registran aquellas propiedades que pueden ser observadas por los sentidos.

Análisis químico Pruebas químicas que determinan las cantidades de materia orgánica e inorgánica presentes en el agua, que afecta su calidad y proporciona datos acerca de contaminaciones o muestra variaciones ocasionadas por un tratamiento.

Canal o Carcasa Animal sacrificado desprovisto de la piel (exceptuando a los porcinos), de vísceras y de apéndices (cabeza, extremidades y cola). Se conoce como hemicanal a la mitad de una canal.

Concentración Medida de la cantidad de materia en una unidad de volumen o masa.

DBO Cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación de sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua

DBO₅: La cantidad de oxígeno disuelto consumido en cinco días por las bacterias que realizan la degradación biológica de la materia orgánica.

Decomiso. Animal o parte de este, que luego de la inspección haya sido dictaminada como inadecuada para el consumo humano.

Descarga Acción de depositar un vertido en un cuerpo receptor.

DQO La demanda química de oxígeno necesario para estabilizar químicamente sustancias de origen orgánico e inorgánico presentes en el agua.

Desechos industriales Aguas residuales provenientes de procesos industriales, lavados o enfriamiento.

Efluente Se refiere al caudal de agua que sale de la planta de tratamiento.

Industria Se considera la instalación industrial y sus anexos y dependencias, ya sean cubiertos o descubiertos, que se dediquen a la manipulación, elaboración o transformación de productos naturales o artificiales, mediante tratamiento físico, químico, biológico y otros, utilizando o no maquinaria, ubicados en áreas rurales y urbanas.

Lixiviado Desecho líquido resultante de un proceso de filtración.

LMP (Límite máximo permisible) Promedio diario, los valores, rangos y concentraciones máximo de los parámetros que debe cumplir el responsable de permisible descarga, en función del análisis de una muestra compuesta de las aguas residuales

Matadero o Camal. Establecimiento en donde solo se sacrifican animales. Generalmente el término también abarca a los mataderos frigoríficos.

Matadero Frigorífico. Establecimiento en donde se sacrifican animales, y que cuentan con cámaras frigoríficas para la conservación de las carnes.

Se conoce como matadero frigorífico industrial, al que además cuente con equipo tecnificado para conservar productos cárnicos y con capacidad de industrializar residuos orgánicos que resultan del

sacrificio.

Materia flotante Materia que permanecen temporal o permanentemente en la superficie del cuerpo de agua, limitando su uso.

Método Procedimientos recomendados para el análisis de cualquier parámetro (físico, químico, bacteriológico, etc.).

Parámetro Es aquella característica que puede ser sometida a medición.

pH Potencial hidrógeno, se define como el logaritmo inverso de la concentración de iones hidrógeno y mide la intensidad de la reacción alcalina del agua.

Rastro. Camal o matadero.

Sólidos totales Cantidad de materia sólida que permanece como residuo, posterior a la evaporación total del agua.

Sólidos disueltos totales Sólidos disueltos totales. Se componen de moléculas orgánicas e inorgánicas e iones que se encuentran presentes en solución verdadera en el agua.

Sólidos en suspensión Son aquellos cuyo diámetro mínimo es aproximadamente una micra.

Sólidos sedimentables Materia que se deposita en el fondo de un cuerpo de agua o unidad de tratamiento por acción de la gravedad.

Tanque de almacenamiento Es una estructura hidráulica utilizada para el acopio de agua.

Tratamiento de aguas residuales Es cualquier proceso físico, químico o biológico, definido para depurar las condiciones de las aguas residuales a través de procesos unitario preliminares, primarios, secundarios, o

avanzados, a fin de cumplir normas establecidas.

Tubería Obra de ingeniería hidráulica por medio de la cual se transporta el agua entre dos puntos geográficos distantes (distancia > 1 Km).

Vertido Efluente o descarga proveniente de un establecimiento comercial, agropecuario, industrial, planta de tratamiento, etc.

